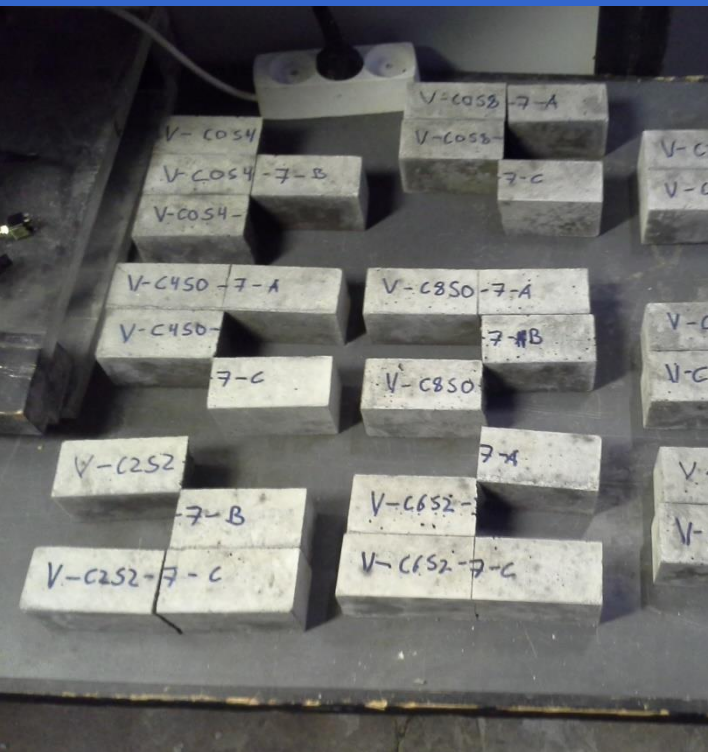


# Trykstyrke og densitet for beton

ved samtidig og delvis erstatning af  
cement og sand med træaske



Esben Østergaard Hansen  
s092805

Bachelorprojekt

Institut for Byggeri og Anlæg  
2015

Januar 2015

**Rapport udarbejdet af:**

Esben Østergaard Hansen  
Stud.polyt. s092805

**Rapport udarbejdet på:**

Institut for Byggeri og Anlæg,  
Danmarks Tekniske Universitet

**Vejlederteam:**

Lektor MSK, Lisbeth M. Ottosen  
Professor, Per Goltermann

**Laborantteam:**

Laboratoriekoordinator, Ebba Cederberg Schnell  
Laborant, Sabrina June Hvid  
Laborantelev, Camilla Nielsen

**Projektperiode:**

01/09-14 – 05/01-15

## 1 - Forord

Denne rapport vil, sammen med et forsvar, udgøre resultatet af et bachelorprojekt, der afslutter bacheloruddannelsen byggeteknologi, ved Danmarks Tekniske Universitet for stud.polyt. Esben Østergaard Hansen. Projektet er vægtet til 15 ECTS-point, og er forløbet i perioden 1. september 2014 til 5. januar 2015.

Der rettes en stor tak til vejleder Lisbeth M. Ottosen, for engageret og kompetent vejledning og til Ebba Cederberg Schnell og de andre laboranter for god hjælp og assistance i laboratoriet. Der skal også lyde en tak til de andre studerende i projektfamilien for god sparring og godt humør, og til venner og familie for opbakning og support igennem hele projektforløbet.

