

# Anvendelse af alternative aske i beton

Med fokus på flyveaskens effekt på trykstyrken og afbindingstiden



Saboor Aghazadeh  
S113764

Afgangsprojekt (Diplom)

Department of Civil Engineering  
2015

DTU Civil Engineering  
Januar 2015

## Forord

Dette projekt er udarbejdet som et DiplomBYG afgangprojekt og er udført ved Institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Projektet er vurderet til 20 ECTS point og er udarbejdet i efterår 2014.

Rapporten er skrevet i Microsoft Word og graferne er udarbejdet i Microsoft Excel.

I projektet har der været tilknyttet 3 vejledere, Lisbeth M. Ottosen (hovedvejleder), Per Goltermann og Pernille E. Jensen, hvorfor der rettes et stort tak for deres vejledning og råd under hele projektforsøget.

Et stort og særligt tak rettes mod laboranterne, Ebba Schnell, Camilla Nielsen, Sabrina June Hvid og Malene Grønvold for deres uundværlige hjælp til laboratorieforsøgene.

Rapporten er udarbejdet af Saboor Aghazadeh.

---

Saboor Aghazadeh

## Abstract

In cement production the cement is burned at high temperatures (700 – 1000 °C) in order to obtain the necessary chemical reactions. In order to reach these temperatures fossil fuels are burned. This leads to large amounts of CO<sub>2</sub> emission which have a negative impact on the environment. As the cement is an essential part of concrete production and since it cannot be replaced 100 % by an alternative chemical product, the possibility of replacing some content of the cement with fly ash is being thought of. The purpose of this project is therefore to examine the possibility of replacing some content of the cement with fly ash.

The fly ash used in this project is wood ash from Amagerværket. This fly ash is today only used for backfilling purposes in Norway.

At the beginning of this project the characteristics of the ash was examined and it was observed that the content of organic materials and heavy metals were not worrying factors, as they were well below the requirements.

The results showed that the content of chloride in the 10 % cement replacement meant that it could only be used in concretes without reinforcements, while the chloride content in the 10 % sand replacement exceeded the limits of chloride content in concrete. It is therefore believed that the chloride has to be extracted and this is why it is necessary to wash the ashes before use in concrete.

A number of mortar prisms with different concentrations of the ash was molded for pressure testing. The purpose of this was to examine the compressive strength, for ash from the repository (untreated), crushed ash and crushed + washed ash (referred to as washed ash or VA), compared to the reference sample (100 % cement), respectively.

For the untreated ash the compressive strength was examined for 7-, 14- and 28-hardening days, while for the crushed and the washed ash the compressive strength was examined only for 7- and 14-hardening days.

The effect of the different ashes on the setting times was also examined.

The results from the compression test indicate that the samples with washed ash and with crushed ash had a positive effect on compressive strength, but only when a certain amount of cement was replaced (5 % to 10 %). The highest obtained compressive strength was 107 % of the compressive strength of the reference sample with washed ash as the replacement (5 %).

The test for the setting time showed that the washed ash (with a 5 % replacement of cement) had a positive effect on the initial setting time, while the untreated and the crushed ash had a negative effect.

## Resumé

Under cementfremstillingen bliver cementen brændt ved høje temperaturer (700 – 1000 °C) for at få de nødvendige kemiske reaktioner. For at nå op på disse temperaturer afbrændes fossile brændstoffer, hvilket har en negativ påvirkning på miljøet, pga. CO<sub>2</sub> udslippet. Da cementen er en essentiel del af betonfremstilling og da den ikke kan erstattes 100 % med et alternativt bindemiddel, undersøges derfor mulighederne for at erstatte noget af indholdet med flyveasken, hvilket også er formålet med dette projekt.

Asken der er anvendt i dette projekt er træaske fra Amagerværket, som i dag bliver transporteret til Norge og bliver udelukkende brugt til opfyldningsformål.

I begyndelsen af projektet blev askens egenskaber undersøgt og der blev observeret, at indholdet af organiske materialer og tungmetaller ikke var bekymrende faktorer, idet de overholdte kravene herom. Ud fra resultaterne for kloridindholdet i asken, kunne det konstateres, at kloridindholdet for 10 % cementerstatningen kunne kun bruges i u-armeret beton, mens kloridindholdet for 10 % sanderstatningen overskred alle grænseværdierne for kloridindholdet. Det blev derfor vurderet, at kloridet skulle ekstraheres, hvorfor det var nødvendigt at foretage en udvaskning af asken før brug i betonen.

Der blev støbt flere forskellige mørtelprismer, med forskellige koncentrationer af asken, til trykprøvning. Formålet var at undersøge trykstyrken for hhv. asken fra depot (ubehandlet), knust aske og knust + vasket aske (nævnt som vasket aske eller VA) ift. referenceprøven (100 % cement). For asken fra depotet blev trykstyrken bestemt for 7-, 14- og 28-hærdningsdøgn, mens for den knuste og den vasket blev der foretaget trykprøver for 7- og 14-hærdningsdøgn. Samtidig blev effekten af de forskellige asker (ubehandlet, knust og vasket) på afbindingsforløbet undersøgt.

Resultaterne for trykstyrken indikerede, at den udvasket aske samt den knuste aske i begrænset mængde (5 % og 10 %) havde en positiv effekt på trykstyrken, hvor den højeste trykstyrke nåede op på 107 % af referenceprøven.

Afbindingsforsøget viste, at den udvasket aske (5 %-cementerstatning) havde en positiv effekt på den indledende afbindingstid, mens den knuste og asken fra depotet havde en negativ effekt.

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>INDLEDNING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RAPPORTENS OPBYGNING</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>TEORI</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>BETON</b>	<b>3</b>
3.1.1	CEMENT	3
3.1.2	TILSLAGSMATERIALER (SAND OG SØSTEN)	4
3.1.3	FLYVEASKE	4
<b>3.2</b>	<b>TRYKSTYRKE</b>	<b>4</b>
<b>3.3</b>	<b>PORØSITET OG DENSITET</b>	<b>5</b>
<b>3.4</b>	<b>KAPILLARSUGNING</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ASKEN</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>EKSPERIMENTELT ARBEJDE</b>	<b>8</b>
<b>5.1</b>	<b>KARAKTERISTIK AF ASKEN (FØRSTE FASE)</b>	<b>8</b>
5.1.1	PH OG LEDNINGSEVNE	8
5.1.2	VANDOPLØSELIGHED	9
5.1.3	GLØDETAB	9
5.1.4	VANDOPLØSELIGE ANIONER OG KATIONER	9
5.1.5	OPLUKNING AF ASKE	9
<b>5.2</b>	<b>PORØSITET OG DENSITET</b>	<b>9</b>
<b>5.3</b>	<b>KAPILLARSUGNING</b>	<b>10</b>
<b>5.4</b>	<b>KNUSNING</b>	<b>10</b>
<b>5.5</b>	<b>TRÆK- OG TRYKPRØVE</b>	<b>11</b>
<b>5.6</b>	<b>AFBINDINGSTIDEN</b>	<b>12</b>
<b>5.7</b>	<b>STØBNING</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>OVERSIGT OVER STØBNINGER – FØRSTE FASE</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>RESULTATER OG DISKUSSION - FØRSTE FASE</b>	<b>15</b>
7.1.1	GLØDETAB	15
7.1.2	PH OG LEDNINGSEVNE	15
7.1.3	VANDOPLØSELIGHED	15
7.1.5	VANDINDHOLD	16
7.1.6	INDHOLD AF ANIONER OG KATIONER I ASKEN	16
7.1.7	INDHOLD AF TUNGMETALLER VHA. OPLUKNING AF ASKEN	19
<b>7.2</b>	<b>PORØSITET OG DENSITET</b>	<b>22</b>
<b>7.3</b>	<b>KAPILLARSUGNING</b>	<b>24</b>
<b>7.4</b>	<b>TRYK- OG TRÆKSTYRKE</b>	<b>25</b>
7.4.1	TRÆKSTYRKE	25

7.4.2	TRYKSTYRKE	26
<b>8</b>	<b>VIDERE FORLØB</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>RESULTATER OG DISKUSSION – VIDERE FORLØB</b>	<b>28</b>
9.1	VANDOPLØSELIGE ANIONER I ASKEN – EFTER VASK	28
9.2	KORNSTØRRELSFORDELING	30
9.3	TRYKSTYRKE	32
9.4	AFBINDINGSTID	35
<b>10</b>	<b>SAMMENLIGNING MED TRÆASKE FRA KØGE KRAFTVARMEVÆRK</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>KONKLUSION</b>	<b>40</b>
<b>12</b>	<b>VIDEREFORSKNING</b>	<b>41</b>
<b>13</b>	<b>LITTERATUR OG REFERENCER</b>	<b>42</b>
<b>14</b>	<b>BILAG</b>	<b>44</b>

## 1 Indledning

På verdensplan er beton det absolut mest brugte byggemateriale. Det skyldes, at fremstillingen af beton er billigere end andre byggematerialer – men i høj grad også, at beton er let at arbejde med. Beton bliver fremstillet af cement ved høje temperaturer.

For at opnå disse temperaturer er man nødsaget til at afbrænde fossile brændsler, hvilket munder ud i store mængder af CO<sub>2</sub>-udslip<sup>1</sup>. Det anslås, at omkring 7 % af verdens CO<sub>2</sub>-udslip sker som en direkte konsekvens af cementproduktionen.

Eftersom det voksende CO<sub>2</sub>-udslip har en negativ effekt på miljøet, leder man efter bæredygtige alternativer. Fordi det ikke er muligt at stoppe cementproduktionen, da det er en essentiel del af fremstillingen af blandt andet beton, må man i stedet substituere dele af cementindholdet med noget andet. Det kan eksempelvis være aske, herunder træaske. Det vil ikke alene have en gavnlig effekt på miljøet, men tilmed også være økonomisk fordelagtigt. Flyveaske fra kul – og olieforbrænding benyttes i dag til at erstatte en del af cementen i betonen, men da miljøet bliver negativt påvirket af forbrændingen af fossile brændstoffer, bestræbes i dag på at benytte alternative forbrændingsmaterialer, på store kraft- og varmegærker, der er mere CO<sub>2</sub>-neutrale.

Forsyningsselskabet, HOFOR<sup>2</sup> har pr. januar 2014 overtaget amagerværket, som består af to kraftvarmeanlæg – blok 1, blok 3, der hhv. fyrer med biomasse (udelukkende træpiller) og kul. Målet i de kommende år er at ombygge det sidstnævnte anlæg, således at det også kører med biomasse. Denne ombygning og den eksisterende kraftanlæg med biomasse som brændsel vil betyde, at der vil blive produceret enormt store mængder af træaske, både bund- og flyveaske. Mens bundasken benyttes som jordforbedringsformål, køres flyveasken til Norge til opfyldningsformål, hvilket bærer mange omkostninger, både til transport af asken til Norge og for at komme af med asken.

Da der derfor umiddelbart foreligger både økonomiske og miljømæssige incitamenter til at se nærmere på mulighederne for at erstatte en del af cementindholdet med træaske, har dette projekt derfor til formål at belyse og afklare mulighederne for at erstatte en del af cementen med træasken fra Amagerværket.

---

<sup>1</sup> <http://www.klimadebat.dk/co2-udledning-og-co2-kilder-bionyt-500-svar-om-klima-r45.php>

<sup>2</sup> <http://www.hofor.dk/amagervaerket/vaerket/>

## 2 Rapportens opbygning

Denne rapport er bygget op som følgende:

### **Teori:**

I dette afsnit redegøres kort teorien bag betonen samt en repetition af emnerne porøsitet, densitet og kappillarsugning.

### **Eksperimentalt arbejde:**

I dette afsnit beskrives kort laboratorieforsøgene, der er foretaget under projektet, både i det første fase, hvor karakteristikken af asken bestemmes og i det videre forløb, hvor flere styrkeforsøg foretages.

### **Resultater og diskussion – første fase:**

Dette afsnit indeholder resultater, der er vundet ved at undersøge askens egenskaber, og diskussion over samme.

### **Videre forløb:**

På baggrund af resultaterne i den første fase, diskuteres undersøgelserne i det videre forløb.

### **Resultater og diskussion – videre forløb:**

Dette afsnit indeholder en diskussion af de resultater, der er opnået i det videre forløb.

### **Konklusion:**

Konklusionsafsnittet indeholder en samlet konklusion over hele projektforsøget.

### **Videre forskning:**

I dette afsnit gives forslag til, hvad der ellers kunne undersøges for denne aske.



### 3 Teori

I dette afsnit vil der kort blive redegjort for betonen og dens egenskaber, samt emnerne porøsitet, densitet og kapillarsugning.

#### 3.1 Beton

Beton er et uorganisk materiale, som er sammensat af flere råmaterialer, hovedsagligt cement, vand og tilslag (søsten og sand). Betonen anvendes som byggemateriale, idet den bl.a. har en høj trykstyrke, som er et resultat af de sammensatte råmaterialer. Betonens styrke afhænger af råmaterialerens koncentration og forholdet mellem disse (proportionering), og hærningstiden.

I de følgende afsnit, vil de forskellige betonkomponenter blive beskrevet.

##### 3.1.1 Cement

Cement er et hydraulisk (pulverformede) bindemiddel, der benyttes i betonblanding, både for at sammenholde materialerne og for at give betonen styrke. Dette sker ved en reaktion med vand, hvor cementen hærdner og opnår en styrke. Når cementen blandes med vand, kaldes produktet af disse for cementpasta.

Cement er i sig selv ikke et råmateriale, men er sammensat af andre råmaterialer.

Der findes flere cementtyper afhængige af råmaterialerne brugt under fremstillingen. Et af cementtyperne er portlandcement, der bliver fremstillet ved formaling af portlandklinker, en lille mængde gips, og evt. små mængder af uorganiske materialer.

Portlandklinkerne består af calciumsilikater, der er et resultat af afbrænding af stoffer, der indeholder calcium, silicium, aluminium og jern.

En sammensætning af klinkerminerale i de forskellige cementtyper kan ses i skemaet forneden.

**Typisk indhold af klinkerminerale i %**  
(angivet på fillerfri BASIS) samt typisk indhold af Na<sub>2</sub>O-ækv. og SO<sub>3</sub> i %

	C3S	C2S	C3A	C4AF	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
BASIS/ABC	70	5	8	12	0,6	3,1
RAPID	62	13	7	13	0,6	3,2
LAVALKALI	50	37	4	8	0,3	2,0
AALBORG WHITE	77	16	5	1	0,2	2,1

Kilde: Aalborg Portland

### 3.1.2 Tilslagsmaterialer (sand og søsten)

Af andre betonmaterialer kan der nævnes tilslagene sand og søsten.

Tilslagsmaterialerne som sand og sten benyttes som fyldmateriale og udgør ca. 70-80 % af betonblandingen. Tilslaget er samtidig den prisbilligste bestanddel af de faste materialer i betonblanding. Og idet tilslaget er mere volumenbestandigt end cementpastaen, modvirker det svindet i betonen.

Det er ud fra stenmaterialerne at betonen bliver miljøklassificeret. Betonen falder i den kategori som den anvendte tilslagsmaterialet.

I dette projekt er der ved betonproportionering anvendt sten, der har kornstørrelsen 0-4 mm, som i hele projektet bliver betegnet som sand.

### 3.1.3 Flyveaske

Når kul eller biomasse brændes i kræftværker til at skabe energi, i form af varme og el, resulterer denne forbrænding i forbrændingsrester. Disse rester kommer både i form af siddende, som kaldes for bundaske, og i luften, som kaldes for flyveaske. Der benyttes flere forskellige metoder til at opsamle denne flyveaske. Dette gælder både mekaniske og elektriske opsamlingsmetoder. Det mest mærkværdige ved flyveaske er, at den består af små glaspartikler og at dens kornstørrelse har samme størrelse som kornstørrelserne for cement.

Askens egenskaber og indhold af kemiske stoffer afhænger dog af askens type og forbrændingsmaterialet.

## 3.2 Trykstyrke

Betonens trykstyrke karakteres som den største numeriske værdi af normalspændingen, når betonen bliver påsat et énakset tryk, indtil brud i prøvelegemet. Herefter mister betonen sin styrke.

Betonens styrke afhænger af de indeholdte komponenter ved betonproportionering.

En af de vigtigste parametre i trykstyrken er v/c forholdet, dvs. vægtindholdet af vand i forhold til vægtindholdet af cement. Som en tommelfingerregel gælder det, at ved lave v/c-forhold er trykstyrken høj, hvor ved større v/c-forhold vil der opnås en lavere trykstyrke, hvilket ikke er ønskeligt i de fleste tilfælde. Mens der ved en lav v/c-forhold vil cementen og tilslagsmaterialet sidde tættere sammen, hvilket er godt for styrken, vil der ved meget lave v/c-forhold, kan der både forekomme uhydratiseret cement, der kan skabe kalkudblomstring, og det vil også forårsage, at blandingen bliver for tørt til at komponenterne kan sammensætte sig.

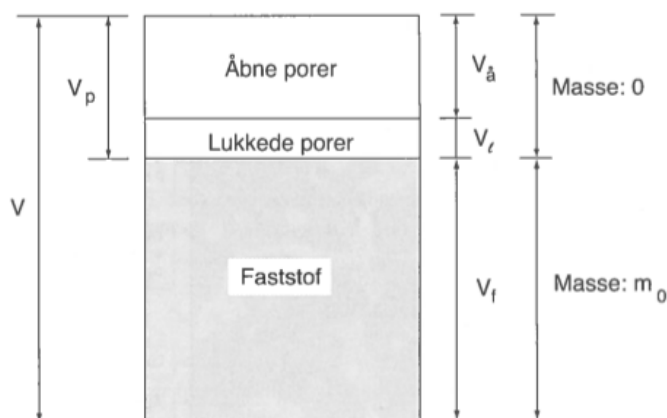
Hærdningstiden og hærdningsforhold har også en væsentlig indflydelse på betonens trykstyrke. Jo flere dage, betonen hærdner i, jo højere bliver trykstyrken, dog måles trykstyrken normalt op til 28-dage.

### 3.3 Porøsitet og densitet

Porøsitet er defineret som forholdet mellem porevolumen og den totale volumen af prøven. Porer er en betegnelse for hulrum i materialet. Disse porer kan både indeholde luft eller kan være fyldt med vand. Beton og tegl er nogle af de typiske porøse materialer, hvor materialer som metal eller plastik er mere kompakte.

I et porøst materiale kan der både forekomme åbne porer og lukkede porer.

I skemaet forneden er vist faserne i et tørt, porøst materiale.



Figur 3.4. Skematisk fremstilling af faserne i et tørt, porøst materiale.

Kilde: [Bygningsmaterialer]

Porøsitet af et materiale afhænger af dens indeholdte komponenter og koncentrationen af den samme. En anden vigtig parameter er vands tilstedeværelse i porerne, da den både kan have stor betydning for materialets holdbarhed.

I det følgende er der skrevet formlerne til brug for bestemmelse af densitet og porøsitet.

Prøvens samlede volumen:

$$V = \frac{m_{ov} - m_u}{\rho_w}$$

Prøvens volumen af de åbne porer:

$$V_{\text{a}} = \frac{m_{\text{ov}} - m_0}{\rho_w}$$

Prøvens tørdensitet:

$$\rho_d = \frac{m_0}{V}$$

Prøvens faststofdensitet:

$$\rho_{\text{tf}} = \frac{m_0}{V - V_{\text{a}}}$$

Prøvens åbne porøsitet:

$$p_{\text{a}} = \frac{V_{\text{a}}}{V}$$

Korndensiteten i vandmættet, overfladetør tilstand:

$$\rho_{\text{ssd}} = \frac{m_0 + V_{\text{a}} \cdot \rho_w}{V}$$

Prøvens vandtørstofforhold:

$$u = \frac{m_{\text{ov}} - m_0}{m_0} \cdot 100 \%$$

Hvor

$m_{\text{ov}}$ : massen af prøven over vand [kg]

$m_{\text{u}}$ : massen af prøven under vand [kg]

$m_0$ : tørmassen af prøven [kg]

$\rho_w$ : vands densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_t$ : massens tørdensitet [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{\text{tf}}$ : faststofdensitet [kg/m<sup>3</sup>]

$p_{\text{a}}$ : åbne porøsitet

### 3.4 Kapillarsugning

Når et porøst materiale anbringes i vand, vil materialet opsuge vand, og dette kaldes for kapillarsugning. Opsugningen finder sted, når vand transporteres fra materialets overflade og ind i materialet, gennem materialets kappilarer (snævre kanaler). Kapillarsugning afhænger derfor af porøsiteten af materialet.

## 4 Asken

Asken der er anvendt i dette projekt er flyveaske fra Amagerværket, blok 1, hvor der indvindes bioaske ved forbrænding af biomasse, udelukkende træpiller. Efter forbrændingen opsamles flyveasken vha. elektrofilter, som er en af de mest effektive opsamlingsmetoder for flyveaske.

## 5 Eksperimentelt arbejde

I de følgende afsnit vil de forskellige former for eksperimenter, der blev foretaget for at bestemme karakteristik af asken, blive beskrevet. En mere detaljeret beskrivelse og fremgangsmetoden af forsøgene er vedlagt som bilag.

### 5.1 Karakteristik af asken (Første fase)

Asken karaktereres for at bestemme askens egenskaber og indholdet af kemiske stoffer i asken. Dette gøres bl.a. for at undersøge om kravene for asken, når den skal iblandes betonen jf. Dansk standard, er opfyldt. Hvis ikke disse er opfyldt, undersøges mulighederne for at bearbejde asken for at imødekomme kravene.

Kravene vil blive beskrevet senere i projektet.

#### 5.1.1 PH og ledningsevne

For at bestemme, om asken er basisk eller sur, når det bliver opløst i vand, foretages en pH-undersøgelse af denne.

Eksperimentets fremgangsmåde er først at fremstille en askeopslemning og derefter foretage målinger vha. en pH-meter.

Indledende afvejes 5,0 g tør aske i en 20 ml plastvials. Derefter tilsættes 12,5 ml 1 M KCL-opløsning (74,56 g KCl opløst i 1000,00 ml destilleret vand). Prøven anbringes på rystemaskinen i 1 time og derefter lades prøven bundfælde i 5-10 minutter, indtil væskefasen er udskilt fra asken.

Herefter anbringes elektroden (koblet til pH-meter) i askeopslemningen, således, at diafragmaet er under væskeoverfladen. pH-værdien aflæses og noteres, når den er stabilt.

En undersøgelse af ledningsevnen foretages for at bestemme askens tilbøjelighed til at lede strøm gennem asken. Ledningsevnen afhænger hovedsageligt af indholdet af antal saltioner i asken.

Forsøget udføres ved at afveje 10,00 g aske i en 50 ml plastikflaske. Hertil tilsættes 25,00 ml destilleret vand med fuld pipette. Prøven sættes i rystemaskinen i 20 min og derefter lades prøven bundfælde i 5-10 minutter, indtil væskefasen er udskilt fra asken.

Målingen af ledningsevnen foretages ved at sætte elektroden, som er koblet til ledningsevnemåler-apparatet i prøven og derefter aflæses tallet.

### 5.1.2 Vandopløselighed

En vandopløseligheds undersøgelse viser, hvor opløseligt asken er, når det kommer i kontakt med vand. Det afhænger af de sammensatte kemiske stoffer.

Forsøget udføres ved at afveje 100,0 g tørret aske til en 1L plastikflaske og der tilsættes 500 ml destilleret vand. Prøven rystes og sættes til bundfældning. Der afvejes og sættes et filterpapir i en tragt over et måleglas. Prøven hældes over i filterpapiret og flasken fyldes igen med 500 ml destilleret vand og igen hældes prøven i filterpapiret og denne procedure gentages indtil, der ikke er mere aske i flasken.

Prøven lades afdrøppe helt og papirfilteret med asken sættes i et varmeskab ved 105 ° natten over.

Filterpapiret med asken vejes og vægten noteres.

### 5.1.3 Glødetab

For at måle indholdet af organiske materialer i asken foretages en glødetabsundersøgelse.

Forsøget udføres ved afbrænding af asken i en muffelovn ved 550 °C.

Den forsvundne mængde efter afbrændingen angives som mængden af organiske stoffer.

### 5.1.4 Vandopløselige anioner og kationer

Indholdet af de forskellige salte i asken undersøges ved at foretage en ionchromatograf og AAS. 10,0 g aske afvejes til en 100 ml plastikflaske. 50 ml destilleret vand og prøven rystes på et rystebord natten over. Prøven filtreres med sprøjtefilter og sættes til ionchromatograf og AAS-undersøgelse.

### 5.1.5 Oplukning af aske

Koncentrationen af grundstofs metaller i asken findes ved en oplukning af aske, hvor asken blandes med halv koncentreret HNO<sub>3</sub>, som koges i en autoklave, og herefter foretages målingen ved AAS (atomic absorption spectrometer).

### 5.2 Porøsitet og densitet

Prøvelegemerne opvarmes ved 50 °C (normalt 105°C, men af hensyn til ikke at ødelægge betonens struktur, vælges det at opvarme prøvelegemerne ved 50 °C) til vægskonstant.

Hver gang prøvelegemerne vejes, afkøles det i en eksikator, med silicagel, til stuetemperatur.

Det udtørrede, vægtkonstante prøvelegemer anbringes i en eksikator, hvor der sættes et tryk på ca.  $100 \text{ N/m}^2$  vha. en vakuumpumpe i ca. 3 timer, hvorefter der ledes vand i eksikatoren til prøvelegemet er dækket helt til med vand og dette lades stå stille i ca. 1 time uden ekstern tryk. Herefter lades prøverne i vand under atmosfærisk tryk, natten over. Hvorefter prøverne vejes under og over vand og masserne noteres.

### 5.3 Kapillarsugning

Forsøget bliver udført ved at opvarme prøverne i et varmeskab til vægtkonstant og herefter afkøles de til stuetemperaturen. Prøverne anbringes på en fotobakke, hvor de sættes på afstandsholdere, således at de er en afstand mellem prøverne og underlaget. Prøverne sættes nu til stationære kapillarsugning (vand på den ene side og luft på den anden). Dette gøres ved at hælde destilleret vand i fotobakken, indtil vandstanden er ca. 5mm over afstandsholderne. Prøvernes masse for de angivne (se forsøgsvejledning) tidsintervaller noteres.