---

Esben Østergaard Hansen

## 2 – Resume

I denne rapport bliver det undersøgt om træasken fra Køge Kraftvarmeværk er anvendelig i betonsammenhænge. Dette bliver gjort igennem forsøg, der afdækker nogle af askens fysiske og kemiske egenskaber, samt igennem undersøgelser af trykstyrke, porøsitet og densitet af mørtelprøver med asken indblandet. Asken bliver vandet på kraftværket, hvilket resulterer i en klumpet struktur, og et vandindhold på over 15 %. Det bliver fundet viser at asken har et glødetab på  $2,86 \pm 0,04$  % og en pH på 12,86, hvilket gør den velegnet til brug i beton. Det bliver dog også fundet at asken har en vandopløselighed på omkring 24 %, og en ledningsevne på  $79,33 \pm 0,72$  mS/cm, og at koncentrationen af vandopløselige ioner ligger over 16 %. Dette indikerer et højt saltindhold i asken, hvilket ikke er ønskeligt i betonsammenhænge, og derfor fortsætter forsøget med aske, både som den er, og i en vasket tilstand. Den vaskede aske analyseres, og det findes her at pH-værdien er efter vask faldet til  $12,445 \pm 0,005$ , hvilket betyder at asken stadig er velegnet, men at glødetabet er steget til  $5,82 \pm 0,14$  %, hvilket flytter asken til fra anvendelses kategori A til B.

Ledningsevnen er faldet til  $9,655 \pm 0,21$  mS/cm, hvilket bekræfter at en del af saltene er blevet vasket ud. Der bliver lavet en grundstofanalyse på både vasket og uvasket aske, og det ses at koncentrationen af cadmium, nikkel og bly overskrider grænseværdierne både før og efter vask. Vaskeprocessen er hermed ikke tilstrækkelig til at rense asken.

Der bliver støbt mørtelprøver med både vasket og uvasket aske. Med uvasket aske bliver der støbt prøver med henholdsvis 5 % og 10 % cementerstatning og 10 % sanderstatning, og disse bliver trykprøvet efter henholdsvis 7, 14 og 28 dage. Det ses at ingen af blandingerne kommer over reference styrken, omend 5 % cementerstatningen er tæt på, og tages askens vandopløselighed i betragtning, vurderes det som værende et lovende resultat. Sanderstatningen er den der ligger lavest, med styrker op til 16 MPa lavere end reference styrkerne. Det forventes derfor ikke at asken har nogen videre puzzolansk effekt. Den effekt den har formodes at skyldes enten gipsdannelse eller fillereffekt.

De mørtelprøver der bliver støbt med vasket aske, bliver fordelt jævnt mellem 0 % - 10 % af både cement- og sanderstatning, så de tilsammen danner et landskab. Disse prøver bliver kun testet efter 7 dage. Af trykprøvningen ses det, at der ikke er megen styrke at hente ved brug af asken med den højeste trykstyrke kun 1 MPa over reference styrken på 45,4 MPa. Det ses samtidig at så snart tilsætningen bliver for stor, falder styrken drastisk, med den laveste styrke på 25,7 MPa for 10 % cement- og 10 % sanderstatning.

Landskabskonceptet giver godt overblik over styrkeudviklingen. Densiteten af prøverne med vasket aske bliver analyseret, og det ses, at asken ikke har nogen særlig indvirkning på denne. Porøsiteten af mørtelprøverne med vasket aske, viser en klar tendens, hvor det ses, at der er en lineær sammenhæng mellem askemængden i en prøve og porøsiteten. Det antages at dette skyldes at asken i sig selv er meget porøs. Det ses at der ligeledes er en lineær sammenhæng mellem porøsiteten af mørtelprøven og trykstyrken af denne, og dermed at et hvert styrkebidrag asken måtte give kemisk til mørtlen, bliver sløret af den styrkereduktion den fysisk giver. Det vurderes at asken ikke kan anvendes som cement- eller sanderstatning, i beton; hverken i sin oprindelige form, eller vasket. Dog tænkes det, at den muligvis kan anvendes til luftindblanding, eller at en formaling måske vil fremhæve nogle styrkebringende egenskaber.