### 5.4 Knusning

Knusning af asken skes i ringknuseren, hvor formen (se billede) fyldes med asken i hullerne. Herefter sættes formen i maskinen. Asken bliver knust i den ønskede tidslængde, typisk 30 sec, hvis asken er lidt fin i forvejen.



Figur 5.1: Knusning af aske



## 5.5 Træk- og trykprøve

Forsøget udføres i MOHR & Federhaff AG – 49 (Compression testing) jf. DS/EN 196-1.

Først foretages bøjetrækstyrkemåling, hvor prøven anbringes på understøtningen og herefter sættes der last på indtil knæk i prøven. Lasten noteres.

Trykstyrkemåling foretages på samme måde, men denne gang benyttes en anden type understøtning og der sættes last indtil brud.

Maskinen viser den maksimale last i kN, som skal omregnes til MPa, hvor følgende formler bruges for hhv. bøjetrækspænding og trykspænding.

Bøjetrækspænding:

$$\sigma_{træk} = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Trykspænding:

$$\sigma_{tryk} = \frac{F}{b \cdot h}$$

Hvor F er den påsatte last, b og h er hhv. Prøvens bredde og højde og l i bøjetrækspænding er afstanden mellem understøtningerne (i dette tilfælde).



Figur 5.2: Trykprøvning

## 5.6 Afbindingstiden

Afbindingsforsøget er udført jf. DS-EN-196-3+A1:2009 i Vicatronic.

Til forsøget fremstilles den ønskede cementpasta i den udleverede bære (rejobære), som forsøget bliver udført på.

I modsætning til støbning, forberedes her kun cementpasta, altså uden tilslag i form af sand, men proceduren for blandingen er den samme som ved støbning.

Nålen i maskinen kalibreres og herefter anbringes bakken med cementpastaen under nålen, hvor der dryppes vand på overfladen af cementpastaen. Herefter angives testdataene i maskinen, og testen påbegyndes. Dette forsøg tager ca. 16 timer.

Maskinen måler dybden af den nedsynket nål som funktion af tiden.



*Figur 5.3: Afbindingstest*

## 5.7 Støbning

Støbning foretages som mørtelprøver, dvs. at der ikke er andre tilslag end sand. Formerne, der er brugt er priser af stål med målene (160mmx40mmx40mm), hvor der kan støbes 3 prøver på en form (se figur 5.4).

Indledningsvis afvejes komponenter som ønsket.

Til omrøring af komponenterne benyttes en hobartmixer (se billede).

Først blandes cement+aske+vand i 30 sekunder (lav hastighed) og herefter hældes sandet i blandingen over 30 sekunder (mens maskinen kører). Dernæst mixes blandingen i 30 sek. (høj hastighed), hvorefter der skrubes i siderne i blandingen i 30 sek. og blandingen sættes til hvile i 60 sek. Efter dette mixes blandingen i yderligere 60 sekunder (høj hastighed).



Figur 5.4: Mørtelform



Figur 5.5: Mørtelprøver efter træktest

Til vibreringen benyttes et vibrationsbord.

Mørtelformen fyldes halvt op med blandingen og maskinen køres ved 45 Hz i 30 sek. Dernæst fyldes formen helt op med blandingen og vibratorbordet køres ved 45 Hz i 30 sek. Det overskyldende mørtel skrappes af fra toppen og formen dækkes til med plastikfolie og henstilles til afbinding i et døgn.

Dagen efter afformes prøven og henstilles i vandet til hærkning.

## 6 Oversigt over støbninger – første fase

I den tidlige fase ønskes der bestemt trykstyrken for følgende blandinger:

7-døgn	14-døgn	28-døgn
5 % Cement	5 % Cement	5 % Cement
10 % Cement	10 % cement	10 % Cement
10 % Sand	10 % Sand	10 % Sand
Referenceprøve	Referenceprøve	Referenceprøve

Tabel 6.1: Skema over støbninger

Der støbes 7-, 14- og 28-døgns (antal døgn prøven sættes til hærkning efter støbningen) prøver for hhv. 5 % cementerstatning, 10 % cementerstatning og 10 % sanderstatning samt referenceprøver.

Referenceprøverne, 7-døgns og 14-døgns er udført af hhv. gruppe A og gruppe B. Trykstyrken for 28-døgnsprøver er hentet fra de tidligere rapporter [Lyngholm, 2012] og [Carlsen og Petersen, 2013].

Opskrifterne på de 3 blandingstyper er følgende:

	Cement	Aske	Vand	SAND	Bemærkning
	[g]	[g]	[g]	[g]	
Reference	450	NUL	225	1350	
5 % cement	427,5	22,5	225	1350	
10 % cement	405	45	225	1350	
10 % sand	450	135	225	1215	25 g ekstra vand

Tabel 6.2: Opskrifter for betonblandinger

Opskriften for referenceprøverne er udarbejdet jf. DS/EN-450-1-2012 tabel B.1.

Det skal bemærkes, at v/c-forholdet har været 0,5 (aske regnet som cement) for alle blandingerne, på nær 10 % sanderstatning, idet konsistens af prøven har været for tør til at kunne vibreres. For at cementpastaen kan binde sig til sandet, er der tilsat yderligere 25 g vand i prøven og er omrørt i yderligere 60 sekunder ved høj hastighed.

Alle prøverne er blandet i den samme hobartmixer og vibrering af prøverne er foretaget på det store vibratorbord.

## 7 Resultater og diskussion - første fase

Ved forsøgenes gennemførelse blev der for hvert forsøg foretaget 3 prøver (hvis ikke andet angivet), hvorefter den gennemsnitlige værdi blev brugt som resultat. Ligeledes blev variansen og standardafvigelsen bestemt for trykmålingerne, og jf. DS-EN 196-1-2005 blev tallene, der afveg mere end 10 % fra gennemsnitsværdien, sorteret fra. Se bilag 2.9 for trykprøvemålinger. Generelt i resultaterne er der udover selve resultatet angivet en standardafvigelse (hvor det har været muligt), for at tydeliggøre variationen af resultaterne. På graferne er spredningen tegnet som en fejllinje.

### 7.1.1 Glødetab

Glødetabet for asken blev bestemt til 2,86 %, hvilket er under grænsen for indholdet af organiske stoffer i materialet, jf. DS-EN-450-1-2012.

### 7.1.2 pH og ledningsevne

Askens pH blev målt til 13,14, hvorfor det tydeligt kan konstateres, at asken er meget basisk. Idet cementen også er basisk, vil askens iblanding i cementen ikke betyde noget ift. korrosion i armeringen.

Ledningsevnen af asken blev bestemt til 91,57 mS/cm, hvilket fortæller, at asken har en stor tilbøjelighed til at lede strøm igennem. I dette forsøg var der dog stor varianser (6,73 mS/cm) i prøverne.

Denne høje ledningsevne indikerer, at antal ledende partikler (saltioner) i asken er stort. Dette betyder, at der kan forekomme uønskede reaktioner i betonen, når det kommer i kontakt med elektricitet.

### 7.1.3 Vandopløselighed

Askens vandopløselighed blev bestemt til 28,14 %. Det betyder, at omkring 1/3 af askens indhold af kemiske stoffer kan nedbrydes, når den filtreres eller gennemskylls.

Dette påvirker, alt efter indholdet af de kemiske stoffer i asken, betonens styrke, idet en høj vandopløselig vil betyde, at asken frigiver flere ioner, der kan reagere med de resterende komponenter i blandingen.

## 7.1.5 Vandindhold

Vandindholdet i asken blev målt til 0,73, hvilket tydeligt viser, at asken er meget tør.

Lavt vandindhold i asken kan have konsekvenser for v/c-forholdet, når sandet erstattes med asken i blandingen, idet sand har en forholdsvis højere vandindhold, idet den let kan optage fugt fra omgivelserne.

Forneden ses et tabel over de forskellige karakterer af asken.

Vandindhold	PH	Ledningsevne	Glødetab	Vandopløselighed
[%]		[mS/cm]	[%]	[%]
0,73	13,13	91,57	2,86	28,14

Tabel 7.1: Aske karakteristik

## 7.1.6 Indhold af anioner og kationer i asken

Gennem forsøgene, vandopløselige anioner og vandopløselige kationer blev der fundet frem til følgende salte samt koncentrationerne af disse.

Indhold af anionerne og kationer er bestemt vha. ICT (Ionchromotograf), som angav indholdet i mg/L, og senere hen blev konverteret til mg/kg vha. følgende formel:

$$\frac{mg}{kg} = \frac{A[\frac{mg}{L}] \cdot C[L]}{B[g] \cdot 10^{-3}[\frac{kg}{g}]}$$

Hvor A er den beregnet indhold i mg/L, C er koncentrationen af væsken og B er mængden af asken tilsat i prøven.

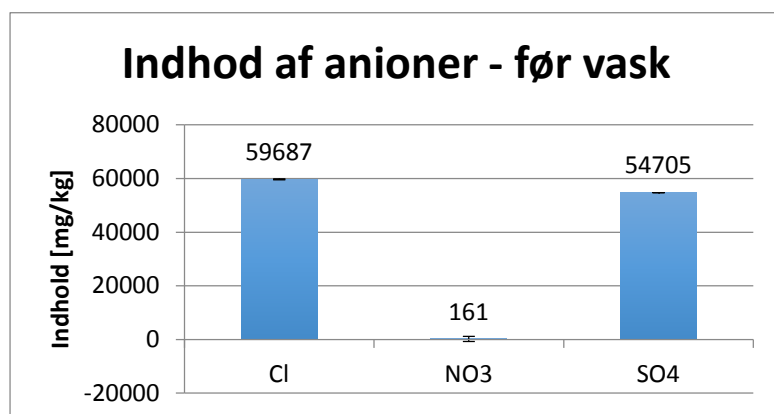


Diagram 7.2: Indhold af anioner i asken – før vask

Jf. DS/EN-206-2002 (denne er ophævet og er erstattet af DS/EN-206-2013, men der er desværre ikke adgang til den nyeste udgave, så her benyttes udgaven fra 2002) må kloridindholdet i betonen ikke overstige mere end 1,0 % af cementvægten:

**Tabel 10 – Maksimalt kloridindhold i beton**

Betonens anvendelse	Chloridindholdsklasse <sup>a)</sup>	Maksimalt Cl-forhold i forhold til cementvægten <sup>b)</sup>
Uden armeringsstål eller andet indstøbt metal med undtagelse af korrosionsbestandige løfteanordninger	Cl 1,0	1,0 %
Med armeringsstål eller andet indstøbt metal	Cl 0,20	0,20 %
	Cl 0,40	0,40 %
Med spændarmering af stål	Cl 0,10	0,10 %
	Cl 0,20	0,20 %
<sup>a)</sup> For et specifikt brug af beton er valg af klasse afhængig af bestemmelser gældende på brugsstedet.		
<sup>b)</sup> Hvis der anvendes type II-tilsætninger, og de er medregnet i cementindholdet, udtrykkes kloridindholdet som procent af chloridioner i forhold til vægten af cement plus den totale vægt af tilsætninger, der er medregnet.		

Skema 7.1: Grænseværdier for kloridindholdet i betonen

Det højeste kloridindhold i betonblandingerne for cementerstatning vil være ved 10 % cementerstatning. Indholdet af klorid vil beregnes for samme.

Cement: 405 g

Aske: 45 g

$$59678 \frac{mg}{kg} \cdot \frac{10^{-6}(mg \cdot g)}{g \cdot kg} = 0,059678 \frac{g}{g} \text{ klorid}$$

$$0,059678 \frac{g}{g} \cdot \frac{45g}{405g} \cdot 100 \% = 0,66 \%$$

Dette kan derfor kun anvendes for uarmeret beton.

Hvorimod ved en 5 % cementerstatning vil kloridindholdet ift. cementvægten vil være på 0,31 %. Ved en sanderstatning på 10 % vil kloridindholdet være på 1,99 % ift. cementvægten. Det vil derfor være nødvendigt at ekstrahere kloridet, hvis asken benyttes som sanderstatning.

Kloridindholdet i beton har betydning for betons korrosionsrisici, idet klorid kan reagere med kalium, som forårsager korrosion. Det kan også ses ud fra grænseværdierne for indholdet af klorid for hhv. i armeret og i uarmeret beton.

Det skal også bemærkes, at indholdet af sulfat (SO<sub>4</sub>) er næsten på størrelse med kloridindholdet. Et stort indhold af sulfat har en negativ påvirkning på styrken af betonen, hvis der samtidig er magnesium tilstede, idet der vil blive dannet magnesiumsulfat, hvilket har styrkereducerende effekt på betonen. Dog ses i nedenstående diagram, at der ikke er noget magnesium i asken, hvilket er positivt for betonen mht. dannelse af magnesiumsulfat.

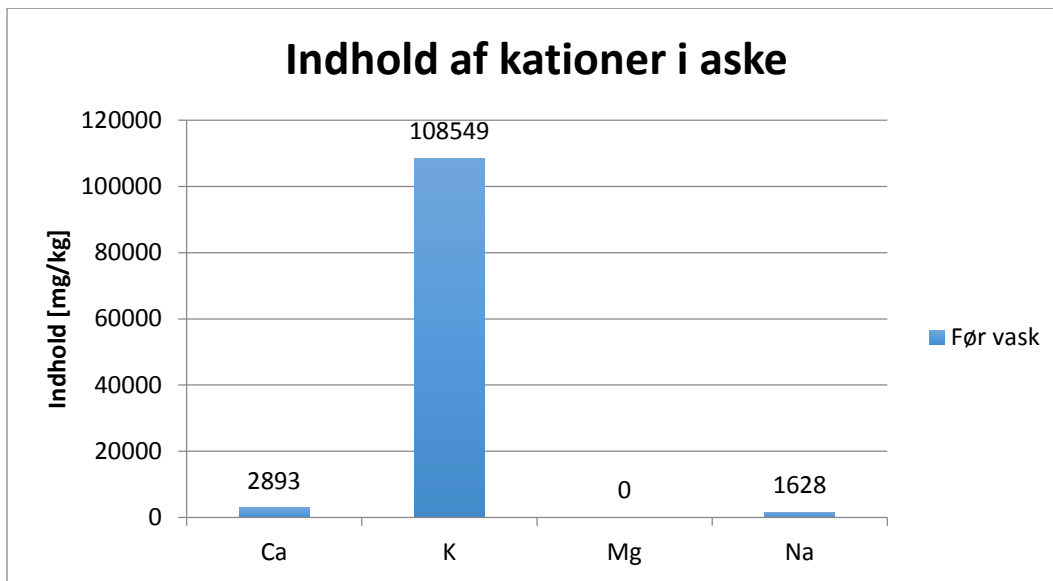


Diagram 7.3: Indhold af kationer i asken – før vask

Som det kan ses i *diagram 7.3* er der i asken et stort indhold af kalium, hvilket ved en reaktion med kloridionerne kan danne KCl og dermed forårsage større sandsynlighed for korrosion i armeringen.

Der er for et lille indhold af calcium i asken og det samme gælder for magnesium og natrium.



## 7.1.7 Indhold af tungmetaller vha. oplukning af asken

En grundstofs analyse er foretaget til at bestemme indholdet af de forskellige grundmetaller, vha. en AAS (atomabsorptionspektrofotometer). Resultatet er opgjort i nedenstående diagram:

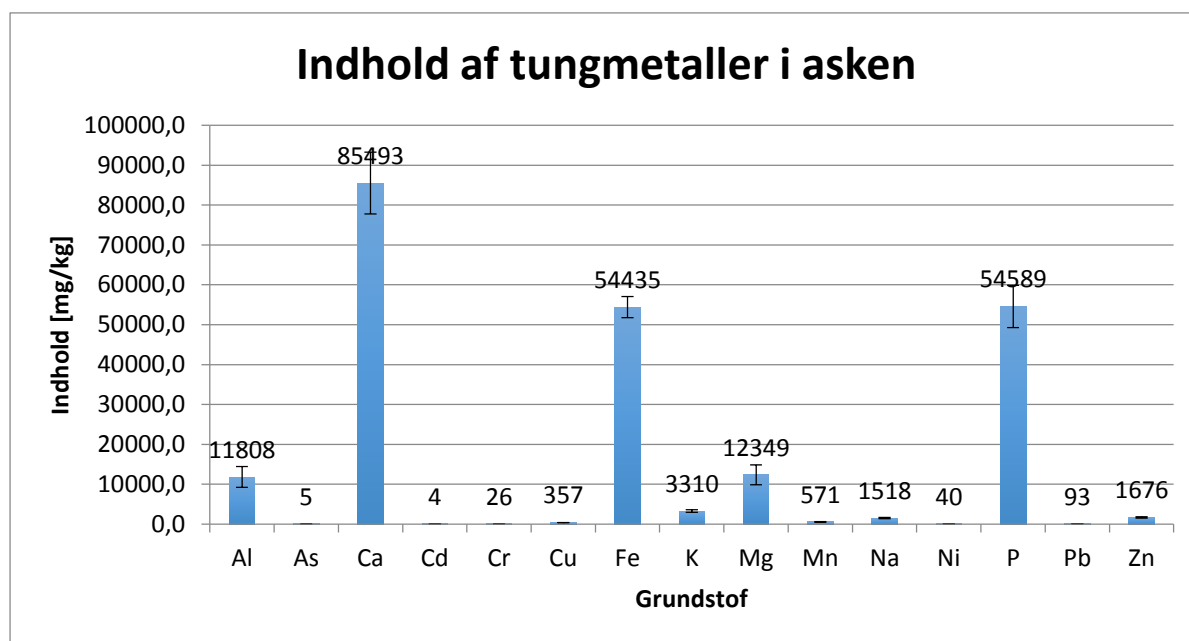


Diagram 7.4: Indhold af tungmetaller i asken – før vask

Som det tydeligt ses i diagrammet øverst, er asken rigt med calcium, jern og fosfor (en af hovedårsagerne til at denne aske kan benyttes til gødning).

Det mest bemærkelsesværdige er dog lavt eller ingen indhold af de miljøgiftige tungmetaller (cadmium bly og kviksølv), og aluminium (giftige for planter) hvorfor man ikke bliver nødt til ekstrahere disse fra asken.

I et tidligere projekt, [Mathiasen, 2014] konkluderer Rikke, at fosfor har en retarderende effekt på betonens styrke, men dette er udelukkende kun ved store koncentrationer af fosfor i asken. Til sammenligning havde Rikke i sit projekt tilsat 16,2 g ren fosfor til referenceprøven, hvorfra trykstyrken faldt med 0,9 MPa ift. referenceprøven.

Den højeste fosformængde i dette projekt vil forekomme ved 10 % sanderstatning, hvor der vil opnås en fosformængde på:

$$54589 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{10^{-6}(\text{mg}\cdot\text{g})}{\text{g}\cdot\text{kg}} \cdot 135 \text{ g} = 7,4 \text{ g}$$

Derfor kan det antages, at koncentrationen af fosfor i denne træaske ikke har en væsentlig betydning for trykstyrken af betonen.

Endvidere er der i "Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenet bygge- og anlægsaffald"<sup>3</sup> er restprodukterne inddelt i kategorier efter mængden af tungmetallerne samt koncentration af eulater i restproduktet.

	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
	Faststofindhold mg / kg TS		
Arsen	0 - 20	> 20	> 20
Bly	0 - 40	> 40	> 40
Cadmium	0 - 0,5	> 0,5	> 0,5
Chrom, total	0 - 500	> 500	> 500
Chrom (VI)	0 - 20	> 20	> 20
Kobber	0 - 500	> 500	> 500
Kviksølv	0 - 1	> 1	> 1
Nikkel	0 - 30	> 30	> 30
Zink	0 - 500	> 500	> 500
	Koncentration i eluat µg/l		
Klorid	0 - 150000	0 - 150000	150000 - 3000000
Sulfat	0 - 250000	0 - 250000	250000 - 4000000
Natrium	0 - 100000	0 - 100000	100000 - 1500000
Arsen	0 - 8	0 - 8	8-50
Barium	0 - 300	0 - 300	30 - 4000
Bly	0 - 10	0 - 10	10 - 100
Cadmium	0 - 2	0 - 2	2-40
Chrom, total	0 - 10	0 - 10	10 - 500
Kobber	0 - 45	0 - 45	45 - 2000
Kviksølv	0 - 0,1	0 - 0,1	0,1 - 1
Mangan	0 - 150	0 - 150	150 - 1000
Nikkel	0 - 10	0 - 10	10-70
Selen	0 - 10	0 - 10	10 - 30
Zink	0 - 100	0 - 100	100 - 1500

Tabel 7.2: Inddeling af restprodukter i kategorier

Sammenlignes de fundne koncentration af tungmetaller i asken med de angivne intervaller for de respektive kategorier i bekendtgørelsen, kan det hurtigt bemærkes, at asken tilhører kategori

<sup>3</sup> <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=134831#K2>

2. De stoffer, der overstiger koncentrationsintervallerne i kategori 1 er cadmium, nikkel og zink. Restprodukterne, der falder i kategori 2, må benyttes til anlægs- og eller byggearbejder uden tilladelse, men på det baggrund, at de opfylder nogle betingelser (kan læses mere om i bekendtgørelse, kapitel 2 og bilag 3). Tungmetaller kan umiddelbart ikke renses fri fra asken med destilleret vand, men der findes andre metoder til at ekstrahere tungmetaller fra asken.

Hvis ønsket er, at asken imødekommer kravene for tungmetalindhold i kategori 1, kan metallerne oprensnes vha. strøm. Men denne undersøgelse er ikke foretaget i dette projekt.

## 7.2 Porøsitet og densitet

		5 % cement	10 % cement	10 % sand
Prøvens masse efter tørring	m <sub>105</sub> [kg]	0,530	0,531	0,510
Masse af prøven (over vand)	m <sub>ssd</sub> [kg]	0,576	0,580	0,569
Masse af prøven i vand	m <sub>sw</sub> [kg]	0,322	0,324	0,312
Prøvens volumen	V [m <sup>3</sup> ]	0,000254	0,000256	0,000258
De åbne porers volumen	V <sub>på</sub> [m <sup>3</sup> ]	0,000046	0,000049	0,000059
<b>Prøvens åbne porøsitet</b>	<b>P<sub>å</sub> [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>23</b>
Tørdensitet	ρ <sub>d</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	2085	2071	1979
Faststoffdensitet	ρ <sub>f</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	2552	2562	2570
Prøvens densitet (vakuummættet overfladetør tilstand)	ρ <sub>ssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	2268	2263	2209
Prøvens vandtørstofforhold (vakuummættet overfladetør tilstand)	u <sub>ssd</sub> [%]	9	9	12

Skema 7.1: Porøsitets- og densitetsresultater

Som det ses i skema foroven, er der udført porøsitets og densitets undersøgelse for de 3 blandinger ved 7-døgns hærdning.

Både porøsitets- og densitetsforsøgene er udført efter LBM-standard metode og med 2 prøver, hvorefter middeværdien er brugt som resultat.

Prøvens åbne porøsitet, som er forholdet mellem prøvens åbne porer og prøvens samlede volumen, fortæller om hulrummene i prøven.

Som det ses i skema 7.1 er der ved 10 % sanderstatning en betydeligt højere åbent porøsitet end ved cementerstatningerne. Dette kan muligvis skyldes, at prøven har været for tør ved støbning, og at den derfor ikke er blevet vibreret nok. Ved denne recept, selvom der er blevet tilsat ekstra vand i prøven, er indholdet af asken meget høj (135 g) og sandindholdet er lavere ift. de andre 2 recepter, og idet sandet er mere fugtig end asken (med et vandindhold på 0,73 %), resulterer dette i, at blandingen bliver for tørt. En anden parameter, der skaber porøsitet er kornstørrelserne og kornfordelingen.

Der er ikke en betydende forskel på porøsiteten af de 2 cementerstatninger. Det fortæller, at asken har mange af de samme karakteristikker, som påvirker porøsiteten, som cementen. Det kunne tydes, at kornstørrelserne og fordelingen af den samme for asken er på størrelse med cementens, og at det er derfor, at der ikke er stor forskel mellem porøsitet for 5 % cementerstatning og 10 % cementerstatning. Men dette kan ikke konkluderes med 100 %, idet den højeste cementerstatningen er kun på 10 %.

Sammenlignes disse resultater med porøsitet for 7-døgnsreferenceprøver fra 2 tidligere projekter [Bonnerup og Sigvardsen, 2014] og [Mathiasen, 2014] hhv. 18,7 % og 18,8 %, kan det konstateres, at der ikke meget forskel på porøsiteten, når op til 10 % cement bliver erstattet med asken.

Faststoffdensiteten af prøverne varierer for sanderstatningen ift. cementerstatningerne. Den lille forskel skyldes, at asken har en mindre massefylde end cementen og sandet og når cementen erstattes med asken bliver densiteten af prøven mindre.

Densiteterne kan sammenlignes med densiteter for mørtelprøver i [Bygningsmaterialer]<sup>4</sup>, hvor både faststoffdensiteterne og tørdensiteterne for cementerstatningerne og sanderstatningen ligger på niveau med densiteterne, der er angivet i bogen (hhv. 2650 kg/m<sup>3</sup> og 2100 kg/m<sup>3</sup>). Endvidere bemærkes at massen for sanderstatningsprøven er en smule lavere end massen for de 2 andre prøver. Dette er et resultat af askens store vandopløselighed.

Sammenhængen mellem porøsiteten og densiteten kan også bemærkes ud fra resultaterne, idet porøsiteten stiger, når densiteten falder.

---

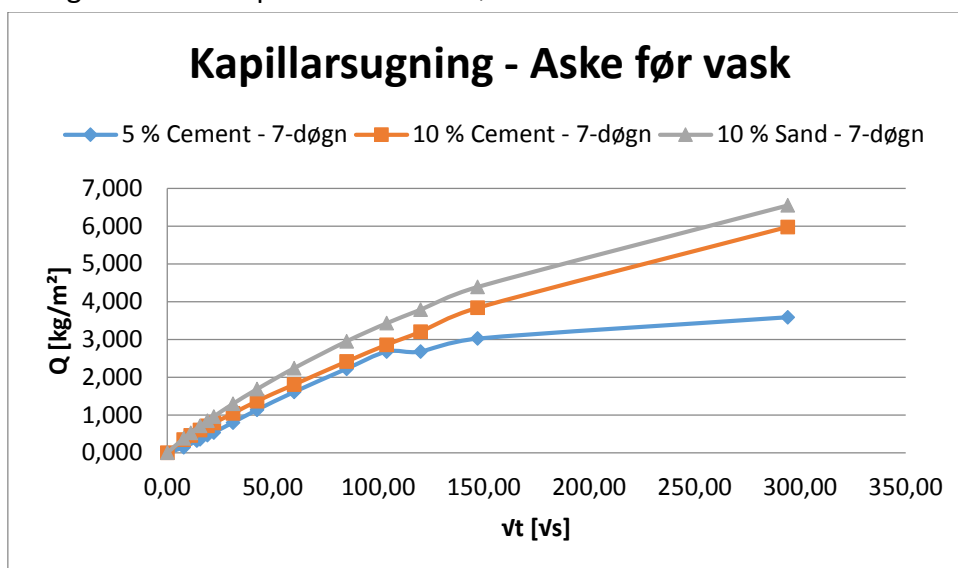
<sup>4</sup> Gottfredsen & Nielsen, Bygningsmaterialer – grundlæggende egenskaber, tabel 1 s. 214

### 7.3 Kappilarsugning

Ligesom porøsitet er der undersøgt opslugningsegenskaber for de 3 mørtelprøver. Der er dog kun lavet kappilarsugning på en prøve pr. recept.

I grafen forneden er mængden af vandet  $Q$  [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ], der bliver transporteret i prøven skitseret som funktion af tiden,  $\sqrt{t}$ .

Forsøget er udført op til 24 timer  $= \sqrt{24 \text{ timer}} \approx \sqrt{294 \text{ sek}}$



Graf 7.1: Kapillarsugning over 5 % cement, 10 % cement og 10 % sand

Ud fra funktionslinjerne for 5 % cementerstatning og 10 % cementerstatning, kan det bemærkes, at 10 % cementerstatningen suger mere vand og i længere tid end prøven ved 5 % cementerstatningen. Det kan også bemærkes, at ved en 10 % sanderstatning suges mere vand ift. cementerstatningerne.

Sammenlignes disse kappilarsugningsresultater med kapillarsugning for referenceprøverne udført i [Reiff og Melgård, 2013], kan det konstateres, at prøven med 5 % cementerstatningen suger mindre vand end referencen ved  $\sqrt{t} = \sqrt{120 \text{ s}}$ .

Ligeledes er det ikke helt muligt at bestemme kapillartallet for prøverne, idet graferne ikke når at flade ud, således at kunne danne en vandret asymptote. Et tilnærmelsesvist kappilartal kan bestemmes for 5 % cementerstatningen:  $k = \frac{Q}{\sqrt{t}} = \frac{2,676}{\sqrt{120}} = 0,0223$

Det kan også ses, at de 2 andre prøver ville have et større kappilartal end 5 % cementerstatningen, havde forsøget blevet målt i længere tid.

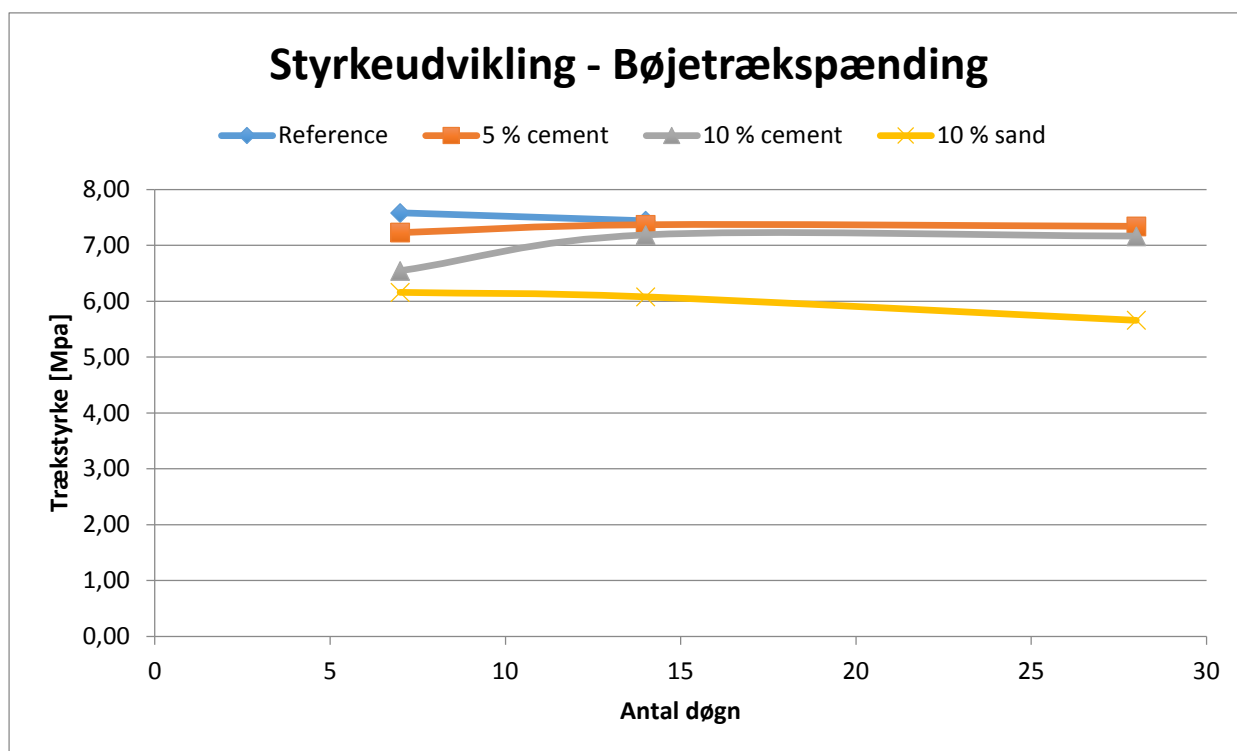
Et højere kappilartal betyder flere eller større kappillarporer, hvilket kan betyde et større porøsitet.

## 7.4 Tryk- og trækstyrke

### 7.4.1 Trækstyrke

Selvom betonen er ikke stærkt (uden armering), når den bliver påsat træklaster, ønskes askens effekt på trækstyrken alligevel undersøgt.

I dette delafsnit ses på trækstyrkeudvikling over antal døgn.



Graf 7.2: Udvikling i bøjetrækspænding 7- og 14-døgns

Som det kan ses i grafen foroven, er der generelt ikke meget variation i trækstyrken fra 7-døgns til 14-døgns og igen til 28-døgns. Med andre ord kan det siges, at trækstyrken er nogenlunde konstant over 7 til 28 døgn. Dog for prøven med 10 % sanderstatning, kan det ses at trækstyrken er faldende over antal døgn, hvilket teoretisk set ikke kan begrundes. Det kunne skyldes mulige fejlkilder som unøjagtige målinger.

Ydermere bemærkes det, at trækstyrken i gennemsnittet er ca. 14,5 % af trykstyrken (bliver gennemgået i næste afsnit).

## 7.4.2 Trykstyrke

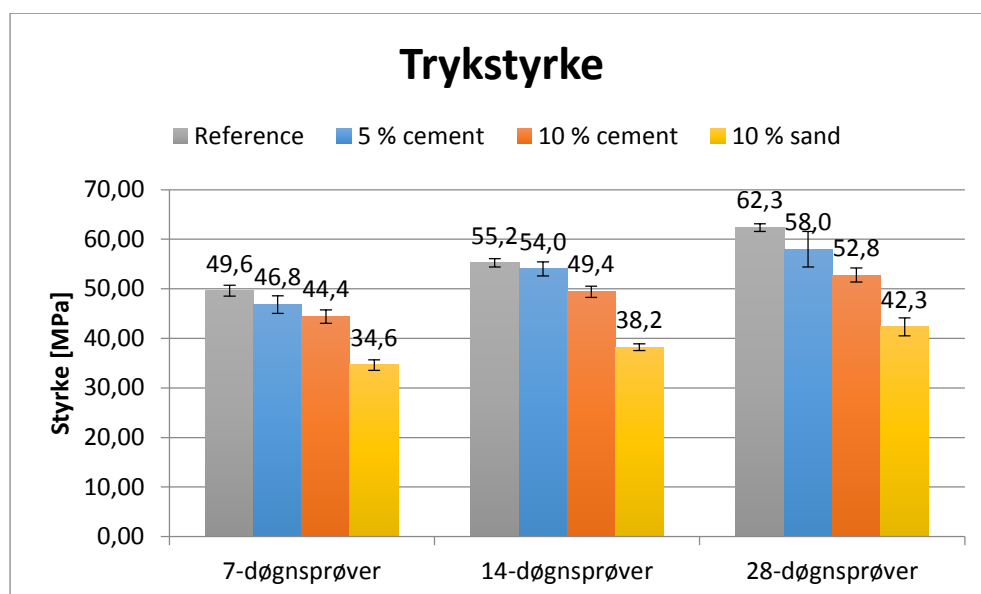


Diagram 7.5: Trykstyrke for asken fra depotet samt for referenceprøver

Der opnås en meget brugbar trykstyrke for 5 % cementsubstitution for 7-, 14- og 28-døgns prøver. For 7-døgns prøven ved 5 % cementsubstitution opnås hele 94,3 % af referenceprøven for samme antal hærdningsdøgn.

Blandingerne med 10 % cement giver ligeledes gode trykstyrker, som kan være anvendeligt.

Den procentvise opnået trykstyrke for blandingerne ift. referenceprøven er opgjort i en tabel:

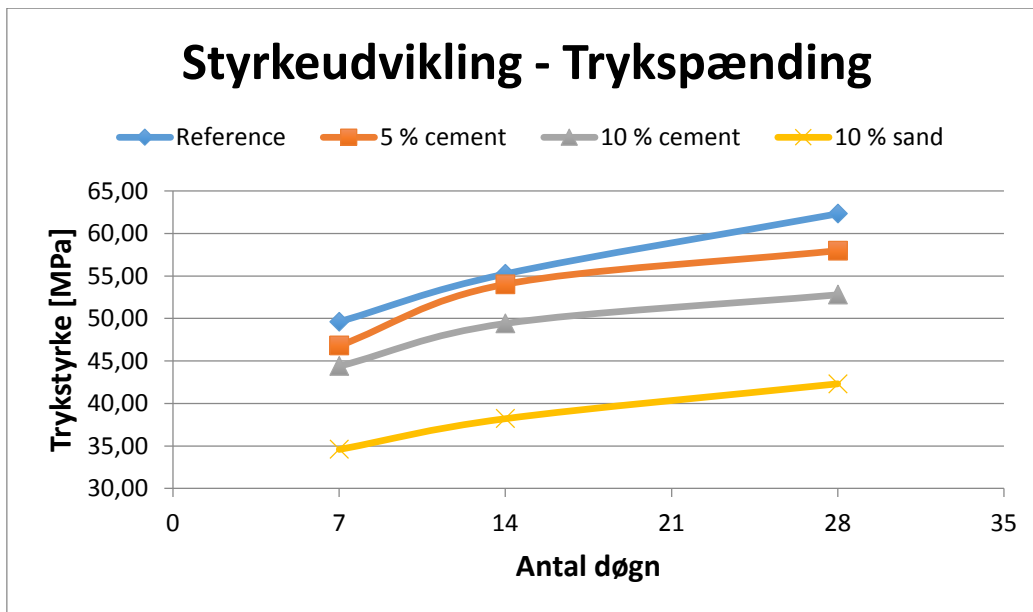
	7-døgns	14-døgns	28-døgns
	[%]	[%]	[%]
5 % cement	94	98	93
10 % cement	89	89	85
10 % sand	70	69	68

Tabel 7.3: Procentvis opnået trykstyrke ift. referenceprøverne

Det bemærkes, at ved en 10 % sanderstatning falder trykstyrken gevaldigt. Dette skyldes i høj grad porøsiteten af blandingen pga. lav v/c forhold. Af Ryschkewitch's formel<sup>5</sup> fremgår det, at styrken af materialet falder ved en øget porøsitet, hvilket også holder sandt i dette tilfælde. En anden grund til en større porøsitet ved 10 % sanderstatningen kan være, at ved denne blanding en større mængde aske, er det svært for hele asken for at reagere med calciumoxidet fra cementen og danne gips. Derfor vil blandingen ikke blive pakket ligeså godt ind, som ønsket.

<sup>5</sup> Gottfredsen & Nielsen, Bygningsmaterialer – grundlæggende egenskaber, tabel 1 s. 214





Graf 7.3: Trykstyrkeudvikling fra 7 til 28 døgn

Grafen foroven viser styrkeudviklingen fra 7 til 28 døgn. Der ses, at der er en stor tendens til at mørtlen opnår en større styrke i de første 7 døgn, hvorefter hældningen på linjen fladere ud fra 14 til 28-døgnsprøver. Dette kan specielt ses for 5 % cementsatningen.

## 8 Videre forløb

Som det kunne ses i resultaterne, var der et stort indhold af salte i asken, specielt sulfat og klorid (som kunne overstige grænseværdierne for kloridindholdet i betonen).

Der ønskes nu undersøgt om trykstyrken kan øges, når asken bliver vasket fri (der vil dog stadig være lidt tilbage) for anioner og kationer, samt at imødekomme lovkravene for saltindholdet i betonen. Samtidig vil påvirkningen af dette på afbindingstiden undersøges.

Det kunne endvidere konstateres, at mørtelprøverne havde et stort porøsitet, hvilket kunne skyldes kornstørrelserne i asken. I den sammenhæng kunne trykstyrken sandsynligvis øges ved knusning af asken.

I det næste og sidste fase vil vi derfor undersøge trykstyrken og afbindingstiden for hhv. knust aske og knust+vasket (som herefter vil benævnes som vasket aske) i betonen.

## 9 Resultater og diskussion – videre forløb

I dette afsnit vil resultaterne for den bearbejdet aske blive redegjort og diskuteret ift. resultaterne for den første fase, hvor der kun blev kigget på asken fra depot (ikke bearbejdet).

I de følgende afsnit vil asken, der ikke er bearbejdet vil benævnes som aske fra depot (eller ALM) den knuste aske for knust aske og den vasket+knust aske for vasket aske.

Udvaskningen af saltindholdet i asken er udført ved at lave vandopløselighedsforsøget.

### 9.1 Vandopløselige anioner i asken – efter vask

For at undersøge, om udvaskningen af asken har resulteret i formindskelse af saltindholdet i asken, er der foretaget en ICT-undersøgelse.

Følgende resultater blev opnået.

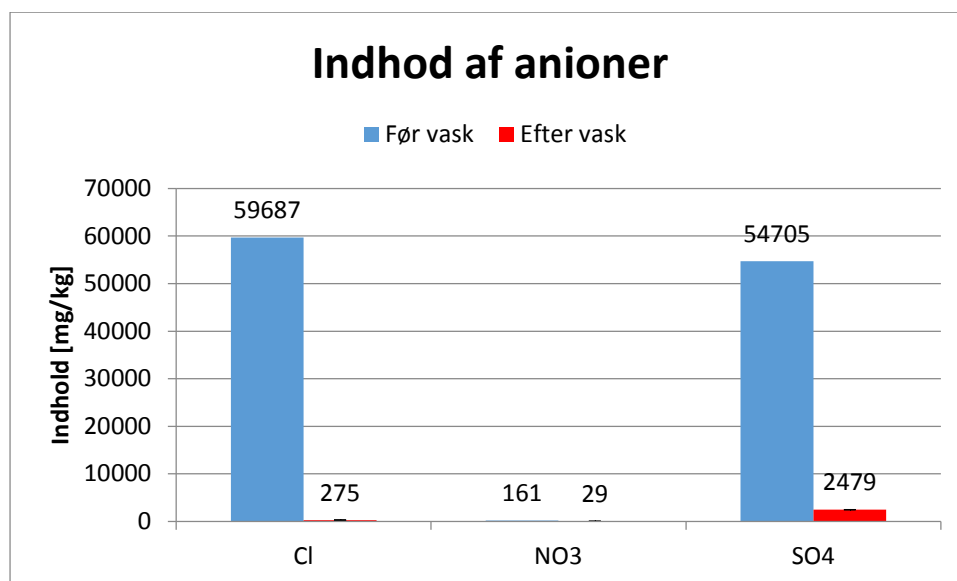


Diagram 9.1: Indhold af saltioner i asken, før og efter vask

Som det ses i diagrammet foroven, er der en stor forskel på saltindholdet i asken før og efter vask.

Den formindsket saltindhold er positiv for betonen, idet betonen let kan overholde kravene for den maksimal tilladelig indhold af kloridioner i betonen. Dog vil en meget lav kloridkoncentration i blandingen betyde, at hærdnetiden vil blive langsommere.

Indholdet af kloridet for en 10 % cementsstatning beregnes for den vasket aske:

$$275 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{10^{-6}(\text{mg} \cdot \text{g})}{\text{g} \cdot \text{kg}} = 0,000275 \frac{\text{g}}{\text{g}} \text{ klorid}$$

$$0,000275 \frac{\text{g}}{\text{g}} \cdot \frac{45\text{g}}{405\text{g}} \cdot 100 \% = 0,00306 \%$$

Hvilket er langt under grænseværdierne for kloridindholdet i betonen.

Samtidig kan de ses, at indholdet af SO<sub>4</sub> i den vasket aske er faldet markant ift. asken fra depotet.

## 9.2 Kornstørrelsesfordeling

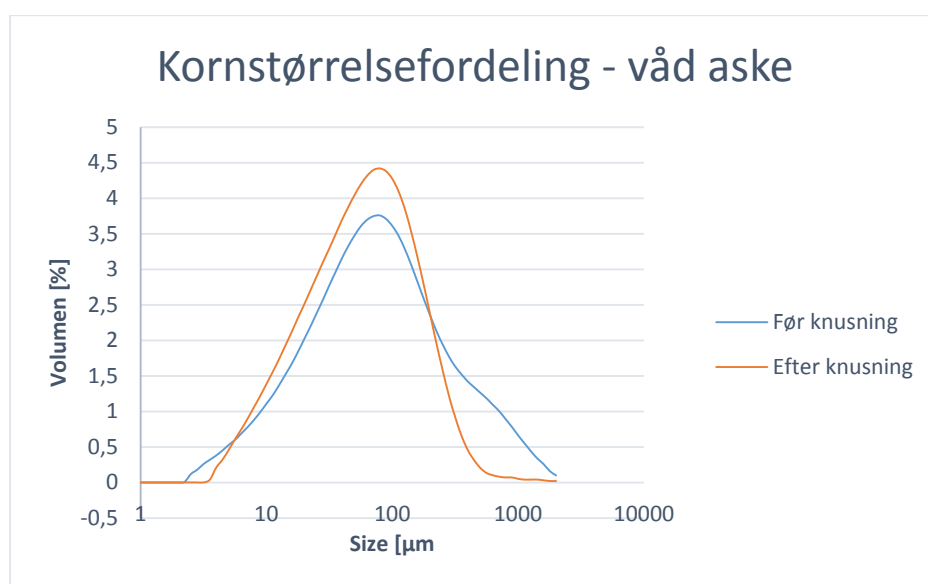
For at få en idé om kornstørrelser på asken er der foretaget et kornstørrelsesfordelingsforsøg før og efter knusning af asken.

Til at starte med blev kornstørrelsesforsøget udført som tør aske, både før knusning og efter knusning, men resultatet var dog misvisende, idet resultatet viste, at kornene blev større efter knusning, hvilket teoretisk set ikke er sandsynligt.

Grunden til at resultatet efter knusning var større, kan muligvis skyldes, at partiklerne i asken er klumpet sammen efter knusning, hvilket maskinen ikke har været i stand til at adskille disse.

Der blev derfor forsøgt at lave forsøget med våd aske, således, at der blev benyttet en peptisator i form af natriumpyrofosfat til at holde partiklerne adskilte ved at ændre partiklernes elektrokemiske forhold.

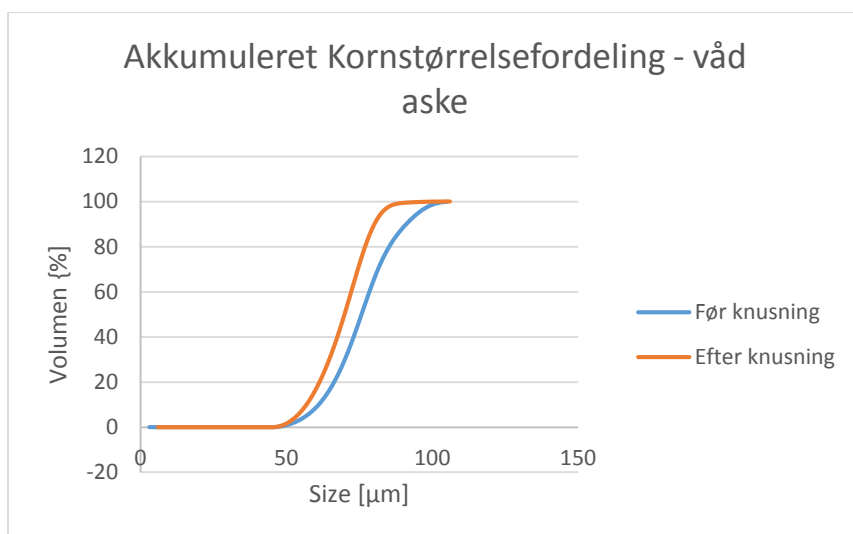
Resultaterne for den våde prøve, både før og efter knusning vil blive diskuteret, og rådata for tør aske vedlægges som bilag.



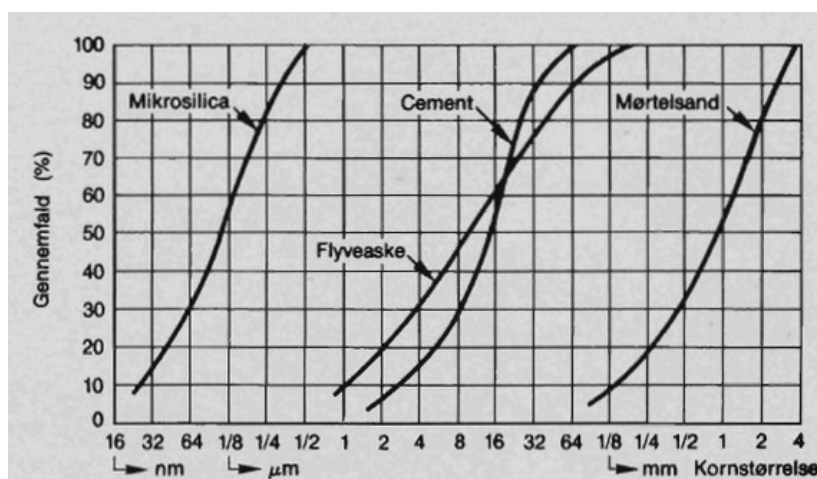
Graf 9.1: Kornkurve før og efter knusning – våd aske

Som det kan ses i ovenstående graf, er der en større volumen af partiklerne med mindre kornstørrelser for asken efter knusning end for asken før knusning.

Endvidere bemærkes ud fra toppunkterne, at for den ikke-knust aske ligger den højeste volumenandel [3,75 %] ved en kornstørrelse på ca. 90  $\mu\text{m}$ , hvorved for den knuste aske ligger ca. ved den samme kornstørrelse, men med en volumenandel på 4,42 %.



Graf 9.2: Akkumuleret kornkurve før og efter knusning – våd aske



Figur 9.1: Kornkurver [Beton-bogen, 1985]

Sammenlignes den akkumuleret kornstørrelsesfordeling for asken før og efter knusning med kornstørrelsesfordelingen for cementen [figur 9.1], så kan det klart ses, at kornstørrelsesfordeling for asken ligger meget højere ift. Kornstørrelsesfordelingen for cementen.

En 50 %-fraktile for den akkumuleret kornstørrelsesfordelingen for den knuste aske ligger på ca. 70  $\mu\text{m}$ , hvorimod for cementen ligger på 16  $\mu\text{m}$ .

Ser vi på den akkumuleret kornkurve, kan vi samtidig konstatere, at asken overholder ikke kravene for finheden jf. DS/EN-450-1, hvor finheden er delt op i 2 kategorier, S og N.

I kategori S, hvilket er den groveste af de 2 kategorier, må kornstørrelserne større end 45  $\mu\text{m}$  ikke udgøre mere end 45 % af askens samlede volumen.

### 9.3 Trykstyrke

I den tidlige fase kunne det tydeligt ses, at ved 10 % sanderstatning opnåede vi for en lav trykstyrke, derfor blive denne recept ikke udført i denne fase. I stedet tages en 15 % cementerstatning og undersøges, om der opnås en brugbart trykstyrke for dette.