### 3 – Abstract

In this study it has been examined whether the wooden ash from the power plant “Køge Kraftvarmeværk” is applicable in concrete contexts. This has been examined through experiments to uncover some of the physical and chemical properties of the ash, and through tests of the density, the porosity, and the compressive strength of mortar samples with ash in them. At the power plant, the ash is watered, which results in a lumpy structure and a water content of more than 15 %. The ash has a loss on ignition of  $2,86 \pm 0,04$  % and a pH of 12,86, which makes it suitable for use in concrete. It is found that the water solubility of the ash is around 24 %, that it has a conductivity of  $79,33 \pm 0,72$  mS/cm, and that the concentration of water soluble ions is higher than 16 %. This all indicates a high concentration of salts, which is not desirable in concrete contexts, so it is decided to wash some of the ash, and experiment with this as well. It is found that after the wash, the pH of the ash has dropped down to  $12,445 \pm 0,005$ , which is still good, but that the loss on ignition has gone up to  $5,82 \pm 0,14$  %, which moves the ash from category A to B. The conductivity has fallen to  $9,655 \pm 0,21$  mS/cm, which confirms that a lot of the salt has been washed out. An AAS-analysis is conducted on both the unwashed and the washed ash, and it is found in both cases that the concentrations of cadmium, nickel and lead are too high. The washing process is not sufficient at cleaning the ash. Mortar samples are cast with both unwashed and washed ash. With the unwashed ash samples are cast with 5 % and 10 % cement replacement, and 10 % sand replacement, and these are tested for compressive strength after 7, 14 and 28 days. None of the samples are found to be stronger than the reference, even though the 5 % cement replacement is close. Considering the water solubility of the ash, the results are deemed promising. The sand replacement is the weakest of all, with strengths up to 16 MPa lower than the reference. From this it is assumed that the ash has no notable pozzolanic effect. The effect it has is presumably from either filler effect or the formation of gypsum. The mortar samples cast with washed ash are evenly divided between 0 % and 10 % of both cement- and sand replacement, and together they form a landscape. These are only tested after 7 days. From the tests of the compressive strengths, it is found that the ash does not contribute very much to the strength, with the highest measured only 1 MPa higher than the reference strength of 45,4 MPa. It is seen that as soon as the addition of ash becomes too great, the strengths fall dramatically, with the lowest being 25,7 MPa, at 10 % cement- and 10 % sand replacement. The landscape works well at creating an overview of the strength development. The densities are measured for the samples with washed ash, and are found not to be affected by the addition of the ash. The porosities of the mortar samples with the washed ash show a clear tendency, and a linear connection between the addition of ash, and the increase of porosity is found. This is thought to be because the ash in itself is very porous. It is also found that there is a linear connection between the porosity of the mortar samples and their compressive strengths. This means that any contribution the ash could have had to the strengths of the mortar on a chemical level, is distorted by the strengths reduction the physical aspects of the ash contributes with. The ash is deemed unsuitable as either cement- or sand replacement in concrete, both in its original state, and after it has been washed. It is assessed that it could be used as an air entrainment agent, or that milling it might bring out some strength contributing properties.

## 4 - Indholdsfortegnelse

1 - Forord .....	1
2 - Resume.....	2
3 - Abstract.....	3
4 - Indholdsfortegnelse .....	4
5 - Indledning .....	7
6 - Teori.....	8
6.1 - Beton .....	8
6.1.1 - Opbygning.....	8
6.1.2 - Porøsitet og densitet.....	9
6.1.3 - Puzzolan .....	9
6.1.4 - Filler effekt .....	10
6.2 - Flyveaske .....	10
6.2.1 - Rensning af røg fra kraftværker .....	10
6.2.2 - Anvendelsesmuligheder for flyveaske.....	11
6.2.3 - Flyveaske fra Køge kraftvarmeværk.....	11
7 - Metoder og materialer.....	12
7.1 - Askekarakteristik.....	12
7.1.1 - pH.....	12
7.1.2 - Salt .....	12
7.1.2.1 - Ledningsevne.....	12
7.1.2.2 - Vandopløselighed .....	12
7.1.3 - Glødetab .....	13
7.1.4 - Vandindhold .....	13
7.1.5 - Grundstofanalyse (oplukning).....	13
7.1.6 - Vandopløselige an- og kationer .....	13
7.1.7 - Kornkurve.....	14
7.2 - Vasket aske .....	14
7.3 - Mørtelprøver.....	14
7.3.1 - Støbeprocess.....	14
7.3.2 - Styrkeprøvning.....	15
7.3.3 - Porøsitet og densitet .....	16