Et oversigt over støbninger i det videre forløb kan ses i nedestående skema:

7-døgn	14-døgn
5 % Cement - KA	5 % Cement - KA
10 % Cement - KA	10 % Cement - KA
15 % cement KA	15 % cement KA
5 % Cement - VA	5 % Cement - VA
10 % Cement - VA	10 % Cement - VA
15 % cement VA	15 % cement VA

Skema 9.1: Oversigt over støbninger i det videre forløb

Hvor KA er knust aske og VA er knust+vasket aske

Ligesom i den første fase, så blev trykstyrken målt for støbningerne i det videre forløb. Resultatet er som følge:

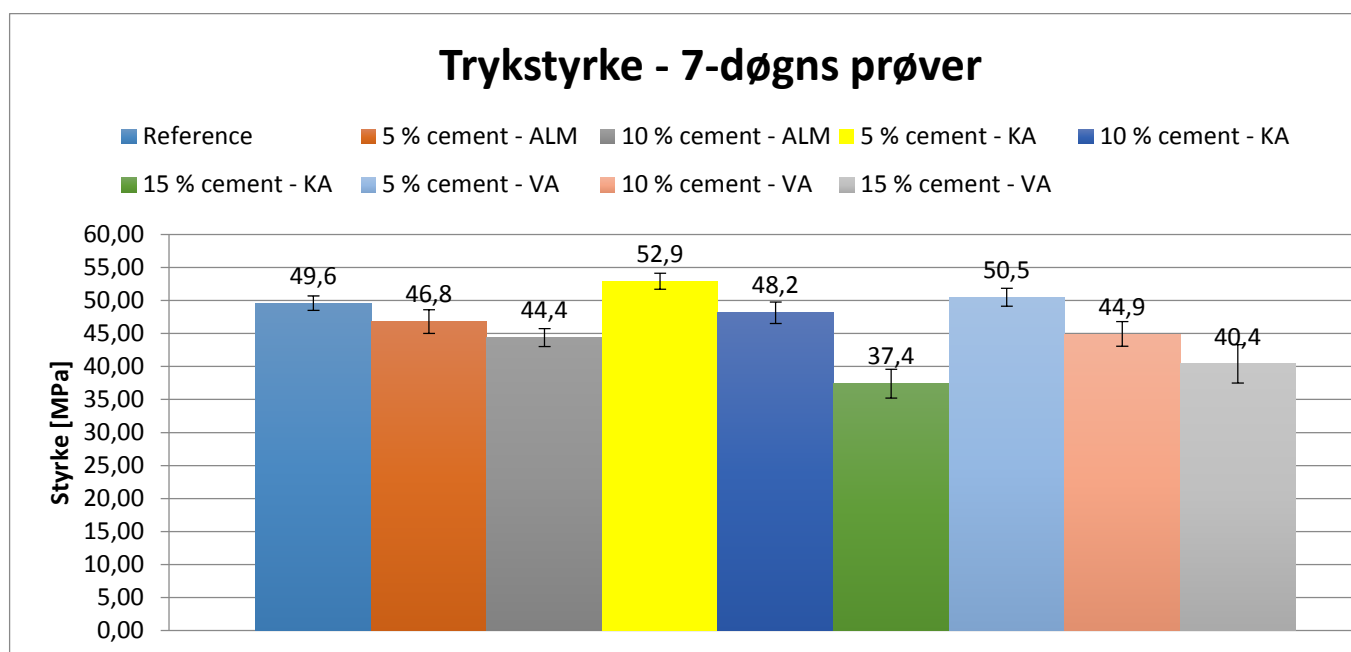


Diagram 9.2: Trykstyrke for 7-døgns prøver

For 7-døgnsprøverne kan det tydeligt ses, at knusningen samt vask af asken har haft et positivt effekt på trykstyrken, hvor nogle steder opnås en trykstyrke højere end referenceprøven.

Knusning af asken har haft betydeligt effekt på trykstyrken, hvor ved 5 % cementerstatningen kan ses forbedret trykstyrke på 6,1 MPa eller en forøgelse på ca. 12 %. Dette er en effekt af kornstørrelserne og fordelingen af den samme, der har fremkaldt en bedre pakning af komponenterne i blandingen.

Det kan endvidere bemærkes, at generelt har den vasket aske en anelse lavere trykstyrke end den knuste aske. Dette kan skyldes det høje vandopløselighed i asken fra depot (ALM-aske).

Under filtrering har asken frigivet flere ioner, der kan reagere med cement, vand og sand under blandingen. Dette forårsager en mindre binding af partiklerne i mørtlen og derfor en lavere styrke.

Liv og Sabine har i deres projekt [Rosenmai og Svendsen, 2012] fundet frem til, at  $SO_4$  havde en positiv virkning på stykren i deres aske fra Lundtoften, men ikke fra Albertslund, så det kan hverken bekræftes eller afkræftes om reduktionen af sulfatet efter vask har medvirket til en lavere styrke eller ej.

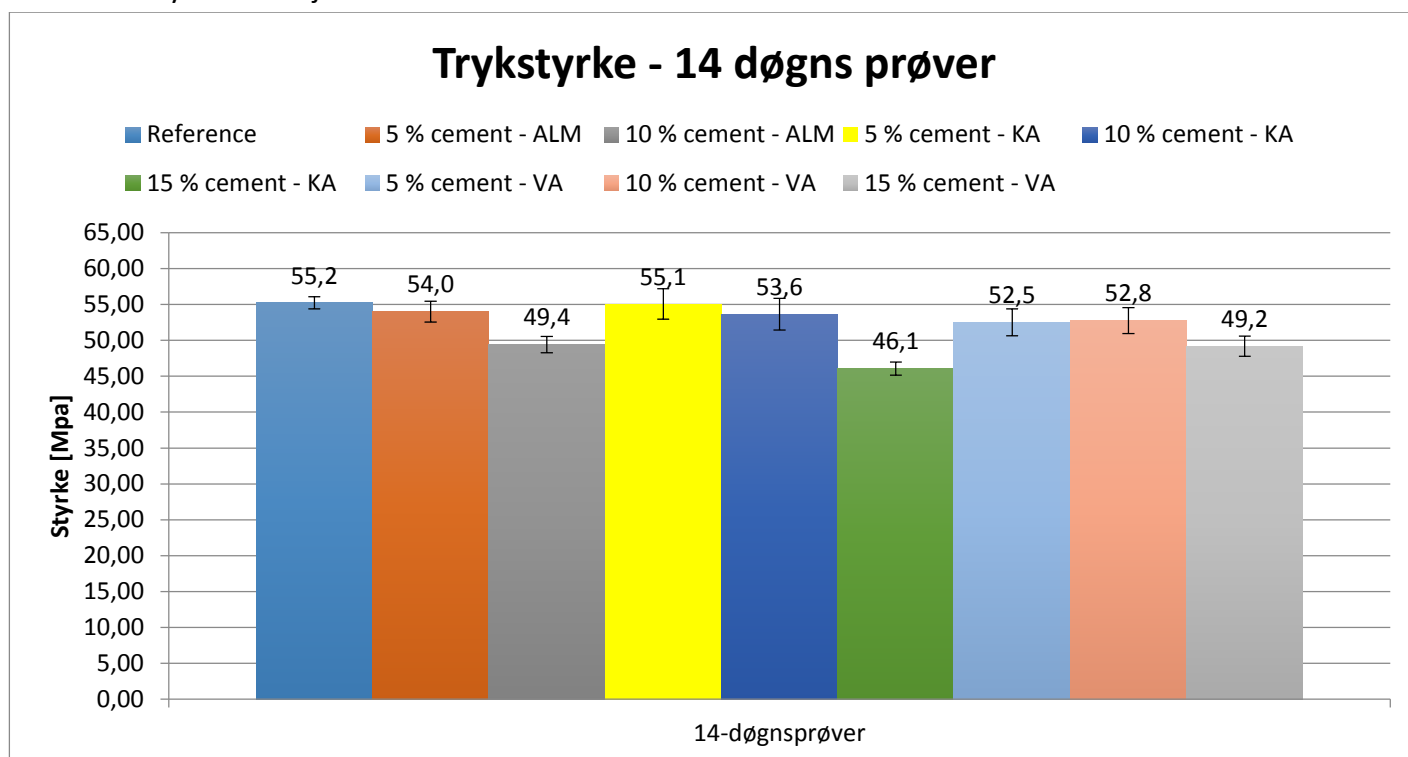


Diagram 9.3: Trykstyrke for 14-døgns prøver

For 14-døgns prøver forholder trykstyrkerne sig på samme måde som trykstyrke for 7-døgns prøverne. Her opnås også den højeste trykstyrke ved 5 % cementerstatning med knust aske.

Ydermere gælder det for begge prøver (7- og 14-døgns), at ved 15 % cementerstatningerne fås en højere trykstyrke ved vasket aske, i modsætning til de resterende erstatninger.

Den procentvise opnået trykstyrke ift. Referenceprøverne er opgjort i tabellen forneden.

	7-døgns	14-døgns
	[%]	[%]
5 % Cement - VA	107	100
10 % Cement VA	97	97
15 % Cement - VA	75	83
5 % Cement - KA	102	95
10 % Cement KA	91	96
15 % Cement - KA	81	89

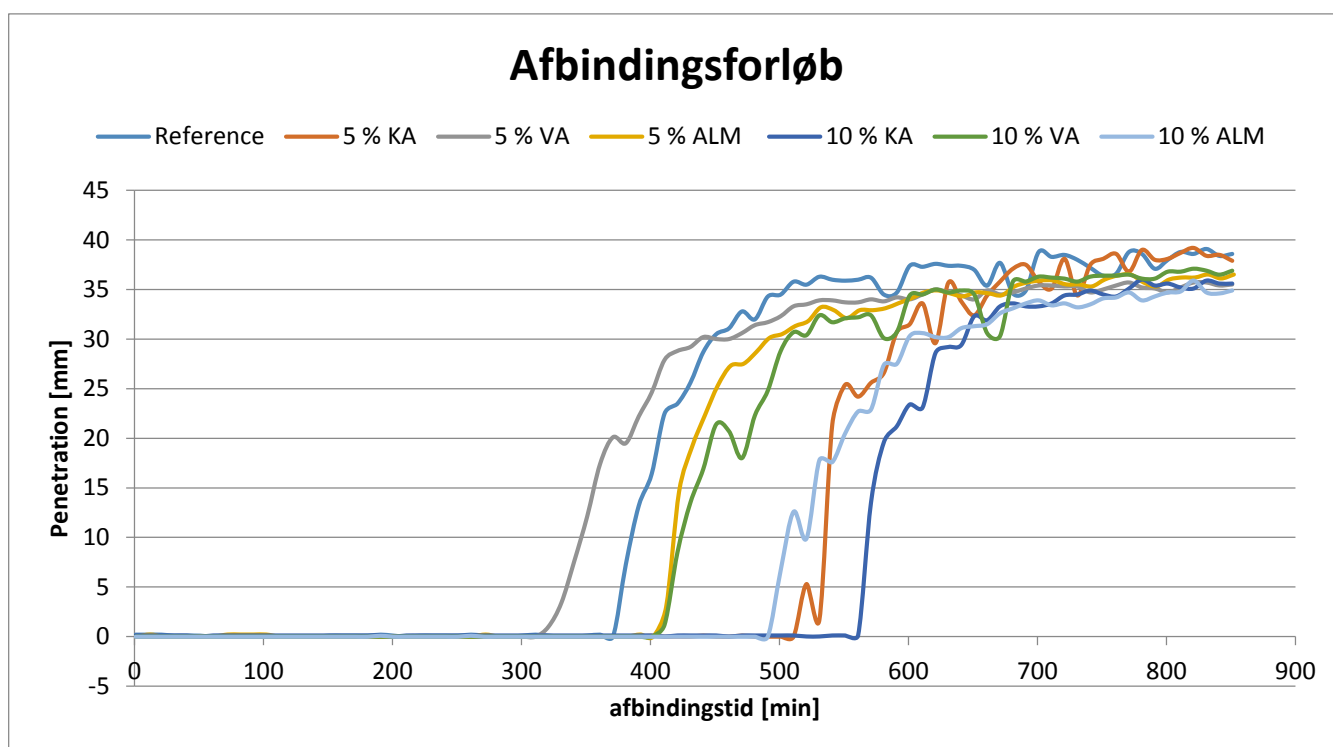
*Tabel 9.1: Procentvis opnået trykstyrke ift. referenceprøverne*



## 9.4 Afbindingstid

Et forsøg over afbindingsforløbet er foretaget for at undersøge om de forskellige erstatninger af cement har noget effekt på afbindingstiden.

Afbindingsforsøget er startet ca. 1 min efter cementpastaens blanding.



Graf 9.3: Afbindingsforløb for cementserstatning

Ses på grafen foroven, kan det hurtigt bemærkes, at bindingstiden er lavest for 5 % cementserstatning med udvasket aske. Dette skyldes dels, at viskositeten er mindre for vasket aske end for knust eller almindelige (fra depot) aske og dels sulfationerne, der er blevet færre efter vask af aske.

Ved blandingen reagerer sulfationerne med partiklerne i blandingen, hvilket medfører en længere afbindingstid i mørtlen.

På skemaet nedenfor er de indledende afbindingstider angivet for forskellige cementerstatninger. Tiderne er afrundet til nærmeste 15 min jf. DS-EN 196-3 + A1-2009.

	Reference	5 % ALM	5 % KA	5 % VA	10 % ALM	10 % KA	10 % VA
Indledende afbildningstid	391,00	421,00	541,00	351,00	501,00	571,00	421,00
PEN [mm]	13,2	14,6	21,40	12,1	6,7	13,5	8,5
Afvigelse fra REF [%]	-	-8	-38	10	-28	-46	-8

Tabel 9.2: Indledende afbildningstider

Ud fra resultaterne kan det også ses, at den knuste aske har en negativ effekt på afbindingstiden. En muligvis årsag til denne kan være, at de mindre partikler og derfor flere partikler er længere tid om at binde sig til komponenterne i cementpastaen. At afbildningstiden afhænger af koncentrationen af partiklerne kan også ses ved en øget askeindhold i cementpastaen. Det kan netop ses, at jo højere askeindholdet er jo længere er afbildningstiden. Dette gælder for asken fra depotet, knust aske og vasket+knust aske.

De endelige afbindingstider, der måles når nålen synker højst 0,5 mm ned i prøven, ift. den mindste dybde, varierer meget og er meget upræcise, pga. ujævnheder på cementpastaens overflade, men det kan stadig tydes, at den vasket aske har den hurtigste endelig afbindingstid, ved en 5 % cementerstatning.

Der er samtidig forskellige mindste dybder på målingerne (se bilag for afbindingstid). Dette skyldes, at mængden af cementpastaen i rejebæret har været forskellige fra måling til måling.

Amanda og Nina har i deres projekt [Bonnerup og Sigvardsen, 2014] har i deres prøver fået meget lave afbindingstider, og da de samtidig har fået lav afbindingstid for referenceprøven [160 sekunder], vil en sammenligning af afbindingstiderne med deres, ikke være meningsfuldt.

## 10 Sammenligning med træaske fra Køge kraftvarmeværk

I dette afsnit sammenlignes i kort træk træasken (Amagerværket) anvendt i dette projekt med træasken (Køge kraftvarmeværk), der er benyttet i et tidligere projekt [Bonnerup og Sigvardsen, 2014] med særlig fokus på trykstyrken.

I deres projekt har Amanda og Nina brugt 2 træasker. Træasken er den samme, men der er hente aske, både fra depotet og direkte fra ovnen. Vi ønsker kun at kigge på træasken, der er har været opbevaret i depotet, da dette er undersøgt i hele deres projektforsøg.

Det er blevet oplyst at træasken fra Køge bliver transporteret til Norge, hvor det anvendes til neutralisering og mineralisering af affaldssyrer.

Et hurtigt overblik over askernes egenskaber:

	Vandopløselighed	Vandindhold	pH
	[%]	[%]	[-]
Amagerværket	28,14	0,73	13,13
Køge kraftvarmeværk	52,3	0,2	13

Vi starter med at se på saltindholdet.

	Amagerværket	Køge Kraftvarmeværk	Amager, udvasket	Køge, udvasket	Afvigelse, ikke vasket	Afvigelse, udvasket
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]	[%]
Cl	59687	6580	275	117	89	58
NO3	161	542	29	33	-237	-15
SO4	54705	81904	2479	240	-50	90

Tabel 10.1: Saltindhold for aske fra hhv. Amagerværket og Køge kraftvarmeværk

Der kan i det ovenstående skema ses, at i den ubehandlet aske fra Amagerværket er indholdet af klorid rimelig større end i asken fra Køge Kraftvarmeværk. Dette høje kloridindhold, som tidligere nævnt i rapporten, har en stor rolle i fremkald af armeringskorrosion i betonen.

Det bemærkes også, at i begge tilfælde bliver saltene opløst helt (idet tallene er meget lave, regnes de som nul), hvilket er meget positivt for korrosionsrisikoen.

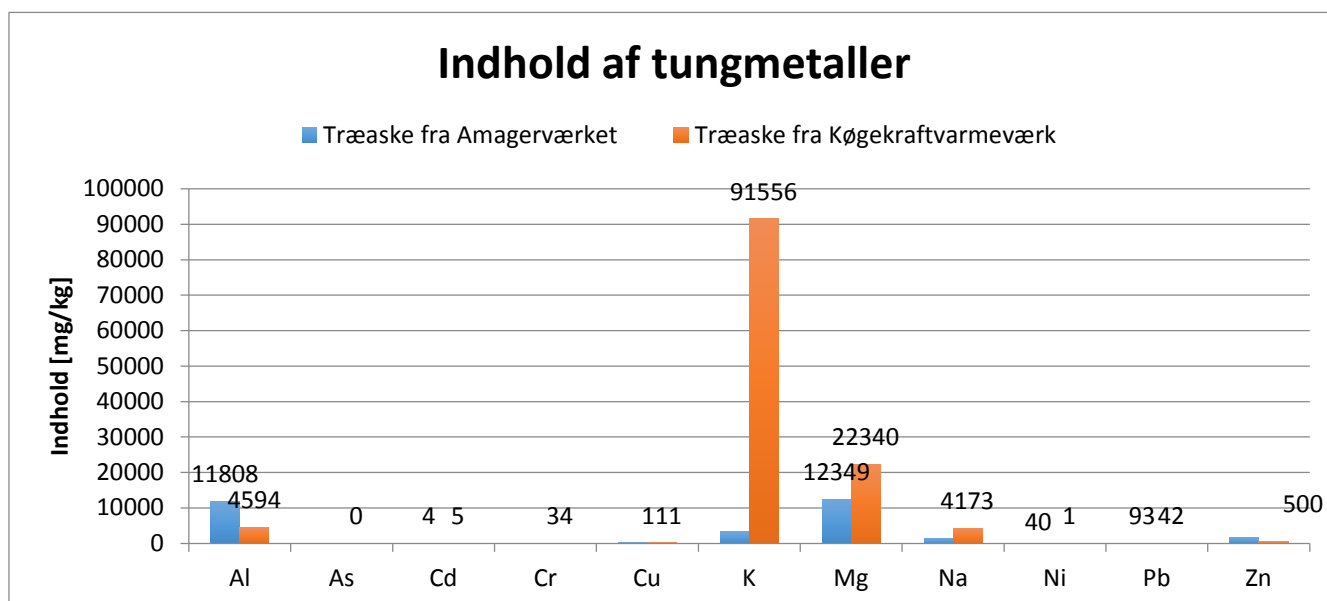


Diagram 10.1: Indhold af tungmetaller i askerne fra hhv. Amagerværket og Køge Kraftvarmeværk

Der er ikke meget forskel på indholdet af tungmetallerne for de to asker, på nær kalium, som findes i stor mængde i asken fra Køge kraftvarmeværk.

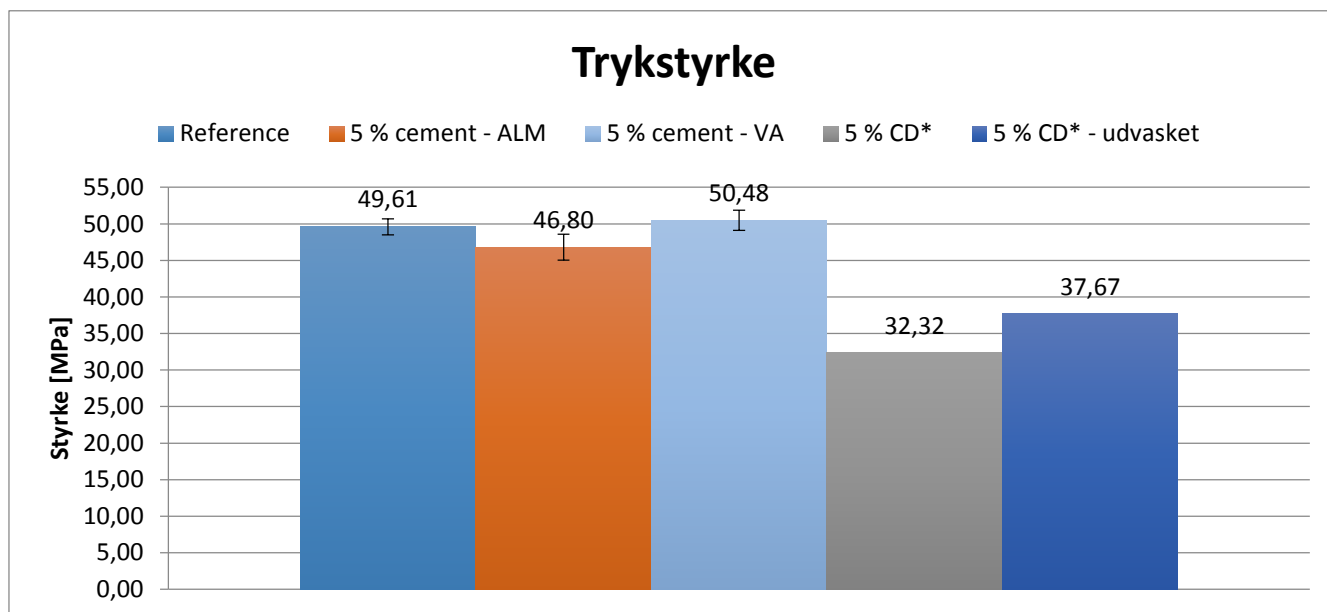


Diagram 10.2: Trykstyrke over 7-døgnsprøver og \*5-døgnsprøver med forskellige asker

I *diagram 10.2* på forrige side ses trykstyrken for hhv. asken fra Amagerværket (5 % cement og ALM, 5 % cement – Vasket aske (VA)), som alle har hærdnet i 7 døgn og for aske fra Køge kraftvarmeværk (5 % CD\* og 5 % CD\*-udvasket) som har stået til hærkning i 5 døgn kun.

Det ville være strengt at sammenligne disse trykstyrke, idet der er forskel på antal hærkningsdøgn, men resultaterne indikerer, at der opnås en smule højere trykstyrke for asken fra Amagerværket.

En grov konklusion af sammenligning af de 2 asker vil være, at askerne i store træk opfører sig på samme måde, men

## 11 Konklusion

Under undersøgelse af askens egenskaber, blev det observeret ved en glødetabsundersøgelse og ved oplukning af tungmetaller, at indholdet af organiske stoffer (2,46 %) og indholdet af tungmetallerne ikke var et bekymrende parameter i asken, da glødetabet lå under grænseværdien for indholdet af organiske stoffer (5 %) og med de målte mængder af tungmetaller, faldt asken under kategori 2 jf. Bekendtgørelsen for anvendelse af restprodukter til bygge – og jordarbejdere.

Ved en ICP-måling blev det konstateret, at kloridindholdet i asken lå over eller op til grænseværdierne iht. DS/EN 450-1 og i den sammenhæng blev det vurderet, at en ekstrahering af kloridet ved at vaske asken ville være nødvendigt for at løse denne konsekvens.

En undersøgelse af kornstørrelsesfordelingen viste, at asken både før og efter knusningen var for grov jf. DS/EN-450-1.

Afbindingsforløbet blev undersøgt for den ubehandlet, den knuste samt den udvasket aske. Resultaterne indikerede, at den udvasket aske havde en lavere indledende afbildningstid (10 %) ift. referenceprøven. Dette kunne muligvis skyldes det lave indhold af sulfat ioner og eller indholdet af ikke-vandopløselige ioner i asken.

Endvidere blev det observeret, at mængden af asken i cementpastaen havde en effekt på afbindingstiden, jo mere aske jo højere en afbindingstid.

Trykstyrkeundersøgelserne viste, at vask og knusning af asken havde en positiv effekt på prøvernes styrke. Den højeste trykstyrke for både 7-døgns og 14-døgnsprøver blev opnået ved en 5 % cementerstatning med den knuste aske, som opnået 107 % af trykstyrken for referenceprøven. Prøverne med den udvasket+knust aske havde en smule lavere trykstyrke (102 % af trykstyrken for referenceprøven), hvilket ikke er en signifikant forskel. Samtidig indikerede trykstyrkeresultaterne, at op til 10 % cementerstatning havde brugbare trykstyrker.

På baggrund af de forsøg, der er foretaget og de resultater, der er opnået under dette projektforsøg, kan det konkluderes, at asken fra Amagerværket opnår trykstyrker, der er anvendeligt, især med 5 % cementerstatninger og derfor bør anvendeligheden af denne aske som cementerstatning undersøges nærmere.

## 12 Videreforskning

### **Puzzolansk effekt og en detaljeret porøsitet- og densitetsundersøgelse:**

Resultaterne indikerede, at asken havde en positiv pakningsgrad og indholdet af jernet var også højt. Det vil derfor være interessant at undersøge indholdet af puzzolanske stoffer, som  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Samtidig kunne det sammenlignes med en detaljeret undersøgelse af porøsitet og densitet for både den knuste og den udvasket aske.

### **Frostangreb:**

En undersøgelse om frostangreb pga. porøsiteten kunne også foretages for at fastlægge risikoen i at benytte betonen med asken ved lave temperaturer.

### **Acceleratorer:**

For nogle prøver viste resultaterne, at afbindingstiden ligger højere end referencen, derfor kunne acceleratorer benyttes for fremprovokere en hurtigere afbinding af betonen, hvis ønsket. Samtidig kunne acceleratorernes effekt på betonens styrke undersøges.

### **Korrosion ved armeret beton:**

Asken fra depotet viste sig at indeholde meget klorid, derfor kunne det være en oplagt mulighed for at undersøge korrosionsrisici i armeret beton.

### **Tilsætning af stoffer der kan forøge styrken:**

Ifølge Ålborg Portlands kan en tilsætning af calciumklorid øge styrken. Der vil derfor for den udvasket aske undersøges den optimale styrke ift. maksimale kloridindhold undersøges.

## 13 Litteratur og referencer

### Bøger

- [Beton-bogen] Herold, Aage D.; Justensen, Chr. F. P.; Nepper-Christensen, Palle; Nielsen, Ander (1985): *Beton-Bogen*, 2. udgave, Aalborg Portland, Cementfabrikkernes Tekniske Oplysningskontor
- [Bygningsmaterialer] Gottfredsen, Finn R og Nielsen, Anders: *Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber*, 1. udgave, Polyteknisk Forlag

### Rapporter

- [Lyngholm, 2012] Lyngholm, Katharina (2012): *Brug af aske i beton – nye problemer nye muligheder, anvendelse af røgaske i beton*, DTU BYG, Danmarks Tekniske Universitet
- [Carlsen og Petersen, 2013] Carlsen, Asger B.; Petersen, Søren R (2013): *Slamaske i beton – undersøgelse af anvendelsesmuligheder*, DTU BYG, Danmarks Tekniske Universitet
- [Mathiasen, 2014] Mathiasen, Rikke Klavstrup (2014): *Anvendelse af slamaske fra depot i beton – den friske betons egenskaber*, DTU BYG, Danmarks Tekniske Universitet
- [Bonnerup og Sigvardsen, 2014] Bonnerup, Amanda Helene; Sigvardsen, Nina Marie (2014): *Anvendelse af alternativ aske i beton – bearbejdelighed og afbindingsforløb*, DTU BYG, Danmarks Tekniske Universitet
- [Rosenmai og Svendsen, 2012] Rosenmai, Liv; Svendsen, Sabine (2012): *Slamaskes anvendelighed i beton – Anvendelse af slamaske i beton efter fosfor indvinding*, DTU BYG, Danmarks Tekniske Universitet
- [Reiff og Melgård, 2013] Reiff, Morten; Melgård, Morten G (2013): *Slamaske i beton – Effekt af knusning og syrevask af slamaske*, DTU BYG, Danmarks Tekniske Universitet



**Dansk standarder**

[DS/EN 196-1]	Dansk Standard (2005): <i>Metoder til prøvning af cement – Del 1: Styrkebestemmelse</i> , 2. udgave, Dansk Standard
[DS/EN 196-3+A1-2009]	Dansk Standard (2009): <i>Metoder til prøvning af cement – Del 3: Bestemmelse af afbindingstiden og volumenbestandighed</i> , 3. udgave, Dansk Standard
[DS/EN 450-1]	Dansk Standard (2012): <i>Flyveaske til beton – Del 1: Definition, specifikationer og overensstemmelses-kriterier</i> , 3. udgave, Dansk Standard
[DS 2426- EN 206-1]	Dansk Standard (2011): <i>Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark</i> , 4. udgave, Dansk Standard
[DS/EN 196-10]	Dansk Standard (2006): <i>Metoder til prøvning af cement – Del 10: Bestemmelse af vandopløseligt kromindhold i cement</i> , 1. udgave

**Bekendtgørelser**

Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurennet bygge- og anlægsaffald (2010), Miljøministeriet

**Internetsider:**

[HOFOR]	<a href="http://www.hofor.dk/amagervaerket/">http://www.hofor.dk/amagervaerket/</a> ; 12.12.2014
[Aalborg Portland]	<a href="http://www.aalborgportland.dk/default.aspx?m=2&amp;i=444">http://www.aalborgportland.dk/default.aspx?m=2&amp;i=444</a> ; 01.01.2015
[Klimadebat]	<a href="http://www.klimadebat.dk/co2-udledning-og-co2-kilder-bionyt-500-svar-om-klima-r45.php">http://www.klimadebat.dk/co2-udledning-og-co2-kilder-bionyt-500-svar-om-klima-r45.php</a> ; 01.01.2015

## 14 Bilag

<b>1</b>	<b>FORSØGSVEJLEDNINGER</b>	<b>45</b>
1.1	MÅLING AF PH	45
1.2	LEDNINGSEVNE	47
1.3	MÅLING AF GLØDETAB	49
1.4	VANDINDHOLD	51
1.5	VANDOPLØSELIGHED	53
1.6	VANDOPLØSELIGE ANIONER	54
1.7	OPLUKNING AF TUNGMETALLER	55
1.8	PORØSITET, DENSITET OG KAPPILLARSUGNING	58
1.9	BLANDEPROCEDURE	63
<b>2</b>	<b>DATA</b>	<b>64</b>
2.1	GLØDETAB OG VANDOPLØSELIGHED	64
2.2	PH, LEDNINGSEVNE OG VANDINDHOLD	65
2.3	KAPPILLARSUGNING	66
2.4	PORØSITET OG DENSITET	67
2.5	OPLUKNING (TUNGMETALLER)	68
2.6	VANDOPLØSELIGE ANIONER	70
2.7	VANDOPLØSELIGE KATIONER	71
2.8	AFBINDINGSTID	72
2.9	TRYKSTYRKER	75
2.9.1	TRYKTEST – REFERENCER	75
2.9.2	TRYKSTYRKE I FØRSTE FASE (UBEHANDLET ASKE)	76
2.9.3	TRYKSTYRKE I DET VIDERE FORLØB (KNUST SAMT VASKET+KNUST ASKE)	79
2.10	KONSTØRRELSFORDELING (MASTERSIZER)	83
2.10.1	RESULTATER FOR TØR PRØVE – UBEHANDLET ASKE	83
2.10.2	RESULTATER FOR TØR PRØVE – VASKET ASKE	86
2.10.3	RESULTATER FOR VÅD PRØVE – ASKE UBEHANDLET	90
2.10.4	RESULTATER FOR VÅD PRØVE – VASKET ASKE	93
<b>3</b>	<b>DIVERSE</b>	<b>96</b>
3.1	MAIL FRA HOFOR	96
3.2	POSTER	98

# 1 Forsøgsvejledninger

## 1.1 Måling af pH

---

Electrochemistry in Civil Engineering, Metode 4, 16/11/10

### pH i 1 M KCl opsløsning. Jord-væske forhold 1:2,5

#### A Princip

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

#### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes kombinationsselektrode i forbindelse med et pH-meter, der tillader en nøjagtighed på 0,05 pH-enheder.

#### 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 4,01:**

Radiometer pH 4.

##### 3) **Bufferopløsning, pH 7,00:**

Radiometer pH 7.

**E** **Analysens udførelse****1) Fremstilling af jordopslemningen**

5,00 g tør, knust jord afvejes på teknisk vægt i en 20 mL plastvials. Der tilsættes 12,5 mL 1 M KCl-opløsning med pipette. Opslemningen stilles på rystebord i 1 time, hvorefter jorden bundfældes i 5-10 minutter, indtil en væskefase har udskilt sig over jorden.

**2) Målingens udførelse**

Elektroden anbringes i den øvre kolloidfattige del af opslemningen således at diafragmaet er under væskeoverfladen (under måling skal gummiproppen være aftaget). Undgå at elektroden ikke rammer jorden. Forud for hver måling skylles elektroden grundigt med destilleret vand, hvorefter en evt. dråbe aftørres forsigtigt med et stykke papir.

**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.

Plastvial med jorden/KCl skal opsamles i beholder til jordaffald.

## 1.2 Ledningsevne

Electrochemistry in Civil Engineering, Metode 17, 16/11/10

### Måling af ledningsevne i jord

#### A Princip

En jordvæskes indhold af ioner og opløste forbindelser er af stor interesse, da dette kan give et billede af en jordvæskes samlede koncentration (ionstyrke), ionernes aktivitetsforhold i væsken samt give et indtryk af ligevægtsforholdene mellem faste bestanddele og opløste forbindelser. Ledningsevnen for en jordvæske er et udtryk for, hvor godt en elektrisk strøm kan ledes gennem den givne væske og den afhænger af, hvor mange lede partikler, der er til stede i væsken.

#### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes ledningsevнемåler.

#### C Analysens udførelse

10,00 g tør knust jord afvejes på teknisk vægt til en 50 mL plastikflaske. Der tilsættes 25,00 mL destilleret vand med fuld pipette. Plastikflaskerne stilles ca. ½ time på rysteapparat, hvorefter jorden bundfældes i ca. 20 minutter, indtil en væskefase har udskilt sig over jorden.

Ledningsevneelektroden skylles med destilleret vand. Sæt elektroden ned i væske og der trykkes på "SAMPLE". Når displayet viser "STAB" tryk på "PRINT" og aflæs resultatet.

#### D Beregning af resultat

På baggrund af ledningsevнемålingen beregnes jordens ionindhold i jordvæsken.

Det samlede ionindhold i jordvæsken:

$$S_{\text{væske}} (\text{mækv.} / L) = \frac{10 \text{ cm} \cdot \text{mækv.} \cdot \text{ledningsevnen} (\text{mS} / \text{cm})}{L \cdot \text{mS}}$$

Det samlede ionindhold i jordvæsken kan omregnes til et samlet ionindhold af ioner pr.

$$S_{jord} = \frac{S_{væske} \cdot V_{vand\ tilst}}{M_{jord}}$$

### **E Affaldshåndtering**

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

### 1.3 Måling af glødetab

Electrochemistry in Civil Engineering, Metode 16, 16/11/10

---

#### Glødetab i jord

##### A Princip

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

##### B Specielt apparatur

Til analysen benyttes et muffelovn.

##### C Analysens udførelse

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

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

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

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

##### D Beregning af resultat

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

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

**E Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.



## 1.4 Vandindhold

---

Electrochemistry in Civil Engineering, Metode 9, 16/11/10

### Vandindhold i jord

#### A Princip

I forbindelse med den elektrodialytisk 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.

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

**E** **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

## 1.5 Vandopløselighed

### Vandopløselighed

#### Analyse:

100,00 g tørret aske afvejes på teknisk vægt til en 1L plastikflaske med låg. Der tilsættes 500 mL destilleret vand. Prøven rystes og henstilles til bundfældning.

Et filterpapir vejes og sættes i en tragt over et måleglas.

Væsken hældes over i filterpapiret. Der tilsættes igen 500 mL destilleret vand til asken og prøven omrystes og henstilles.

Væsken hældes over i det samme filter og der tilsættes igen 500 destilleret vand til asken og prøven omrystes.

Hele prøven hældes over i filteret og stilles til afdrypning.

Når asken er næste tør stilles filteret med asken i varmeskab ved 105°C natten over.

Asken og filteret vejes og vægten noteres.

## 1.6 Vandopløselige anioner

### Vandopløselige anioner

**Analyse:**

10g tørret aske afvejes på teknisk vægt til 100mL plastikflaske. Der tilsættes 50mL destilleret vand.

Prøven stilles på rystebord natten over.

Prøven filtreres med sprøjtefilter og prøven gemmes til ionchromotograf og AAS

## 1.7 Oplukning af tungmetaller

---

Electrochemistry in Civil Engineering, Metode 11A, 16/11/10

### Oplukning af jordprøve 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 et atomabsorptionsspektrofotometer (AAS).

#### C **Kemikalie sikkerhed**

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

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

**Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.**

#### D **Reagenser**

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

500 mL koncentreret HNO<sub>3</sub> overføres med måleglas til en 1000,00 mL målekolbe som er 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  $\text{HNO}_3$  med fuld pipette (skal foregå i stinkskab).

Autoklavflaskerne lukkes helt til, da  $\text{HNO}_3$  ellers vil fordampe. Flaskerne stilles i autoklaven ved 200 kPa (120°C) i 30 minutter. Flaskerne afkøles derefter til stuetemperatur.

Prøverne filtreres med sug gennem et 0,45  $\mu\text{m}$  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 AAS.

**F Bestemmelse af metaller**

Ekstraktens indhold af metaller måles ved AAS 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.

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

hvor

- A = ekstraktens metal koncentration, mg/L = ppm  
B = g jord afvejet  
C = fortyndingsfaktor

## H **Affaldshåndtering**

Salpetersyre hældes i affaldsdunke mærket X 4.18.

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinkskalet.

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

## 1.8 Porøsitet, densitet og kappillarsugning

### 4. Eksperimenter

#### 4.1. Porøsitet og densitet

##### 4.1.1. Apparatur og materialer

- 1 halv mursten
- Ekssikkator til opbevaring af prøvelegeme under vakuumsugning
- Vægt med nøjagtighed på 0,1 %
- Kontrollod
- Udstyr til vejning af prøvelegeme under vand
- Destilleret vand
- Termometer med inddeling på 0,1 °C
- Vakuumpumpe
- Klude til aftørring af prøvelegeme
- Varmeskab til forconditionering af prøvelegeme

##### 4.1.2. Fremgangsmåde

Først foretages en kontrolvejning vha. et kontrollod, og den målte masse noteres. Prøvelegemerne skal i udgangssituationen være udtørret i en ovn ved 105 °C. Pga. tidsnød er dette gjort i forvejen, og den målte masse udleveres af vejlederen og noteres i skema 1, bilag 1. Det udtørrede prøvelegeme evakueres tørt i ekssikkator i mindst 3 timer. Pga. tidsnød befinder prøverne sig allerede i ekssikkator, hvor de har været evakueret i ovennævnte tidsrum.

Hanen på ekssikkatoren lukkes, og pumpen tages af. Herefter sættes en slange på hanen, hvor den anden ende af slangen er neddykket i en spand med destilleret vand. Når hanen åbnes vil undertrykket i ekssikkatoren suge vandet ind i ekssikkatoren. Temperaturen af vandet samt af rumluften måles og noteres. Når vandet når ca. 50 mm op over det øverste prøvelegeme lukkes hanen på ekssikkatoren og vandslangen tages af. Der pumpes ned til vands damptryk.

Prøvelegemerne med vand henstår i 15 min. med undertryk i ekssikkatoren. Hanen på ekssikkatoren åbnes, og der ledes luft ind i ekssikkatoren. Prøverne henstår i vandet ved atmosfæretryk i 15 min. De vakuumvandtættede prøver vejes ( $m_w$ ) under vandet, og værdien noteres. Hvorledes der vejes under vand vises af vejlederen. Prøvelegemerne aftørres med en hårdt opvredet klud, og vejes ( $m_v$ ) i luft. Til sidst foretages en kontrolvejning med kontrollod på vægten. Alle omtalte værdier noteres i skema 1, se bilag 1.

#### 4.2. Kappillarsugning i mursten

##### 4.2.1. Apparatur og materialer

- 1 halv mursten
- Ekssikkator med silicagel til opbevaring af prøvelegeme under afkøling.
- Vægt med nøjagtighed på 0,1 %
- Kontrollod
- Fotobakke med afstandsholdere
- Destilleret vand
- Termometer med inddeling på 0,1 °C
- Stopur
- Klude til aftørring af prøvelegeme

##### 4.2.2. Fremgangsmåde

Principielt set skal prøvelegemet være i ligevægt med det klima, hvor det skal bruges. Til sammenligningsgrundlag bør en standardiseret udgangssituation dog benyttes. Den standardiserede udgangssituation opnås i denne øvelse ved at prøvelegemet forconditioneres i en ovn ved 105 °C i mindst to døgn.

Ekssikkatoren er en lufttæt plast- eller glasbeholder. Silicagelen er et tørremiddel som sørger for, at der ikke er fugt i luften inde i ekssikkatoren. Der benyttes kontrollod til sikring af at vægten vejer korrekt både før og efter forsøget. Prøvelegemet vejes i modtagelsessituationen ( $m_0$ ), mens dets sugeflade og højdes opmåles.

Fotobakken fyldes med destilleret vand indtil vandet når ca. 5 mm op over afstandsholderne. Herefter anbringes prøvelegemets sugeflade på afstandsholderne, således at vandet går op på siden af materialet. Stopuret startes i det øjeblik der er kontakt med vandet.

Temperaturen i lokalet måles ( $T_{rum}$ ) og noteres, mens temperaturen af vandet i fotobakken skal være  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , hvilket måles ( $T_{vand}$ ). Ved forsøg over længere tid bør fotobakken overdækkes for at udgå fordampning. Med passende tidsintervaller regnet fra starttidspunktet tages prøvelegemet op, aftørres med en hårdt opvredet klud og vejes ( $m_i$ ). Stopuret stoppes når prøvelegemet ikke er i kontakt med vandet i fotobakken. Der foretages målinger efter 1, 2, 4, 8, 16, 32, 60, 120, evt. 240 minutter fra starttidspunktet. Til sidst kontrolles vægten ved en kontrolvejning og værdien noteres.

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



## 5. Rapportering

På artikelform (altså ikke en teknisk rapport!) sammenfattes fremgangsmåde, forsøgsresultater, diskussion og konklusion i et omfang af **max. 4 sider**. Dersom sideantallet overskrides, trækker det ned i bedømmelsen!

Da modtageren regnes bekendt med teorien, opstilles kun de vigtigste formler anvendt i beregningen af forsøgsresultater, og der refereres til øvelsesvejledningen. Fremgangsmåden ved forsøgene beskrives særdeles kortfattet (se det udleverede eksempel på artikel), og de vigtigste forsøgsresultater trækkes frem!

### Hvad skal artiklen indeholde af resultater?

#### Porøsitet og densitet

- Søjlediagram over porøsiteter for samtlige grupperes materialeprøver. Angiv materialet ud for hver enkelt søjle.
- Søjlediagram indeholdende tørdensitet og densitet i s.s.d.-tilstand for samtlige grupperes materialeprøver. Inddel diagrammet således at de to densiteter for hver materialeprøve sammenstilles.

#### Kapillarsugning

- Tabel over  $Q_{kap}$  og  $t_{kap}$  for alle grupperes resultater. Anfør endvidere porøsiteten for hver enkelt prøvelegeme.
- Tabel over kapillaritetstal og modstandstal for alle grupperes resultater.
- Er der sammenhæng mellem målte porøsiteter og tilhørende kapillaritetstal?

Alle disse resultater diskuteres i videst muligt omfang inden for det anførte maksimale sideantal.

## 6. Litteratur

- [1] Gottfredsen, F.R.; Nielsen, A.: Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber. Polyteknisk Forlag, 1997.

## Bilag 1: Skema 1 – Porøsitet og densitet

Materiale					
<b>Målinger</b>					
Temperatur	$T_{rum} =$	°C	$T_{vand} =$	°C	$\rho_w =$ 998 kg/m <sup>3</sup>
Kontrollod	$m_{før} =$	g	$m_{efter} =$	g	
Prøvelegeme Masse	$m_o =$	kg	$m_u =$	kg	$m_{ev} =$ kg
<b>Beregninger</b>					
Volumen og densitet	$V =$	m <sup>3</sup>	$V_d =$	m <sup>3</sup>	$\rho_d =$
	$\rho_d =$	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{std} =$	kg/m <sup>3</sup>	
Bemærkninger					
Gruppenr. Dato					

## Bilag 2: Skema 2 – Kapillarsugning I

<b>Materiale</b>					
Temperatur	$T_{rum} =$	°C	$T_{vand} =$	°C	$\rho_w =$ 998 kg/m <sup>3</sup>
<b>Målinger</b>					
Prøvelegeme Dimensioner	$h =$	m	$A =$	m <sup>2</sup>	
Masse	$m_0 =$	kg	$m_{stat} =$	kg	
<b>Beregninger</b>					
Opsugnings- parametre	$Q_{kap} =$	kg/m <sup>2</sup>	$t_{kap} =$	s <sup>1/2</sup>	$k =$ kg/(m <sup>2</sup> ·s <sup>1/2</sup> )
	$M =$	s/m <sup>2</sup>	$p_d =$		
Bemærkninger					
Gruppenr. Dato					

**Bilag 3: Skema 3 – Kapillarsugning II**

Materiale							
Temperatur		$T_{rum} =$	$^{\circ}\text{C}$	$T_{vand} =$	$^{\circ}\text{C}$	$\rho_w =$	998 kg/m <sup>3</sup>
Kontrollod		$m_{før} =$	g	$m_{efter} =$	g		
Prøvelegeme							
$t$ [min]	$t^{1/2}$ [s <sup>1/2</sup> ]	$m_t$ [kg]	$Q$ [kg/m <sup>2</sup> ]	$t$ [min]	$t^{1/2}$ [s <sup>1/2</sup> ]	$m_t$ [kg]	$Q$ [kg/m <sup>2</sup> ]
0				0			
1				1			
2				2			
4				4			
8				8			
16				16			
32				32			
60				60			
120				120			
240				240			
Bemærkninger: Dette Skema 3 kan anvendes til to prøvelegemer.							
						Gruppenr.	
						Dato	

## 1.9 Blandeprocedure

### **Blande Procedure**

- Aske + cement i blandeskålen
  - Tilsæt vand:           Tid = zero  
                                  Lav speed  
                                  Mix i 30 sec
  - Tilsæt sand over 30 sec
  - Sæt på High Speed – mix i 30 sec
  - Stop i 90 sec
  - Tag det fra kanten ned med skraber de første 30 sec
  - Mix i 60 sec ved high speed
  - Vibratorbordet
- 

### **Vibratorbordet:**

- Fyld formen halvt op
  - Start vibratorbordet – speed 45
  - Tæl til 30 – stop
  - Fyld resten i formen
  - Start vibratorbordet – speed 45
  - Tæl til 30, mens det overskydende cement skrubes af
  - Dæk prøven af under plastik
  - Læg en tilhørseddél på
-

## 2 Data

### 2.1 Glødetab og vandopløselighed

<b>Glødetab</b>						
Gruppe	ID	Prøve nr.	Vægt digle [g]	Før ovn+digle [g]	efter ovn+digle [g]	Glødetab [%]
B	21	1	10,7442	13,2017	13,132	2,84
B	12	2	12,2651	14,7034	14,6325	2,91
B	23	3	10,0601	12,5566	12,4859	2,83
					Middel	2,86
					Varians	0,001814
					Spredning	0,042588

<b>Vandopløselighed</b>					
		M_før	M_filter	M_efter	Vandopløselighed %
	[g]	100	10,53	82,39	28,14

## 2.2 pH, ledningsevne og vandindhold

PH og ledningsevne			
Prøve nr.	Vægt [g]	PH-målt	Ledningsevne målt [ms/cm]
1	5,0	13,13	98,7
2	5,0	13,14	85,2
3	5,0	13,14	90,8
	Middel	13,14	91,57
	Varians	0,000	46,003
	Standardafvigelse	0,006	6,783

Vandindhold				
Prøve nr.	Vægt			Vandindhold [%]
	glas [g]	glas+våd prøve [g]	Glas + tørre prøve [g]	
1	19,63	27,05	26,99	0,809
2	19,53	27,25	27,2	0,648
3	22,52	30,49	30,44	0,627
4	19,08	27,33	27,26	0,848
			Middel	0,733
			Varians	0,012
			Standardafvigelse	0,112

## 2.3 Kappillarsugning

### Kappillarsugning - Første fase (ubehandlet aske)

Temp. i rum: 22 grader				Temp. vand: 22 grader			
5 % Cement - 7-døgn				10 % Cement - 7-døgn			
	Bredde [mm]	Længde[mm]	Højde [mm]		Bredde [mm]	Længde[mm]	Højde [mm]
	40,06	160,1	39,86		40,46	157	39,96
t [min]	$\sqrt{t}$ [Vs]	mt [g]	Q [kg/m <sup>2</sup> ]	t [min]	$\sqrt{t}$ [Vs]	mt [g]	Q [kg/m <sup>2</sup> ]
0	0,00	528,25	0,000	0	0,00	528,15	0,000
1	7,75	529,18	0,145	1	7,75	530,35	0,346
3,2	13,86	530,27	0,315	2	10,95	531,05	0,457
4	15,49	530,53	0,355	4	15,49	531,93	0,595
6	18,97	531,23	0,465	6	18,97	532,64	0,707
8	21,91	531,67	0,533	8	21,91	533,15	0,787
16	30,98	533,36	0,797	16	30,98	534,73	1,036
30	42,43	535,51	1,132	30	42,43	536,82	1,365
60	60,00	538,55	1,606	60	60,00	539,60	1,803
120	84,85	542,49	2,220	120	84,85	543,46	2,410
180	103,92	545,41	2,676	180	103,92	546,30	2,857
240	120,00	545,41	2,676	240	120,00	548,48	3,200
360	146,97	547,62	3,020	360	146,97	552,51	3,835
1440	293,94	551,25	3,586	1440	293,94	566,11	5,976

10 % Sand - 7-døgn			
	Bredde [mm]	Længde [mm]	Højde [mm]
	40,35	160,1	39,94
t [min]	$\sqrt{t}$ [Vs]	mt [g]	Q [kg/m <sup>2</sup> ]
0	0,00	511,30	0,000
1	7,75	513,75	0,379
2	10,95	514,65	0,519
4	15,49	515,86	0,706
6	18,97	516,73	0,841
8	21,91	517,47	0,955
16	30,98	519,64	1,291
30	42,43	522,16	1,681
60	60,00	525,75	2,237
120	84,85	530,34	2,947
180	103,92	533,45	3,429
240	120,00	535,76	3,786
360	146,97	539,65	4,389
1440	293,94	553,60	6,548



## 2.4 Porøsitet og densitet

### Porøsitet og densitet - Første fase (ubehandlet aske)

	Tørre	Under vand	Over vand
5 % C	[kg]	[kg]	[kg]
Prøve nr.			
B	0,52796	0,32165	0,57508
C	0,53116	0,32288	0,57682
Middel	0,529560	0,322265	0,575950

10 % C	Tørre	Under vand	Over vand
Prøve nr.	[kg]	[kg]	[kg]
B	0,53341	0,32541	0,5827
C	0,52869	0,32255	0,57752
Middel	0,53105	0,32398	0,58011

10 % Sand	Tørre	Under vand	Over vand
Prøve nr.	[kg]	[kg]	[kg]
B	0,50713	0,30995	0,56867
C	0,51304	0,31373	0,56999
Middel	0,510085	0,31184	0,56933