7.3.4 – Mørtelprøver med uvasket aske.....	16
7.3.5 – Mørtelprøver med vasket aske, første omgang.....	17
7.3.6 – Mørtelprøver med vasket aske, anden omgang.....	18
8 - Resultater og Diskussion.....	20
8.1 – Askekarakteristik.....	20
8.1.1 – Kornkurve.....	21
8.1.2 – Vandopløselige an- og kationer .....	22
8.1.3 – Grundstofanalyse (Oplukning).....	24
8.2 – Mørtelprøver.....	26
8.2.1 – Trykstyrker for mørtelprøver med uvasket aske.....	27
8.2.2 – Trykstyrker for mørtelprøver med vasket aske .....	29
8.2.3 - Densitet.....	30
8.2.4 – Porøsitet.....	32
8.3 – Fejlkilder.....	34
9 – Konklusion.....	35
10 – Videre forskning.....	36
11 – Litteratur .....	37
Appendix .....	38
A – Forsøgsvejledninger.....	38
A.1 – pH .....	38
A.2 - Ledningsevne.....	39
A.3 – Vandopløselighed .....	40
A.4 – Glødetab.....	41
A.5 – Vandindhold.....	42
A.6 - Grundstofanalyse (oplukning) .....	43
A.7 - Vandopløselige an- og kationer .....	44
A.8 - Porøsitet og densitet .....	45
B - Støbeskema.....	48
B.1 – Mørtelprøver med uvasket aske .....	48
B.2 – Mørtelprøver med vasket aske.....	49
C - Askekarakteristik .....	50
C.1 – Uvasket aske - pH, ledningsevne, vandopløselighed, glødetab, vandindhold .....	50
C.2 - Vasket aske - pH, ledningsevne, glødetab .....	52
C.3 – Kornkurver .....	53

C.4 – Vandopløselige anioner og kationer.....	56
C.5 - Grundstofanalyse, uvasket og vasket.....	57
D - Mørtelprøver.....	58
D.1 – Porøsitet og Densitet – Vægtudvikling .....	58
D.2 – Porøsitet og Densitet – Udregninger .....	59
D.3 – Mørtelprøver styrker, reference.....	60
D.4 - Mørtelprøver, dimensioner og styrker, uvasket aske .....	61
D.5 – Mørtelprøver, dimensioner og styrker, vasket aske .....	63
E - Mailkorrespondance .....	69
E.1 – Mail fra d. 09/11-14.....	69
E.2 – Mail fra d. 04/12-14.....	70



## 5 - Indledning

Meget af den aske der i dag produceres som restprodukt på kraftværker, betaler kraftværkerne for at komme af med. Kunne denne aske anvendes i betonproduktion, som erstatning for enten cement eller sand, eller måske begge dele, ville den gå fra at være en belastning til at være en ressource.

Samtidig ville det være en kæmpe gevinst for miljøet, da cementproduktion i dag står for en stor andel af den menneskeskabte CO<sub>2</sub>.

At blande aske i beton er ikke en ny ide. Den beton der blev produceret i Rom og Grækenland i oldtiden, beroede på aske fra vulkaner, så det ligger ikke så fjernt at kigge på hvilke asker der kan bruges i beton, og med hvilke fordele.

I dette projekt vil det blive arbejdet på en aske fra Køge Kraftvarmeværk. Denne er en ren træaske, da det eneste der bliver brændt på kraftværket er restprodukter fra en nærtliggende trægulvsproducent. Der vil blive analyseret på askes fysiske og kemiske sammensætning både som den er, og i en vasket tilstand, og der vil blive foretaget mørtelforsøg hvor asken indgår som en delvis cement- og sanderstatning, både hver for sig og samtidig.