## 2.5 Oplukning (tungmetaller)

### Oplukning (tungmetaller) - Første fase (ubehandlet aske)

diverse asker      Dato: 04-11-14

prøve	mg/l Al	mg/L As	mg/l Ca	mg/l Cd	mg/l Cr	mg/l Cu	mg/l Fe
Gr A opl flask 32	176,8050	0,1266	581,5860	0,0480	0,3140	0,7709	175,8660
Gr A opl flask 33	171,8040	0,1408	540,1590	0,0467	0,3039	0,7469	166,9830
Gr A opl flask 34	179,1050	0,1261	567,2130	0,0490	0,3197	0,7732	159,2860
Gr B opl flas 7	132,0980	0,0538	916,6550	0,0409	0,2731	3,7867	557,8040
Gr B opl flas 8	88,0408	0,0398	767,8940	0,0355	0,2325	3,1550	513,7710
Gr B opl flas 9	134,1160	0,0512	880,2350	0,0414	0,2682	3,7665	561,4820
Gr. C opl flas 4	49,7362	0,0597	1223,3400	0,0398	0,2230	0,8140	131,5300
Gr. C opl flas 5	52,0137	0,0459	1716,8500	0,0419	0,2273	0,8449	128,2400
Gr. C opl flas 6	49,9434	0,0540	1716,7300	0,0405	0,2209	0,8169	125,5960
Gr- F opl flas 1	44,6321	0,0909	1008,8500	0,0510	0,5494	0,5976	50,3171
Gr- F opl flas 2	42,0883	0,0815	1124,5900	0,0484	0,5084	0,5791	48,0412
Gr- F opl flas 3	45,8816	0,1092	1238,0300	0,0521	0,5477	0,6062	52,5290

prøve	mg/l P	mg/l Pb	mg/l Zn
Gr A opl flask 32	65,2524	0,5248	4,0836
Gr A opl flask 33	63,1490	0,5084	3,8636
Gr A opl flask 34	66,6731	0,5247	3,9879
Gr B opl flas 7	557,1920	0,9769	17,1851
Gr B opl flas 8	488,4040	0,8376	15,1692
Gr B opl flas 9	592,0750	0,9885	17,9339
Gr. C opl flas 4	47,8550	0,5089	4,0183
Gr. C opl flas 5	45,9509	0,5082	4,2316
Gr. C opl flas 6	44,9118	0,4942	3,9887
Gr- F opl flas 1	129,5710	0,3349	6,7554
Gr- F opl flas 2	101,3560	0,2984	6,7229
Gr- F opl flas 3	108,8670	0,3200	7,2808

prøve	mg/l K	mg/l Mg	mg/l Mn	mg/l Na	mg/l Ni
Gr A opl flask 32	649,4950	139,0670	13,6407	10,8173	0,5913
Gr A opl flask 33	589,0290	133,5040	13,2303	10,4420	0,5637
Gr A opl flask 34	612,0520	142,0330	14,0695	10,7247	0,6065
Gr B opl flas 7	35,4541	138,3840	6,0853	16,4066	0,4182
Gr B opl flas 8	29,2266	94,9332	5,0127	13,3621	0,3674
Gr B opl flas 9	34,6296	137,1400	6,0199	15,7800	0,4190
Gr. C opl flas 4	399,1980	204,6150	93,8783	126,0390	0,3256
Gr. C opl flas 5	437,4460	207,6130	98,4430	154,1680	0,3550
Gr. C opl flas 6	426,3560	200,2040	96,8455	130,4300	0,3345
Gr- F opl flas 1	1080,5800	200,5410	30,7336	29,6516	0,1396
Gr- F opl flas 2	1153,7800	192,1690	29,1449	28,0931	0,1242
Gr- F opl flas 3	1114,0700	185,7200	27,4253	30,0473	0,1387

## 2.6 Vandopløselige anioner

<b>Vandopløselige anioner - første fase (ubehandlet aske)</b>			
<b>Diverse asker</b>			
	<b>mg/l Cl</b>	<b>mg/l NO3</b>	<b>mg/l SO4</b>
Gruppe A Anioner A	6061,74	62,63	11428,06
Gruppe A Anioner B	7729,59	55,61	10437,12
Gruppe A Anioner C	5912,64	56,30	10942,36
Gruppe B F1	11836,41	32,41	10747,91
Gruppe B F2	12157,49	32,08	11141,32
Gruppe B F3	11818,52	31,98	10933,57
Gruppe C Prøve A	689,96	281,24	11335,54
Gruppe C Prøve B	662,18	274,23	11004,24
Gruppe C Prøve C	836,95	365,53	12170,76

<b>Vandopløselige anioner - efter vask</b>			
<b>Prøve</b>	<b>mg/L Cl</b>	<b>mg/l NO3</b>	<b>mg/L SO4</b>
Saboor Anion A	55,9277	5,7914	512,9093
Saboor Anion B	56,2845	5,5765	490,1430
Saboor Anion C	52,9457	5,7321	484,4811
Esben Anion A	6077,1994	54,1896	12995,7600
Esben Anion B	6192,5430	60,4528	13136,0853
Esben Anion C	6088,5195	68,4073	13023,5883

## 2.7 Vandopløselige kationer

Vandopløselige kationer - første fase (ubehandlet aske)				
Diverse asker				
prøve	mg/l Ca	mg/l K	mg/l Mg	mg/l Na
Gr A vandopl anioner A	479,0360	12044,5000	0,0000	2666,1400
Gr A vandopl anioner B	421,0000	7908,5000	0,0000	2196,1700
Gr A vandopl anioner C	4,5082	12382,1000	0,0000	2652,4900
Gr B vandopl anioner A	742,7670	20143,4000	0,0153	373,8040
Gr B vandopl anioner B	472,2660	22470,0000	0,0219	290,3420
Gr B vandopl anioner C	520,7970	22515,9000	0,0194	312,8530
Gr C vandopl anioner A	9,2743	7826,3500	0,0210	60,6030
Gr C vandopl anioner B	11,9740	10294,9000	0,0276	64,1235
Gr C vandopl anioner C	10,9037	8047,0600	0,0244	145,8650

Afviger for meget til at kunne bruges

## 2.8 Afbindingstid

### Afbindingsforsøg - Vicatronic

\$TEST NUMBER :								
\$KIND OF TEST : EN196-3:2005								
\$CYCLE TYPE : STANDARD								
\$POINTS MOVE [mm]								
\$ 30	4,00							
\$ 24	5,25							
\$ 18	5,25							
\$ 12	5,25							
\$ 2	5,25							
\$OPERATOR CODE :								
\$CUSTOMER CODE :								
\$DATE OF TEST :								
\$SPECIMEN TIME :								
\$START DELAY[m]:	---							
\$1ST PEN TIME :								
\$SPECIMEN TYPE :								
\$WATER CONT, [%]:	20							
\$TEMPERATUR[ °C]:	25							
\$HUMIDITY[%] :	60							
\$FALL TYPE :	FREE							
\$TIME TYPE :	FIXED							
\$FINAL SETTING :	NO							
\$TIME [m] :	10							
		Reference	5 % ALM	5 % KA	5 % VA	10 % ALM	10 % KA	10 % VA
ID	l [m,s]	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN	PEN
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
# 1	1,00	0,2	0	0,00	0	0	0,1	0
# 2	11,00	0,2	0,2	0,00	0	0	0,1	0
# 3	21,00	0,2	0	0,00	0	0	0,1	0
# 4	31,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
# 5	41,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
# 6	51,00	0,1	0	0,00	0	0	0	0
# 7	61,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
# 8	71,00	0,1	0,2	0,00	0	0	0,1	0
# 9	81,00	0,1	0,2	0,00	0	0	0,1	0
#10	91,00	0,1	0,2	0,00	0	0	0,1	0
#11	101,00	0	0,2	0,00	0	0	0,1	0

#12	111,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#13	121,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#14	131,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#15	141,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#16	151,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#17	161,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#18	171,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#19	181,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#20	191,00	0,2	0	0,00	0	0,1	0,1	0
#21	201,00	0,1	0	0,00	0	0	0	0
#22	211,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#23	221,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#24	231,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#25	241,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#26	251,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#27	261,00	0,2	0	0,00	0	0,1	0,1	0
#28	271,00	0,1	0,2	0,00	0	0	0,1	0
#29	281,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#30	291,00	0	0	0,00	0	0	0,1	0
#31	301,00	0,1	0	0,00	0	0	0,1	0
#32	311,00	0,2	0	0,00	0	0	0,1	0
#33	321,00	0,1	0	0,00	1	0	0,1	0
#34	331,00	0	0	0,00	3,4	0	0,1	0
#35	341,00	0	0	0,00	7,6	0	0,1	0
#36	351,00	0,1	0	0,00	12,1	0	0,1	0
#37	361,00	0,2	0	0,00	17,4	0	0,1	0
#38	371,00	0	0	0,00	20,1	0	0,1	0
#39	381,00	7,3	0	0,00	19,5	0	0,1	0
#40	391,00	13,2	0,2	0,00	22,2	0	0,1	0
#41	401,00	16,4	0	0,10	24,6	0	0,1	0
#42	411,00	22,5	3	0,00	27,9	0	0	1,2
#43	421,00	23,5	14,6	0,00	28,8	0	0,1	8,5
#44	431,00	25,6	19,1	0,00	29,2	0	0,1	13,5
#45	441,00	28,7	22,3	0,10	30,2	0	0,1	16,9
#46	451,00	30,5	25,3	0,00	30	0	0,1	21,4
#47	461,00	31,1	27,3	0,00	30	0	0	20,7
#48	471,00	32,8	27,5	0,10	30,6	0	0,1	18
#49	481,00	32	28,7	0,00	31,4	0	0,1	22,3
#50	491,00	34,3	30,1	0,00	31,7	0	0,1	24,8
#51	501,00	34,5	30,5	0,00	32,3	6,7	0,1	28,8
#52	511,00	35,8	31,3	0,00	33,3	12,6	0,1	30,7

#53	521,00	35,5	31,8	5,30	33,5	9,9	0	30,4
#54	531,00	36,3	33,2	1,70	33,9	17,8	0	32,4
#55	541,00	36	32,9	21,40	33,9	17,6	0,1	31,7
#56	551,00	35,9	32,1	25,40	33,7	20,5	0,1	32,1
#57	561,00	36	32,9	24,20	33,7	22,7	0,1	32,2
#58	571,00	36,2	32,9	25,60	34	22,9	13,5	32,4
#59	581,00	34,5	33,1	26,60	33,8	27,4	19,6	30,1
#60	591,00	34,7	33,6	30,70	34,2	27,5	21,2	30,7
#61	601,00	37,4	34,1	31,50	34	30,3	23,4	34,4
#62	611,00	37,3	34,7	33,60	34,5	30,6	23,1	34,5
#63	621,00	37,6	34,9	29,60	35	30,2	28,6	35
#64	631,00	37,4	34,6	35,70	34,7	30,2	29,2	34,7
#65	641,00	37,4	34,3	33,80	34,4	31,1	29,4	34,9
#66	651,00	37	34,7	32,40	34	31,3	32,3	34,5
#67	661,00	35,4	34,6	34,40	34,9	31,5	31,9	30,6
#68	671,00	37,7	34,4	35,80	34,5	32,6	33,3	30,3
#69	681,00	34,6	35,3	37,10	34,7	33,1	33,6	35,8
#70	691,00	34,9	35,7	37,50	35,1	33,6	33,3	35,8
#71	701,00	38,8	35,9	35,80	35,4	33,9	33,3	36,3
#72	711,00	38,3	35,9	35,10	35,4	33,4	33,6	36,2
#73	721,00	38,5	35,5	38,10	35,3	33,6	34,4	36,1
#74	731,00	38	35,5	34,40	35,3	33,2	34,5	35,8
#75	741,00	37,2	35,3	37,50	34,7	33,5	34,9	36,3
#76	751,00	36,4	36	38,10	35	34,1	34,5	36,4
#77	761,00	36,6	36,4	38,60	35,4	34,2	34,3	36,4
#78	771,00	38,8	36,5	36,80	35,7	34,7	35,1	36,5
#79	781,00	38,6	35,7	39,00	35,2	33,9	36	36,1
#80	791,00	37,1	35,3	38,00	35,1	34,3	35,4	36,1
#81	801,00	38	36	38,10	34,7	34,7	35,6	36,8
#82	811,00	38,8	36,2	38,70	35,2	34,8	35,2	36,8
#83	821,00	38,6	36,2	39,20	35,7	35,9	35,1	37,1
#84	831,00	39,1	36,5	38,40	35,7	34,7	35,9	36,9
#85	841,00	38,4	36,1	38,50	35,4	34,6	35,6	36,5
#86	851,00	38,6	36,5	37,90	35,5	34,9	35,6	36,9



## 2.9 Trykstyrker

### 2.9.1 Tryktest – referencer

7-døgns referenceprøver

Støbt d. 07.10.14		Vægt		Dimension			Bøjetrækspænding			1,5 <sup>1+1</sup> /b <sup>1+1</sup> h <sup>2</sup>			f/b <sup>1+1</sup> b	
Blok nr.		[g]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	Last 1 [x 0.1 kN]	Last 2 [x 0.1 kN]	Bøjetrækspænding [Mpa]	Trykspænding 1 [Mpa]	Trykspænding 2 [Mpa]		
1	Over vand	5,76	318	97,5	40	41	349	823	799	7,59	50,18	48,72		
2	5,73	317	97,5	40,5	40		318	810	832	7,18	50,00	51,36		
3	5,76	318	97,5	40	41		367	798	799	7,98	48,66	48,72		
										Middelværdi	7,58	49,61		
										Varians	1,205415642			
										Spredning	1,097914224			

14-døgns referenceprøve - udført af Esben Østergaard

Id	Højde [mm]	Højde / snit [mm]	Bredde [mm]	Bredde / snit [mm]	Længde [mm]	Længde / snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke snit [Mpa]	Modenhed
Ref-14-A	40,25		40,5		160,00						892	55,2			
	40,1		40,45		160,00						868	53,8			
	40,2	40,183	40,15	40,367	160,00	160,000	354	8,1096626							
Ref-14-B	40,1		40,8		160,00						894	55,3			
	39,95		40,35		160,00						907	56,1			
	40	40,017	40,05	40,400	160,00	160,000	298	6,8439036							
Ref-14-C	40,95		40,1		160,00						883	55,1			
	40,35		40,1		159,80						896	55,9			
	40,4	40,567	40	40,067	160,00	159,933	320	7,3706449	7,4414037				55,242	15	

#### 28-døgns referencer

##### Resultater fra tidligere projekter

[Lyngholm, 2012]

Trykstyrke 1 [Mpa]	Trykstyrke 2 [Mpa]
62,20	61,71
61,10	62,59
63,18	53,23

[Carlsen og Petersen, 2013]

Trykstyrke 1 [Mpa]	Trykstyrke 2 [Mpa]
62,50	62,00
61,50	63,00
63,50	53,50

Middelværdi	
60,83	
+10 % af Middelværdi	-10% af Middelværdi
66,92	54,75
<b>Ny Middelværdi</b>	<b>62,33</b>
<b>Varians</b>	<b>0,59</b>
<b>Spredning</b>	<b>0,77</b>

## 2.9.2 Trykstyrke i første fase (ubehandlet aske)

7-døgns prøver Aske fra depot				Dimensionen 97,5 er afstanden mellem undersøgtninger for træprøve					
							$1,5 \cdot F^*/l/b \cdot h^2$	$F/b \cdot b$	
5 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Tryk Last 1	Tryk last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
A	97,5	40	40,7	324	787	768	7,40	48,34	47,17
B	97,5	40,3	40	326	714	724	7,45	44,29	44,91
C	97,5	40,2	40,3	321	772	785	7,34	47,65	48,45
						<b>Middel</b>	<b>7,40</b>	<b>46,80</b>	
								=+10 % af Middel	-.10% af Middel
								51,48540419	42,12442161
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>46,80</b>
								<b>Varians</b>	<b>3,17</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,78</b>
10 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Tryk Last 1	Tryk last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
4	97,5	40	40,5	312	691	698	7,13	42,65	43,09
5	97,5	40,5	40,1	280	731	727	6,40	45,01	44,76
9	97,5	40,4	40	285	741	410	6,51	45,85	25,37
						<b>Middel</b>	<b>6,68</b>	<b>44,40</b>	
								=+10 % af Middel	-.10% af Middel
								48,837	39,957
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>44,40</b>
								<b>Varians</b>	<b>1,83</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,35</b>
10 % sand									
4	97,5	40,40	40,9	271	546	564	6,19	33,04	34,13
5	97,5	40,1	40,8	283	593	564	6,47	36,25	34,47
6	97,5	40,1	40	282	559	560	6,44	34,85	34,91
						<b>Middel</b>	<b>6,37</b>	<b>34,61</b>	
								=+10 % af Middel	-.10% af Middel
								38,07055081	31,14863248
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>34,61</b>
								<b>Varians</b>	<b>1,10</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,05</b>

14-døgns prøver - aske fra depot									
							$1,5 \cdot F \cdot l / b \cdot h^2$	$F / b \cdot b$	
5 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
A	97,5	40	40	352	684	879	8,04	42,75	54,94
B	97,5	40	40,2	336	877	861	7,60	54,54	53,54
C	97,5	40,4	41	300	857	917	6,46	51,74	55,36
						<b>Middel</b>	<b>7,37</b>	<b>52,49</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								57,736	47,239
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>54,02</b>
								Varians	2,09
								Spredning	1,44
10 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
4	97,5	40	41	298	805	799	6,48	49,09	48,72
5	97,5	40	40,5	318	810	832	7,09	50,00	51,36
9	97,5	40	41	367	798	799	7,98	48,66	48,72
						<b>Middel</b>	<b>7,18</b>	<b>49,42</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								54,366	44,481
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>49,42</b>
								Varians	1,29
								Spredning	1,14
10 % sand									
4	97,5	40	42	273	642	637	5,66	38,21	37,92
5	97,5	40,3	41,1	291	457	646	6,25	27,59	39,00
6	97,5	40	41,5	298	619	642	6,33	37,29	38,67
						<b>Middel</b>	<b>6,08</b>	<b>36,45</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								40,093	32,803
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>38,22</b>
								Varians	0,44
								Spredning	0,67

28-døgns prøver aske fra depot							$1,5 \cdot F \cdot l / b \cdot h^2$	$F / b \cdot b$	
5 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,4	40,5	327	944	1038	7,22	57,69	63,44
2	97,5	40,1	40,7	341	957	854	7,51	58,64	52,33
3	97,5	40,2	40,25	325	922	951	7,30	56,98	58,77
						<b>Middel</b>	<b>7,34</b>	<b>57,98</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								63,77	52,18
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>57,98</b>
								<b>Varians</b>	<b>12,78</b>
								<b>Spredning</b>	<b>3,58</b>
10 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,2	40,2	311	868	866	7,00	53,71	53,59
2	97,5	40,2	40,9	312	847	850	6,79	51,52	51,70
3	97,5	40,2	40,6	349	895	839	7,70	54,84	51,41
						<b>Middel</b>	<b>7,16</b>	<b>52,79</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								58,07	47,51
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>52,79</b>
								<b>Varians</b>	<b>2,08</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,44</b>
10 % sand	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,1	40,8	240	731	675	5,26	44,68	41,26
2	97,5	40,1	40,5	298	731	676	6,63	45,01	41,62
3	97,5	40,3	40,4	229	684	731	5,09	42,01	44,90
						<b>Middel</b>	<b>5,66</b>	<b>43,25</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								47,57	38,92
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>43,25</b>
								<b>Varians</b>	<b>3,20</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,79</b>

## 2.9.3 Trykstyrke i det videre forløb (knust samt vasket+knust aske)

7-døgns	Knust Aske (KA)						$1,5 \cdot F \cdot l / b \cdot h^2$	$F / b \cdot b$	
5 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40	40,1	340	866	845	7,73	53,99	52,68
2	97,5	40	40,1	367	852	867	8,34	53,12	54,05
3	97,5	40,0	39,8	358	841	807	8,26	52,83	50,69
						<b>Middel</b>	<b>8,11</b>	<b>52,93</b>	
								=+10 % af Middel	58,22
									47,63
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>52,93</b>
								<b>Varians</b>	<b>1,50</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,22</b>
10 % cement									
1	97,5	40,4	40,6	341	772	792	7,49	47,07	48,29
2	97,5	40	39,8	343	754	734	7,92	47,36	46,11
3	97,5	40,1	40,3	358	810	808	8,04	50,12	50,00
						<b>Middel</b>	<b>7,82</b>	<b>48,16</b>	
								=+10 % af Middel	52,97
									43,34
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>48,16</b>
								<b>Varians</b>	<b>2,66</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,63</b>
15 % cement									
1	97,5	40,50	40,2	267	664	685	5,97	40,78	42,07
2	97,5	40	40,8	307	374	598	6,74	22,92	36,64
3	97,5	40,4	40,2	276	660	673	6,18	40,64	41,44
						<b>Middel</b>	<b>6,30</b>	<b>37,42</b>	
								=+10 % af Middel	41,16
									33,67
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>39,88</b>
								<b>Varians</b>	<b>4,77</b>
								<b>Spredning</b>	<b>2,18</b>

14-døgn	Knust Aske (KA)						$1,5 \cdot F \cdot l / b \cdot h^2$	$F / b \cdot b$	
5 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,3	40,1	338	694	857	7,72	42,94	53,03
2	97,5	40,2	40,3	316	921	903	7,22	56,85	55,74
3	97,5	40,0	41	302	863	937	6,90	52,62	57,13
						<b>Middel</b>	<b>7,28</b>	<b>53,60</b>	
								=+10 % af Middel	.-10% af Middel
								58,96	48,24
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>55,08</b>
								<b>Varians</b>	<b>4,51</b>
								<b>Spredning</b>	<b>2,12</b>
10 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	39,5	40,1	343	812	828	7,84	51,26	52,27
2	97,5	40,1	40,4	369	863	847	8,43	53,27	52,28
3	97,5	39,7	40,2	313	899	901	7,15	56,33	56,46
						<b>Middel</b>	<b>7,81</b>	<b>53,65</b>	
								=+10 % af Middel	.-10% af Middel
								59,01	48,28
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>53,65</b>
								<b>Varians</b>	<b>4,93</b>
								<b>Spredning</b>	<b>2,22</b>
15 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,00	40,2	-	747	722	-	46,46	44,90
2	97,5	40	40,4	305	734	767	6,97	45,42	47,46
3	97,5	40,8	40,1	349	758	750	7,98	46,33	45,84
						<b>Middel</b>	<b>7,47</b>	<b>46,07</b>	
								=+10 % af Middel	.-10% af Middel
								50,68	41,46
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>46,07</b>
								<b>Varians</b>	<b>0,80</b>
								<b>Spredning</b>	<b>0,89</b>

7-døgns									
5 % cement	Vasket + Knust Aske (VA)								
	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40	40,2	345	803	808	7,81	49,94	50,25
2	97,5	40,1	40,3	343	794	832	7,70	49,13	51,48
3	97,5	40,0	40,5	345	859	817	7,69	53,02	50,43
<b>Middel</b>							<b>7,73</b>	<b>50,48</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								55,53	45,44
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>50,48</b>
								<b>Varians</b>	<b>1,87</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,37</b>
10 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,2	40,5	336	750	754	7,45	46,07	46,31
2	97,5	40,3	40,3	325	740	571	7,26	45,56	35,16
3	97,5	40,4	40,2	336	731	678	7,53	45,01	41,75
<b>Middel</b>							<b>7,41</b>	<b>43,31</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								47,64	38,98
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>44,94</b>
								<b>Varians</b>	<b>3,44</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,85</b>
15 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,1	40,1	340	703	698	7,71	43,72	43,41
2	97,5	40	40,7	324	618	613	7,15	37,96	37,65
3	97,5	40	40	327	669	606	7,47	41,81	37,88
<b>Middel</b>							<b>7,45</b>	<b>40,40</b>	
								=+10 % af Middel	-10% af Middel
								44,45	36,36
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>40,40</b>
								<b>Varians</b>	<b>8,38</b>
								<b>Spredning</b>	<b>2,90</b>

14-døgn	Vasket + Knust Aske (VA)						$1,5 \cdot F \cdot l / b \cdot h^2$	$F / b \cdot b$	
5 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40	40,6	358	856	866	8,18	52,71	53,33
2	97,5	40,1	40	383	864	857	8,75	53,87	53,43
3	97,5	40,6	40,2	343	796	843	7,84	48,77	51,65
						<b>Middel</b>	<b>8,26</b>	<b>52,52</b>	
								=+10 % af Middel	..-10% af Middel
								57,77	47,26
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>52,52</b>
								<b>Varians</b>	<b>3,56</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,89</b>
10 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40	40,3	361	868	535	8,25	53,85	33,19
2	97,5	40,2	40,2	367	883	820	8,39	54,64	50,74
3	97,5	40,7	40,2	363	848	919	8,30	51,83	56,17
						<b>Middel</b>	<b>8,31</b>	<b>50,07</b>	
						<b>Reference</b>	<b>12,49</b>	=+10 % af Middel	..-10% af Middel
								55,08	45,06
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>52,76</b>
								<b>Varians</b>	<b>3,22</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,79</b>
15 % cement	Dimensioner			Bøjetrækslast	Last 1	Last 2	Bøjetrækspænding	Trykspænding 1	Trykspænding 2
Prøve nr.	[mm]	[mm]	[mm]	[x 0.01 kN]	[x 0.1 kN]	[x 0.1 kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
1	97,5	40,10	40,2	385	805	772	8,80	49,94	47,89
2	97,5	40	40	361	799	809	8,25	49,94	50,56
3	97,5	40	40,5	358	761	806	8,18	46,98	49,75
						<b>Middel</b>	<b>8,41</b>	<b>49,18</b>	
						<b>Reference</b>	<b>12,49</b>	=+10 % af Middel	..-10% af Middel
								54,09	44,26
								<b>Ny Middelværdi</b>	<b>49,18</b>
								<b>Varians</b>	<b>1,98</b>
								<b>Spredning</b>	<b>1,41</b>



## 2.10 Konstørrelsesfordeling (MasterSizer)

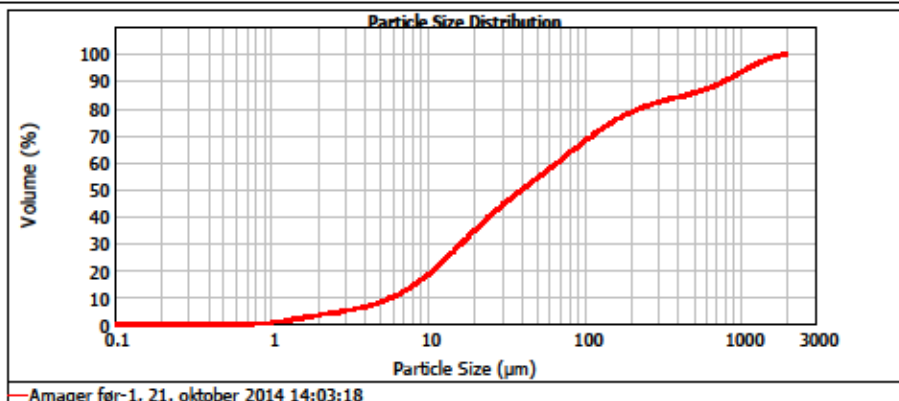
### 2.10.1 Resultater for tør prøve – ubehandlet aske



### Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Amager før-1	<b>SOP Name:</b> 141021 stud	<b>Measured:</b> 21. oktober 2014 14:03:18	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> F-user	<b>Analysed:</b> 21. oktober 2014 14:03:20	
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement		
<b>Particle Name:</b> aske	<b>Accessory Name:</b> Sirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 3.31 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.405 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0012 %Vol	<b>Span :</b> 19.193	<b>Uniformity:</b> 4.68	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.449 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 13.375 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 206.123 um	

d(0.1): 6.059 um                      d(0.5): 40.757 um                      d(0.9): 788.292 um



Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.36	7.006	1.80	50.238	2.25	355.656	0.72
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.42	7.962	2.05	56.388	2.24	390.052	0.74
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.46	8.994	2.28	63.246	2.26	447.744	0.81
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.48	10.024	2.40	70.965	2.27	502.377	0.92
0.032	0.00	0.224	0.00	1.580	0.47	11.247	2.40	79.621	2.27	563.677	1.02
0.036	0.00	0.252	0.00	1.763	0.48	12.619	2.45	89.337	2.26	632.456	1.07
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.48	14.159	2.77	100.237	2.25	709.627	1.22
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.48	15.887	2.84	112.468	2.16	796.214	1.37
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.48	17.825	2.86	126.191	2.05	893.367	1.40
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.40	20.000	2.82	141.580	1.99	1002.374	1.56
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.52	22.440	2.75	158.866	1.77	1124.683	1.57
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.58	25.179	2.64	178.250	1.60	1261.915	1.50
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.66	28.251	2.53	200.000	1.42	1415.802	1.36
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.78	31.638	2.42	224.404	1.24	1588.656	1.13
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.93	35.996	2.33	251.735	1.08	1782.502	0.79
0.112	0.00	0.796	0.13	5.637	1.11	39.905	2.27	282.508	0.94	2000.000	0.48
0.126	0.00	0.893	0.28	6.325	1.32	44.774	2.23	316.979	0.82		
0.142	0.00	1.002	0.28	7.006	1.56	50.238	2.22	355.656	0.75		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:** Amager før-2  
**SOP Name:** 141021 stud  
**Measured:** 21. oktober 2014 14:06:11  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** F-user  
**Analysed:** 21. oktober 2014 14:06:12  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

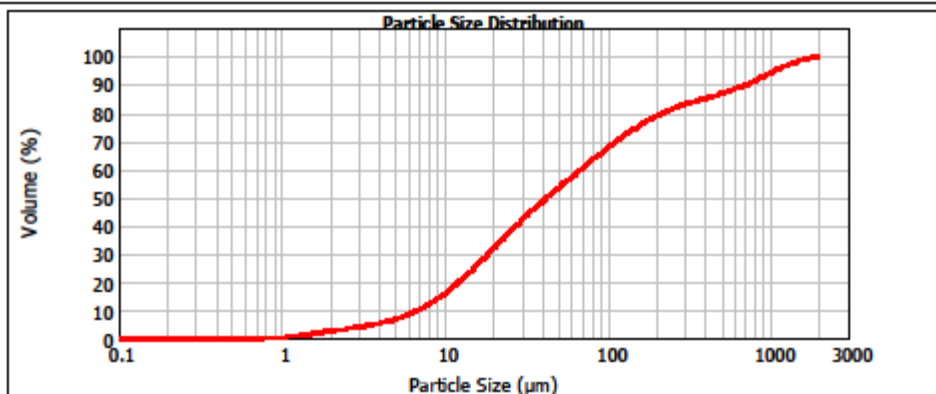
**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 2.24 %  
**Dispersant Name:** 1.000  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.339 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0009 %Vol  
**Span :** 16.282  
**Uniformity:** 4.14  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.404 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 14.866 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 193.430 um

**d(0.1):** 6.878 um

**d(0.5):** 42.588 um

**d(0.9):** 700.298 um



Amager før-2, 21. oktober 2014 14:06:11

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.29	7.006	1.98	50.238	2.39	355.656	0.83
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.33	7.962	1.82	56.368	2.38	390.052	0.83
0.025	0.00	0.175	0.00	1.262	0.37	8.994	2.05	63.246	2.37	447.744	0.87
0.028	0.00	0.200	0.00	1.415	0.39	10.024	2.30	70.963	2.36	502.377	0.95
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.40	11.247	2.50	79.621	2.33	563.677	1.05
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.41	12.619	2.68	89.337	2.29	632.456	1.15
0.040	0.00	0.280	0.00	2.000	0.42	14.150	2.82	100.227	2.21	709.627	1.27
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.42	15.867	2.82	112.468	2.11	795.214	1.35
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.44	17.825	2.95	126.191	1.99	893.367	1.39
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.47	20.000	2.95	141.589	1.84	1002.374	1.37
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.51	22.440	2.90	158.866	1.68	1124.683	1.30
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.59	25.179	2.82	178.250	1.52	1261.915	1.15
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.68	28.251	2.73	200.000	1.36	1415.892	0.96
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.81	31.808	2.63	224.404	1.21	1583.656	0.67
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.96	35.956	2.54	251.785	1.07	1782.502	0.57
0.112	0.00	0.796	0.14	5.637	1.15	39.905	2.47	282.508	0.96	2000.000	0.40
0.126	0.00	0.893	0.22	6.325	1.36	44.774	2.42	316.979	0.87		
0.142	0.00	1.002	0.22	7.006	1.36	50.238	2.42	355.656	0.87		

Operator notes:



# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

**Sample Name:** Amager far-3  
**SOP Name:** 141021 stud  
**Measured:** 21. oktober 2014 14:09:24  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** F-user  
**Analysed:** 21. oktober 2014 14:09:26  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

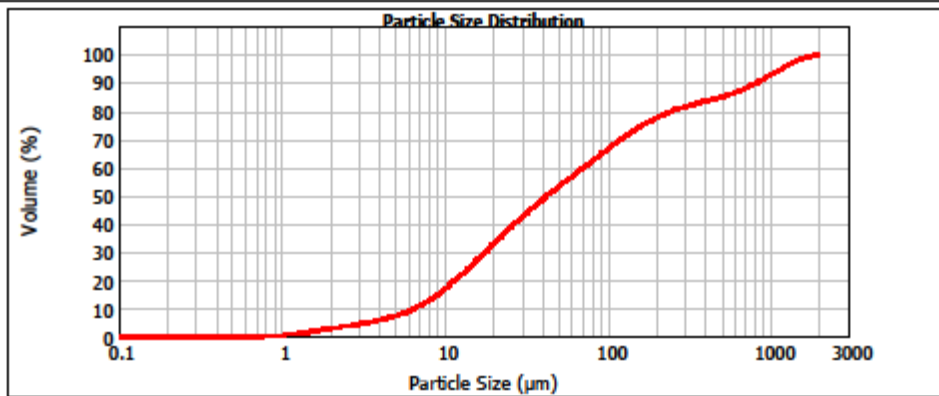
**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 3.34 %  
**Dispersant Name:** 1.000  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.411 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0013 %Vol  
**Span :** 18.964  
**Uniformity:** 4.61  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.418 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 14.365 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 213.709 um

**d(0.1): 6.579 um**

**d(0.5): 42.784 um**

**d(0.9): 817.928 um**

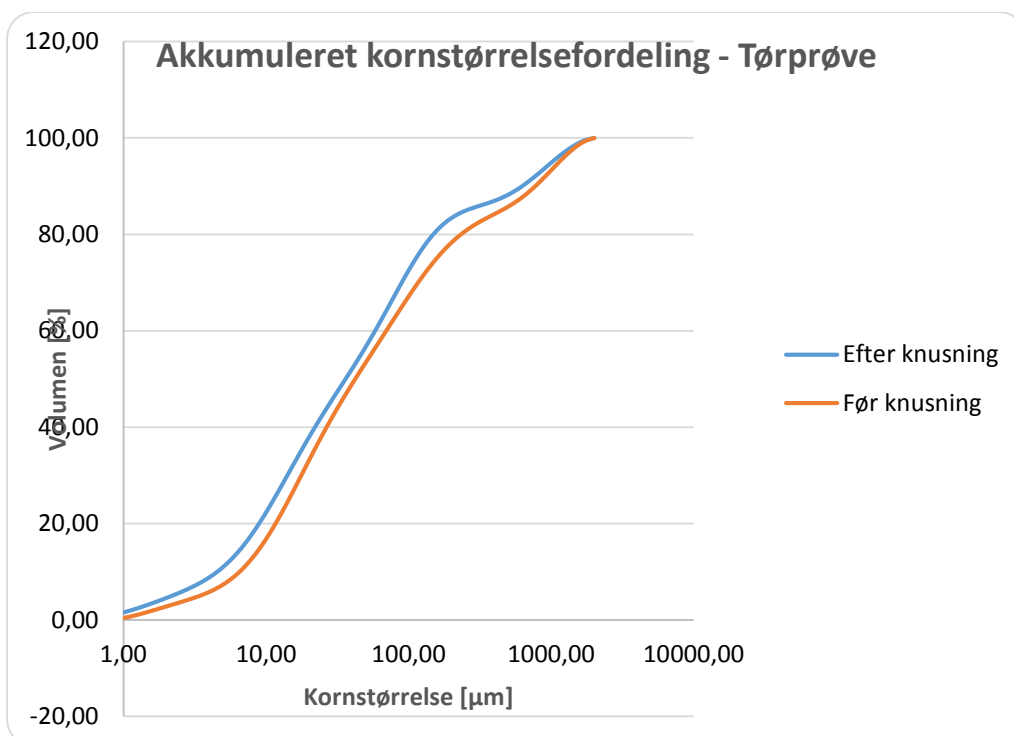
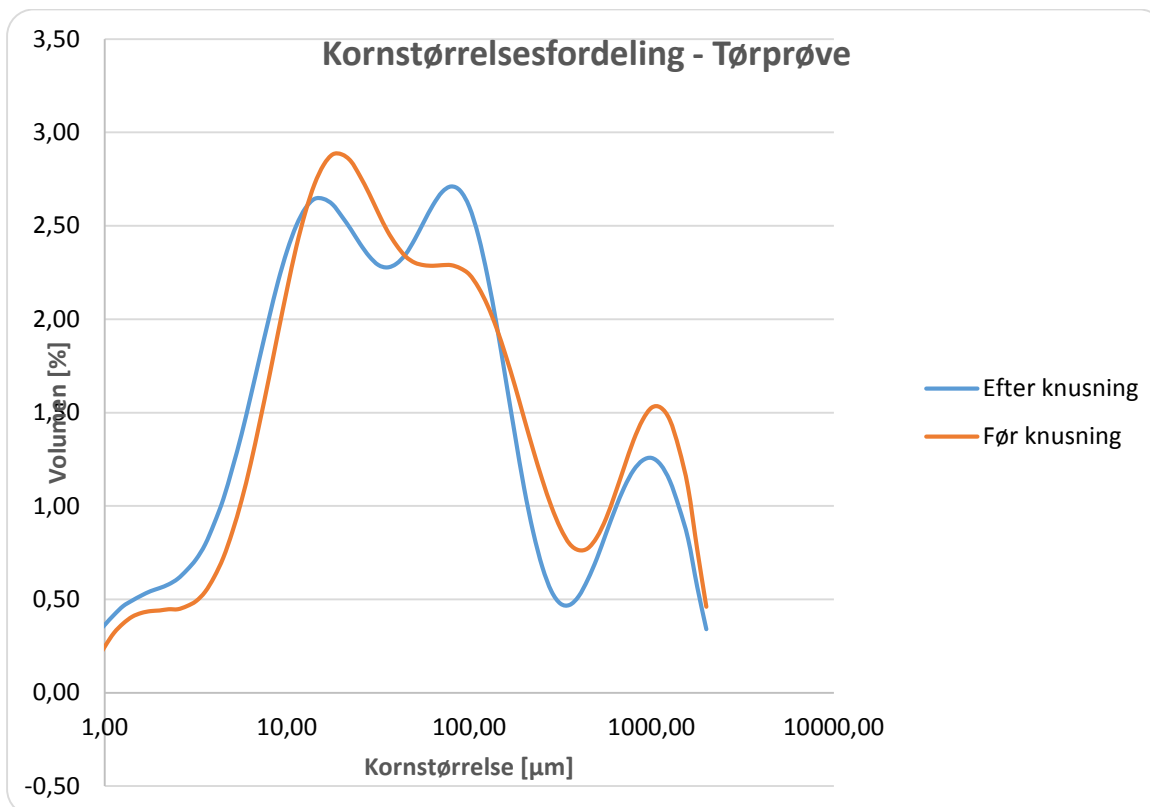


Amager far-3, 21. oktober 2014 14:09:24

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.020	0.00	1.002	0.01	7.006	1.67	50.238	2.25	355.656	0.74		
0.022	0.00	1.125	0.06	7.922	1.91	55.959	2.24	399.052	0.75		
0.025	0.00	1.262	0.40	8.984	2.15	63.246	2.24	447.744	0.82		
0.028	0.00	1.416	0.42	10.024	2.37	70.963	2.24	502.377	0.93		
0.032	0.00	1.589	0.43	11.247	2.57	79.621	2.25	563.677	1.08		
0.036	0.00	1.783	0.43	12.619	2.72	89.337	2.26	632.456	1.25		
0.040	0.00	2.000	0.44	14.150	2.82	100.237	2.14	709.627	1.41		
0.045	0.00	2.244	0.44	15.867	2.88	112.468	2.06	795.214	1.54		
0.050	0.00	2.518	0.46	17.825	2.88	126.191	1.94	889.367	1.63		
0.056	0.00	2.825	0.48	20.000	2.84	141.529	1.80	1002.374	1.64		
0.063	0.00	3.170	0.48	22.440	2.76	158.866	1.66	1124.683	1.58		
0.071	0.00	3.557	0.53	25.179	2.67	178.250	1.47	1261.915	1.42		
0.080	0.00	3.991	0.61	28.251	2.56	200.000	1.30	1415.802	1.20		
0.089	0.00	4.477	0.71	31.698	2.46	224.404	1.13	1593.656	0.84		
0.100	0.00	5.024	1.02	35.666	2.30	251.785	0.98	1782.502	0.66		
0.112	0.00	5.637	1.21	39.905	2.31	282.508	0.86	2000.000	0.50		
0.125	0.00	6.325	1.43	44.774	2.27	316.079	0.77				
0.142	0.00	7.096	1.67	50.238	2.27	355.656	0.77				

Operator notes:

## 2.10.2 Resultater for tør prøve – vasket aske





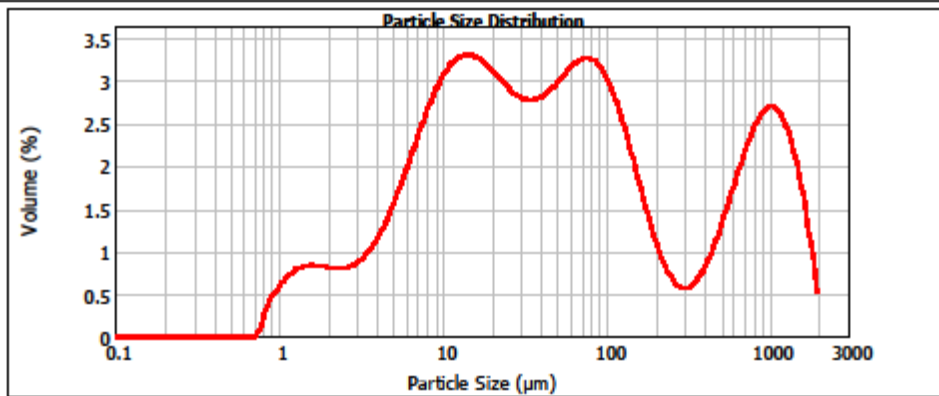
# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Amager- efter	<b>SOP Name:</b> askeTør	<b>Measured:</b> 10. december 2014 09:55:29	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> F-user	<b>Analysed:</b> 10. december 2014 09:55:31	
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement		
<b>Particle Name:</b> aske	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 5.69 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.535 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0018 %Vol	<b>Span :</b> 21.473	<b>Uniformity:</b> 5.18	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.515 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 11.651 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 238.933 um	

**d(0.1): 4.890 um      d(0.5): 43.238 um      d(0.9): 933.362 um**



Amager- efter, 10. december 2014 09:55:29

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.40	7.006	1.80	50.238	2.20	355.656	0.55
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.57	7.902	2.00	55.959	2.37	390.052	0.70
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.61	8.984	2.24	63.246	2.43	447.744	0.88
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.63	10.024	2.36	70.963	2.46	502.377	1.10
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.63	11.247	2.46	79.621	2.46	563.677	1.30
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.62	12.619	2.40	89.337	2.35	632.456	1.56
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.61	14.150	2.40	100.237	2.20	708.627	1.75
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.61	15.867	2.46	112.469	2.00	795.214	1.92
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.61	17.825	2.30	126.191	1.75	893.367	2.02
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.65	20.000	2.31	141.520	1.48	1002.374	2.02
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.71	22.440	2.23	158.866	1.21	1124.683	1.90
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.81	25.179	2.16	178.250	0.95	1261.915	1.73
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.81	28.251	2.11	200.000	0.73	1415.802	1.45
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.93	31.698	2.00	224.404	0.57	1593.656	1.01
0.100	0.00	0.710	0.04	5.024	1.27	35.666	2.10	251.785	0.46	1782.502	0.60
0.112	0.00	0.796	0.27	5.637	1.47	39.905	2.14	282.508	0.43	2000.000	
0.125	0.00	0.893	0.39	6.325	1.68	44.774	2.21	316.079	0.46		
0.142	0.00	1.002	0.39	7.096	1.88	50.238	2.21	355.656	0.46		

Operator notes:



# MASTERSIZER 2000

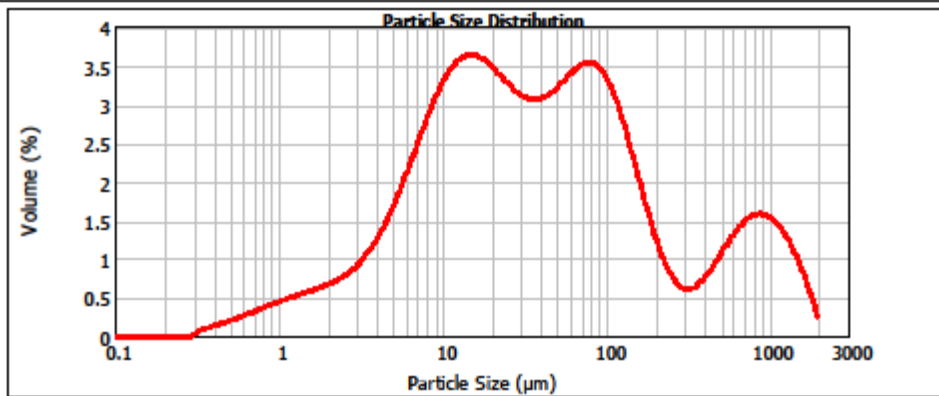
## Result Analysis Report

**Sample Name:** Amager- efter2  
**SOP Name:** aske Ter  
**Measured:** 10. december 2014 09:59:21  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** F-user  
**Analysed:** 10. december 2014 09:59:23  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 5.57 %  
**Dispersant Name:**  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.455 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0014 %Vol  
**Span :** 16.656  
**Uniformity:** 4.29  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.632 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 9.494 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 161.075 um

**d(0.1): 4.658 um**                      **d(0.5): 34.514 um**                      **d(0.9): 579.519 um**



Amager- efter2, 10. december 2014 09:59:21

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.36	7.006	2.02	50.228	2.48	355.656	0.53
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.39	7.922	2.20	55.959	2.56	390.052	0.63
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.41	8.984	2.42	63.246	2.63	447.744	0.75
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.44	10.024	2.57	70.963	2.67	502.377	0.88
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.47	11.247	2.68	79.621	2.66	563.677	1.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.49	12.619	2.74	89.337	2.59	632.456	1.10
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.50	14.150	2.74	100.237	2.44	708.627	1.17
0.045	0.00	0.317	0.01	2.244	0.53	15.867	2.75	112.468	2.23	795.214	1.26
0.050	0.00	0.356	0.03	2.518	0.57	17.825	2.67	126.191	1.97	893.367	1.35
0.056	0.00	0.399	0.09	2.825	0.63	20.000	2.59	141.529	1.67	1002.374	1.43
0.063	0.00	0.448	0.12	3.170	0.70	22.440	2.51	158.866	1.37	1124.683	1.51
0.071	0.00	0.502	0.14	3.557	0.78	25.179	2.43	178.250	1.08	1261.915	1.60
0.080	0.00	0.564	0.17	3.991	0.90	28.251	2.36	200.000	0.84	1415.802	1.69
0.089	0.00	0.632	0.20	4.477	1.03	31.698	2.32	224.404	0.65	1593.656	1.78
0.100	0.00	0.710	0.27	5.024	1.20	35.666	2.32	251.785	0.53	1782.502	1.87
0.112	0.00	0.796	0.30	5.637	1.50	39.905	2.34	282.508	0.47	2000.000	1.96
0.125	0.00	0.893	0.33	6.325	1.81	44.774	2.40	316.079	0.47		
0.142	0.00	1.002	0.33	7.096	1.81	50.228	2.40	355.656	0.47		

Operator notes:



# MASTERSIZER 2000

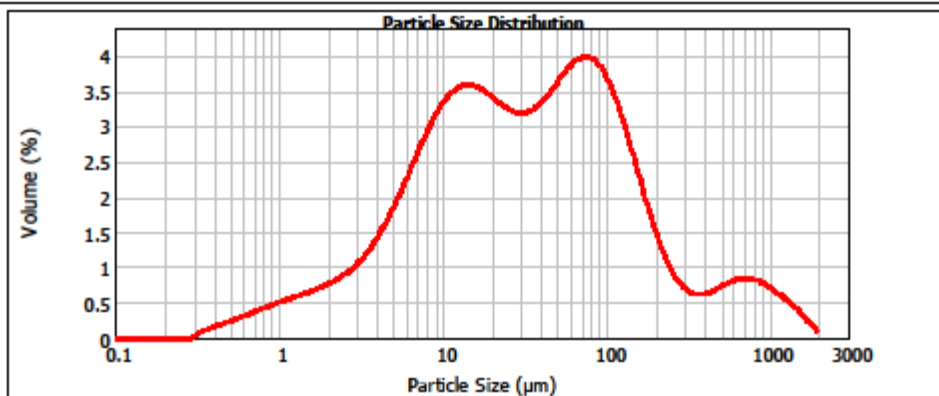
## Result Analysis Report

**Sample Name:** Amager- efter3  
**SOP Name:** askeTer  
**Measured:** 10. december 2014 10:02:32  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** F-user  
**Analysed:** 10. december 2014 10:02:33  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 4.21 %  
**Dispersant Name:**  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.543 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0010 %Vol  
**Span :** 6.495  
**Uniformity:** 2.95  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.697 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 8.612 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 106.316 um

**d(0.1):** 4.094 um      **d(0.5):** 31.907 um      **d(0.9):** 211.318 um



Amager- efter3, 10. december 2014 10:02:32

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.40	7.006	2.10	50.228	2.79	355.656	0.47
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.43	7.902	2.20	55.969	2.90	390.052	0.49
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.46	8.984	2.44	63.246	2.98	447.744	0.53
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.49	10.024	2.57	70.963	3.00	502.377	0.58
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.53	11.247	2.65	79.621	2.97	563.677	0.62
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.57	12.619	2.70	89.337	2.86	632.456	0.64
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.56	14.150	2.70	100.237	2.69	709.627	0.64
0.045	0.00	0.317	0.01	2.244	0.60	15.867	2.70	112.468	2.45	796.214	0.61
0.050	0.00	0.356	0.10	2.518	0.65	17.825	2.66	126.191	2.17	893.367	0.57
0.056	0.00	0.399	0.14	2.825	0.70	20.000	2.54	141.529	1.97	1002.374	0.51
0.063	0.00	0.448	0.17	3.170	0.79	22.440	2.47	158.866	1.86	1124.683	0.44
0.071	0.00	0.502	0.20	3.557	0.89	25.179	2.40	178.250	1.76	1261.915	0.36
0.080	0.00	0.564	0.29	3.991	1.01	28.251	2.40	200.000	1.65	1415.802	0.29
0.089	0.00	0.632	0.27	4.477	1.15	31.696	2.40	224.404	1.51	1588.656	0.25
0.100	0.00	0.710	0.30	5.024	1.32	35.666	2.47	251.785	1.36	1782.502	0.19
0.112	0.00	0.796	0.34	5.637	1.50	39.905	2.56	282.508	1.20	2000.000	0.12
0.125	0.00	0.893	0.37	6.325	1.70	44.774	2.67	316.079	1.01		
0.142	0.00	1.002	0.37	7.096	1.90	50.228	2.87	355.656	0.48		

Operator notes:

2.10.3 Resultater for våd prøve – aske ubehandlet

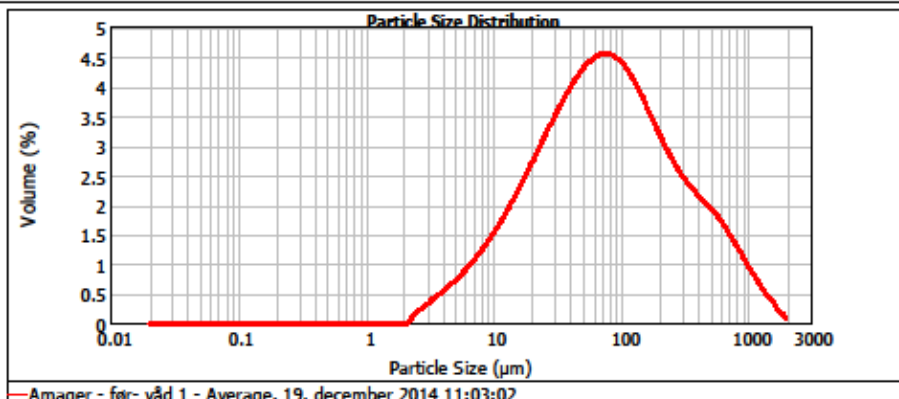
Til hver våd prøve outputtet maskinen 3 resultater samt gennemsnittet af dem. Det er kun gennemsnitsresultaterne, der er vedlagt som bilag.



Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Amager - før- våd 1 - Average	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd3	<b>Measured:</b> 19. december 2014 11:03:02	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> F-user	<b>Analysed:</b> 19. december 2014 11:03:03	
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Averaged		
<b>Particle Name:</b> aske	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 14.85 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.300 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0667 %Vol	<b>Span :</b> 6.000	<b>Uniformity:</b> 1.85	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.188 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 31.862 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 170.921 um	

d(0.1): 12.814 um      d(0.5): 74.727 um      d(0.9): 461.182 um



Amager - før- våd 1 - Average, 19. december 2014 11:03:02

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.07	50.238	3.30	355.656	1.60
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.962	0.08	56.398	3.38	390.052	1.60
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	1.10	63.246	3.42	447.744	1.51
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.22	70.963	3.44	502.977	1.42
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.36	79.621	3.42	563.677	1.32
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.50	89.337	3.37	632.466	1.20
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	1.66	100.237	3.28	709.627	1.07
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	1.81	112.468	3.16	796.214	0.95
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.12	17.825	1.98	126.191	3.01	893.367	0.79
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.18	20.000	2.14	141.589	2.84	1002.374	0.65
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.25	22.440	2.31	158.866	2.67	1134.683	0.52
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.31	25.179	2.48	178.250	2.49	1281.915	0.40
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.45	28.251	2.64	200.000	2.32	1415.892	0.30
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.52	31.898	2.80	224.404	2.16	1588.656	0.18
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.60	35.956	2.94	251.785	2.02	1782.502	0.11
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.68	40.905	3.08	282.508	1.89	2000.000	
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.77	46.774	3.20	316.979	1.78		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.77	50.238	3.30	355.656	1.78		

Operator notes:

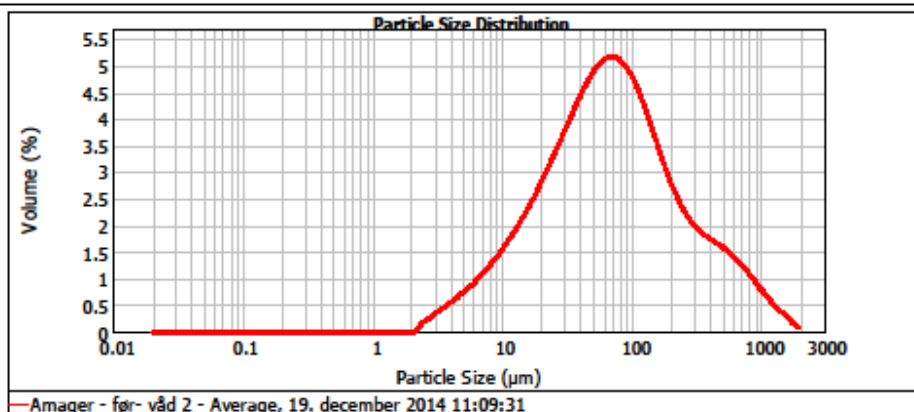




### Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Amager - før- våd 2 - Average	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd3	<b>Measured:</b> 19. december 2014 11:09:31	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> F-user	<b>Analysed:</b> 19. december 2014 11:09:32	
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Averaged		
<b>Particle Name:</b> aske	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 14.94 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.272 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0651 %Vol	<b>Span :</b> 5.662	<b>Uniformity:</b> 1.78	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.194 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 30.860 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 151.029 um	

**d(0.1): 12.681 um      d(0.5): 67.289 um      d(0.9): 393.698 um**



Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.88	50.228	3.73	355.656	1.35
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.982	0.90	56.398	3.83	390.052	1.29
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.984	1.11	63.246	3.89	447.744	1.23
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.11	70.963	3.88	502.577	1.16
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.24	79.621	3.88	563.677	1.16
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.37	89.337	3.81	632.456	1.08
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	1.52	100.227	3.69	709.627	0.99
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	1.68	112.468	3.51	796.214	0.88
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.12	17.825	1.85	126.191	3.26	893.367	0.77
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.18	20.000	2.03	141.580	3.03	1002.574	0.65
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.25	22.440	2.21	158.866	2.75	1124.683	0.54
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.32	25.179	2.41	178.250	2.46	1261.915	0.43
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.39	28.251	2.61	200.000	2.22	1415.892	0.33
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.46	31.698	2.82	224.404	1.99	1588.656	0.25
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.53	35.566	3.03	251.785	1.80	1782.502	0.15
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.61	39.905	3.23	282.508	1.64	2000.000	0.09
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.69	44.774	3.42	316.979	1.51		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.78	50.228	3.59	355.656	1.42		

Operator notes:



### Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Amager - før- våd 3 - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Flyveaskeaske våd3

**Measured by:**  
F-user

**Result Source:**  
Averaged

**Measured:**  
19. december 2014 11:15:42

**Analysed:**  
19. december 2014 11:15:43

**Particle Name:**  
aske

**Particle RI:**  
1.500

**Dispersant Name:**  
Water

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

**Absorption:**  
0

**Dispersant RI:**  
1.330

**Analysis model:**  
General purpose

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Weighted Residual:**  
0.270 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
15.18 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0657 %Vol

**Span :**  
4.977

**Uniformity:**  
1.67

**Result units:**  
Volume

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

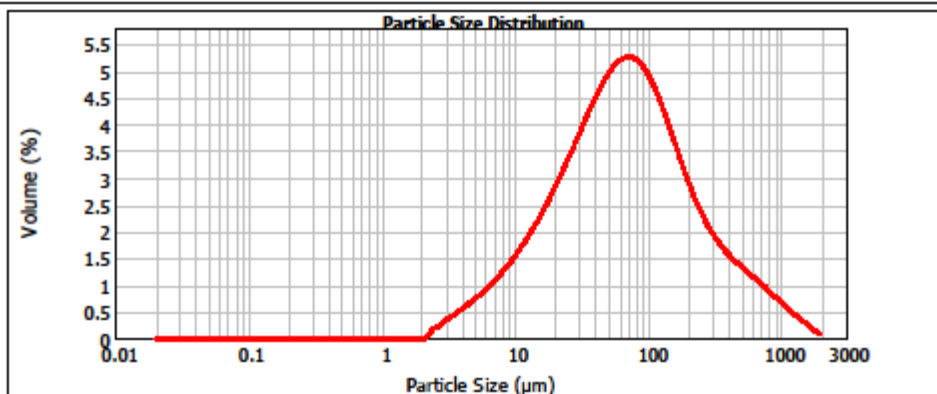
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
30.619 um

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

**d(0.1): 12.668 um**

**d(0.5): 66.103 um**

**d(0.9): 341.654 um**



-Amager - før- våd 3 - Average, 19. december 2014 11:15:42

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.00	50.238	3.80	355.656	1.24
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.902	0.00	55.969	3.91	399.052	1.14
0.025	0.00	0.178	0.00	1.282	0.00	8.984	1.11	63.246	3.96	447.744	1.05
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.34	70.963	3.96	502.377	0.97
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.39	79.621	3.90	563.677	0.89
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.53	89.337	3.78	632.456	0.80
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.150	1.69	100.237	3.61	709.627	0.72
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.867	1.86	112.468	3.39	796.214	0.63
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.12	17.825	2.04	126.191	3.14	893.367	0.54
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.26	20.000	2.24	141.529	2.87	1002.374	0.46
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.32	22.440	2.44	158.866	2.59	1124.683	0.37
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.39	25.179	2.65	178.250	2.30	1261.915	0.29
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.46	28.251	2.87	200.000	2.08	1415.802	0.23
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.53	31.698	3.08	224.404	1.85	1593.656	0.18
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.61	35.666	3.29	251.785	1.66	1782.502	0.14
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.69	39.905	3.40	282.508	1.40	2000.000	0.09
0.125	0.00	0.889	0.00	6.325	0.78	44.774	3.55	316.079	1.35		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.78	50.238	3.66	355.656	1.35		

Operator notes:

2.10.4 Resultater for våd prøve – vasket aske



Result Analysis Report

Sample Name:  
Amger - Efter 1 - Average  
Sample Source & type:  
Paris  
Sample bulk lot ref:  
123-ABC

SOP Name:  
Flyveaskeaske våd  
Measured by:  
F-user  
Result Source:  
Averaged

Measured:  
19. december 2014 10:14:35  
Analysed:  
19. december 2014 10:14:36

Particle Name:  
aske  
Particle RI:  
1.500  
Dispersant Name:  
Water

Accessory Name:  
Hydro 2000SM (A)  
Absorption:  
0  
Dispersant RI:  
1.330

Analysis model:  
General purpose  
Size range:  
0.020 to 2000.000 um  
Weighted Residual:  
0.375 %

Sensitivity:  
Enhanced  
Obscuration:  
15.89 %  
Result Emulation:  
Off

Concentration:  
0.0361 %Vol

Span :  
2.851

Uniformity:  
0.899

Result units:  
Volume

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

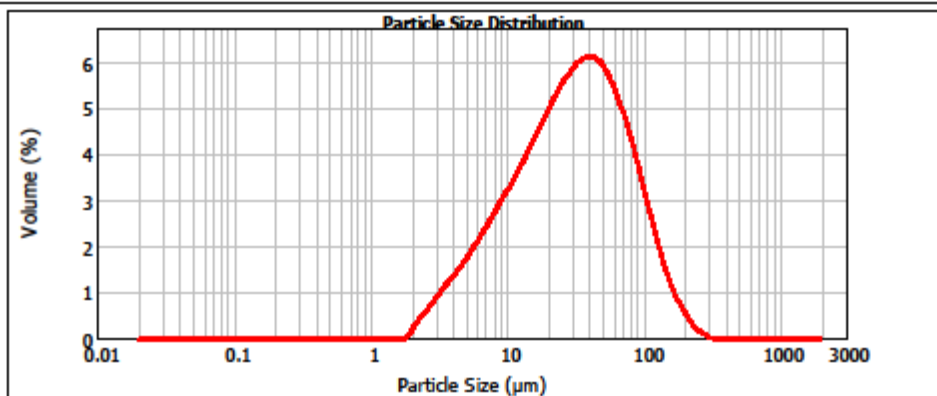
Surface Weighted Mean D[3,2]:  
16.540 um

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

d(0.1): 6.826 um

d(0.5): 30.113 um

d(0.9): 92.664 um



Amger - Efter 1 - Average, 19. december 2014 10:14:35

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.94	50.238	4.37	355.656	0.00
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.962	2.19	56.969	4.14	390.062	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.282	0.00	8.984	2.32	63.246	3.94	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	2.53	70.963	3.46	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.74	79.621	3.07	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	2.95	89.337	2.64	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.04	14.150	3.17	100.237	2.20	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.24	15.887	3.40	112.468	1.78	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.36	17.825	3.63	126.191	1.39	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.65	20.000	3.84	141.589	1.04	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.79	22.440	4.05	158.866	0.74	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.94	25.179	4.25	178.250	0.50	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.94	28.251	4.41	200.000	0.32	1415.802	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.09	31.696	4.53	224.404	0.17	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	1.41	35.666	4.59	251.785	0.10	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.58	39.905	4.59	282.508	0.05	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	1.75	44.774	4.52	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.94	50.238	4.37	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Amger - Efter 2 - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Flyveaskeaske v d

**Measured by:**  
F-user

**Result Source:**  
Averaged

**Measured:**  
19. december 2014 10:21:22

**Analysed:**  
19. december 2014 10:21:23

**Particle Name:**  
aske

**Particle RI:**  
1.500

**Dispersant Name:**  
Water

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

**Absorption:**  
0

**Dispersant RI:**  
1.330

**Analysis model:**  
General purpose

**Size range:**  
0.020 to 2000.000  $\mu\text{m}$

**Weighted Residual:**  
0.346 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
15.91 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0385 %Vol

**Span :**  
3.232

**Uniformity:**  
1.22

**Result units:**  
Volume

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

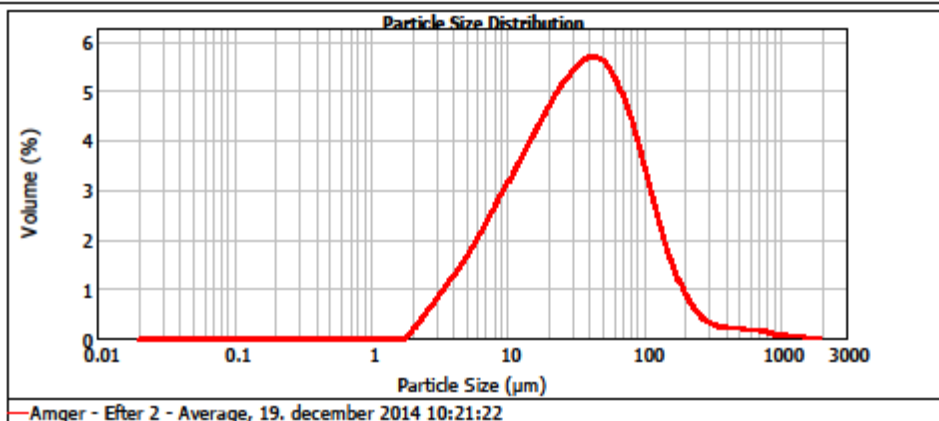
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
17.511  $\mu\text{m}$

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

**d(0.1):** 7.152  $\mu\text{m}$

**d(0.5):** 32.455  $\mu\text{m}$

**d(0.9):** 112.047  $\mu\text{m}$



Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %
0.020	0.00	1.002	0.00	7.006	1.88	50.228	4.17	355.656	0.17		
0.022	0.00	1.125	0.00	7.922	2.07	55.959	4.01	399.052	0.15		
0.025	0.00	1.262	0.00	8.984	2.27	63.246	3.79	447.744	0.15		
0.028	0.00	1.416	0.00	10.024	2.46	70.963	3.51	502.377	0.14		
0.032	0.00	1.589	0.00	11.247	2.66	79.621	3.19	563.677	0.13		
0.036	0.00	1.783	0.00	12.619	2.86	89.327	2.82	632.456	0.13		
0.040	0.00	2.000	0.05	14.150	2.95	100.227	2.44	709.627	0.11		
0.045	0.00	2.244	0.17	15.867	3.04	112.468	2.05	795.214	0.08		
0.050	0.00	2.518	0.31	17.825	3.42	126.191	1.68	893.367	0.06		
0.056	0.00	2.825	0.46	20.000	3.60	141.529	1.30	1002.374	0.05		
0.063	0.00	3.170	0.58	22.440	3.76	158.866	1.03	1124.683	0.04		
0.071	0.00	3.557	0.72	25.179	3.93	178.250	0.78	1261.915	0.03		
0.080	0.00	3.991	0.87	28.251	4.07	200.000	0.58	1415.802	0.02		
0.089	0.00	4.477	1.01	31.698	4.19	224.404	0.42	1593.656	0.01		
0.100	0.00	5.024	1.17	35.666	4.25	251.785	0.31	1782.502	0.01		
0.112	0.00	5.637	1.51	39.905	4.29	282.508	0.24	2000.000	0.01		
0.125	0.00	6.325	1.69	44.774	4.25	316.079	0.20				
0.142	0.00	7.096	1.89	50.228	4.25	355.656	0.20				

Operator notes:



# MASTERSIZER 2000

## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Amger - Efter 3 - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Flyveaskeaske våd

**Measured by:**  
F-user

**Result Source:**  
Averaged

**Measured:**  
19. december 2014 10:28:10

**Analysed:**  
19. december 2014 10:28:11

**Particle Name:**  
aske

**Particle RI:**  
1.500

**Dispersant Name:**  
Water

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

**Absorption:**  
0

**Dispersant RI:**  
1.330

**Analysis model:**  
General purpose

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Weighted Residual:**  
0.366 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
15.08 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0353 %Vol

**Span :**  
3.029

**Uniformity:**  
0.977

**Result units:**  
Volume

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

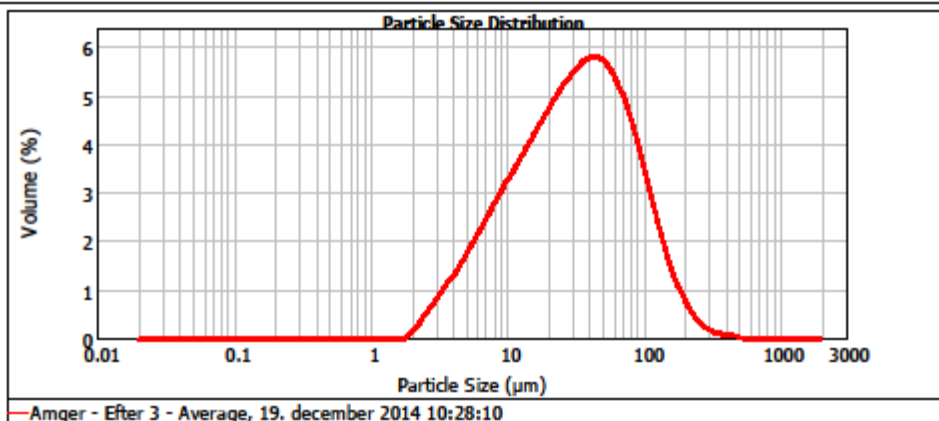
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
17.041 um

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

**d(0.1): 6.968 um**

**d(0.5): 31.341 um**

**d(0.9): 101.896 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.97	50.238	4.27	355.656	0.07
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.902	2.17	55.959	4.11	399.052	0.06
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.984	2.36	63.246	3.88	447.744	0.04
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	2.55	70.963	3.59	502.377	0.03
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.74	79.621	3.25	563.677	0.02
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	2.92	89.337	2.84	632.456	0.01
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.05	14.150	3.10	100.237	2.40	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.16	15.867	3.28	112.468	2.02	795.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.31	17.825	3.46	126.191	1.63	889.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.46	20.000	3.64	141.529	1.26	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.59	22.440	3.82	158.866	0.95	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.74	25.179	3.98	178.250	0.69	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.90	28.251	4.13	200.000	0.48	1415.802	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.06	31.698	4.25	224.404	0.32	1589.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	1.23	35.666	4.34	251.785	0.21	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.50	39.905	4.37	282.508	0.13	2000.000	0.00
0.125	0.00	0.893	0.00	6.325	1.78	44.774	4.35	316.079	0.09		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.78	50.238	4.35	355.656	0.00		

Operator notes:

## 3 Diverse

### 3.1 Mail fra HOFOR

12/1/2015

Udskrivning af meddelelser i Outlook.com

[Udskriv](#)[Luk](#)

---

## SV: RE: Vedr.: Amagerværket - biomasse

---

Fra: **Nicolai Bech** (nicb@hofor.dk)  
Sendt: 4. december 2014 08:43:56  
Til: aftab\_0612@hotmail.com (aftab\_0612@hotmail.com)

Hej Saboor

Det har taget noget tid inden jeg fik din mail. Her mine umiddelbare svar til dig:

Der bruges alene træpiller som brændsel på Amagerværkets blok, der producerer den aske som jeg forstår du er interesseret i. Amagerværkets blok 3 bruger alene kul og den aske bruges til betonformål, men det er jo ikke det du er interesseret i til projektet.

Asken fra blok 1 består dels af bundaske dels af flyveaske. Bundasken opsamles i bunden af kedlen i et vandkar og bliver derfor afkølet direkte. Bundasken afsættes som jordforbedringsmiddel i overensstemmelse med Bioaskebekendtgørelsen. ( link <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=116609> ). Flyveasken afsættes til opfyldningsformål hos en virksomhed i Norge. Flyveasken kan ikke umiddelbart og ikke uden besvær bruges til gødningsformål indenfor de nuværende regler. Men der sker en hel masse indenfor det område netop i disse år.

Som nævnt afkøles bundasken med det samme i et vandkar. Det samme gælder ikke for flyveasken. Den afkøles langsomt for at undgå at den optager fugt fra luften eller på anden vis. Baggrunden er at hvis flyveasken bliver bare lidt fugtig vil den klistre sammen og være umulig at håndtere i pneumatiske transportsystemer.

Med venlig hilsen

**Nicolai Bech**  
Civilingeniør / MSc; PhD; HD  
Energihandel / Energy Trade

Direkte tlf: +45 2795 5024 Off hour telephone: +45 2641 7186

E-mail: [nicb@hofor.dk](mailto:nicb@hofor.dk)

*Tænk på miljøet - spar på vand og energi!*

HOFOR A/S | Ørestads Boulevard 35 | 2300 København S | CVR: 10073022 | tlf. 3395 3395 | [www.hofor.dk](http://www.hofor.dk)

Hej,

<https://dub120.mail.live.com/ol/mail.mvc/PrintMessages?mkt=da-dk>

1/2

12/1/2015

Udskrivning af meddelelser i Outlook.com

Jeg er en studerende på DTU og er i øjeblikket igang med mit afgangsprøjsjekt, hvor jeg undersøger muligheden for anvendelse af aske i betonen. Jeg har valgt at fokusere på asken, der kommer fra Amagerværket (biomasse til afbrænding) og i den forbindelse vil jeg håbe på at få svar på følgende 3 spørgsmål:

- Hvilken type biomasse bliver brugt til kraftværket? (evt. indhold af de forskellige materialer)
- Hvordan afskaffes bioasken? (evt. salg eller bortskaffelse)
- Afkøles asken før bortskaffelse, hvis ja, hvordan?

Jeg håber, at De vil tage tid til at besvare spørgsmålene og evt. sende informationer, som De synes vil kunne komme til gavn for mit projekt.

Mange tak på forhånd

Med venlig hilsen

Saboor Aghazadeh

## 3.2 Poster

# Anvendelse af bioaske i beton

Saboor Aghazadeh, s113764

DiplomByg, DTU

2014

### Introduktion

Danmarks energiproduktion i dag afhænger hovedsageligt af afbrænding af biomasser og de traditionelle fossile brændstoffer. Anvendelsen af biomassen til forbrænding stiger fra dag til dag, idet denne løsning er mere CO<sub>2</sub> neutral og mere bæredygtig. Dette resulterer i, at der bliver produceret mere og mere bioaske, som enten skal bortskaffes eller anvendes igen. I dette projekt vil der derfor undersøges muligheden om at anvende aske i produktion af beton.

Asken, der er benyttet i dette projekt er bioaske, der kommer fra forbrændingsanlægget,

### Karakteristik af asken

#### Vandindhold

Vandindholdet for denne aske blev ved en prøvetagning af aske og afvejning af denne før og efter tørring ( varmeskab ved 105°C).

#### PH og ledningsevne

PH-værdien samt ledningsevnen af asken blev målt potentiometrisk i en opslæmning af jord og kalciumchlorid i forholdet 1:2,5 vha. en pH-meter og ledningsevnemåler.

#### Glødetab

Askens indhold af organiske stoffer blev bestemt ved at se på forholdet af vægten af asken før og efter den blev stillet i en muffelovn og afkølet i en eksikator.

### Resultater

Vandindhold	PH	Ledningsevne	Glødetab
[%]		[mS/cm]	[%]
0,73	13,13	91,57	2,86

### Støbning og trykmåling

Til undersøgelse af trykmåling blev der støbt små formler for 3 forskellige blandinger for hhv. 7-, 14- og 28-døgns hærdninger:

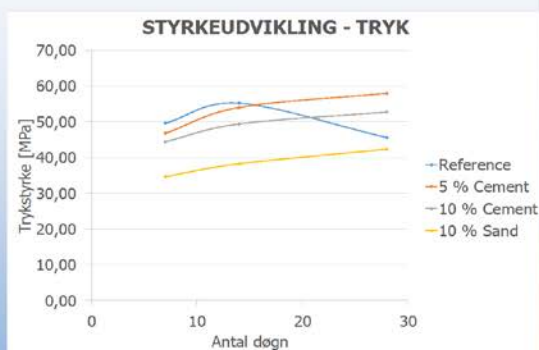
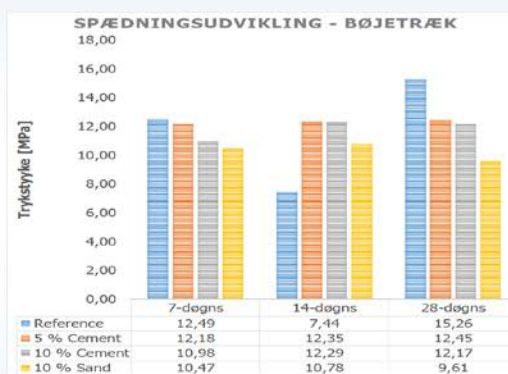
- 5 % cementerstatning
- 10 % cementerstatning
- 10% sanderstatning

Samtidig blev der støbt referenceprøver, som skulle benyttes til sammenligningen af de blandede prøver.



Billede 1: Trykprøvning af mørtelprøven

### Styrkeudvikling



### Videreundersøgelse

Undersøge mulighederne om at forøge trykstyrken af betonblandinger ved bearbejdning af asken, herunder ringknusning.



**DTU Civil Engineering**  
Department of Civil Engineering  
**Technical University of Denmark (Arial Bold 11 pkt.)**

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

**[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk) (Arial Bold 11 pkt.)**