## 6 – Teori

I dette afsnit vil den relevante teori, der ligger til grund for projektet, blive beskrevet.

### 6.1 – Beton

Beton er et meget alsidigt byggemateriale og det bliver brugt stort set alle steder. Grunden til dette kan være, at det er forholdsvis billigt, det er isotopt, det kan støbes på stedet til at passe til de forhåndenværende forhold, men kan også støbes på fabrik og transporteres i hærdet tilstand til det sted det skal bruges. Det kræver ikke meget pleje, kan modstå vind og vejr og så kan det anvendes i sin rene form, eller det kan armeres på flere forskellige måder alt efter anvendelse.

#### 6.1.1 – Opbygning

Beton er opbygget af fire grundingredienser: cement, sand, sten og sand. Cement er et calcium-baseret bindemateriale, og har i sin nuværende form eksisteret siden 1824, hvor Josef Aspdin opfandt Portland Cement [Johannesson, 2011, notes, side 2]. Calcium-baserede bindematerialer har dog været kendt og anvendt i flere tusind år, og blev blandt andet anvendt til opførelsen af Pantheon i Rom.

Vand og cement danner tilsammen cementpasta, og det er dette der binder betonen sammen. Forholdet mellem vand og cement, V/C-forholdet, er en afgørende parameter for beton. Et lavt V/C-forhold resulter i en stærk beton, med en lav gennemtrængelighed, også kendt som permabilitet, hvor det er lige omvendt hvis V/C-forholdet er højt.

Sand og sten, der betegnes som aggregaterne udgør cirka 70 % af en standart beton, og fungerer primært som fyld. Det er vigtigt at der både i sandet og i stenene er den rigtige fordeling mellem forskellige kornstørrelser. Er der ikke det, vil cementpastaen få svært ved at binde det hele sammen, og betonen vil ikke nå optimal styrke.

Ud over cementpasta og aggregater vil en frisk beton typisk indeholde 1-2 % luft. Denne introduceres naturligt under blandingen, og er god for betonen, da den kan være med til at frostsikre den.

Derudover vil der til tider optræde forskellige additiver i en betonrecept. Disse kan være enten mineralske eller kemiske, og bliver brugt af forskellige årsager. Der eksisterer kemiske additiver til mange forskellige problemstillinger mht. beton, for eksempel kan luftindblandingsmidler bruges hvor den naturlige luftmængde ikke er nok til at sikre mod frost. Blandt de mineralske additiver kan nævnes mikrosilica og kulflyveaske. Disse vil have en effekt på vandbehovet for betonen, og det er derfor nødvendigt at korrigere V/C-forholdet. Dette gøres som udgangspunkt efter formlen

$$\frac{V}{C_{\text{ækv.}}} = \frac{V}{C + 0,5 \times FA + 2,0 \times MS}$$

Hvor FA er kulflyveaske, og MS er mikrosilica. Denne formel [Aalborg, 2007, s. 50] tager udgangspunkt i, at vandbehovet for hhv. kulflyveaske og mikrosilica er kendt.

### 6.1.2 - Porøsitet og densitet

Porøsiteten er et mål for hvor stor en del af et materiale der består af luft. Som tidligere nævnt er luftindholdet i en beton vigtigt for at frostsikre den. I en beton vil der altid være lidt frit vand tilbage, og når vand fryser udvider det sig. Hvis ikke det kan udvide sig i luftporerne, gør det det i betonen, og det kan sprænge den. Porøsiteten af en prøve, kan findes som forholdet mellem volumen af porerne og total volumen:

$$P = \frac{V_p}{V}$$

Hvor volumen  $V$  findes ud fra  $m_{sw}$  - vægten af prøven vandmættet, under vand,  $m_{ssd}$  - vægten af prøven i vakuumvandmættet overfladetør tilstand, og  $\rho_w$  - densiteten af vand:

$$V = \frac{m_{ssd} - m_{sw}}{\rho_w}$$

Og volumen af porerne,  $V_p$  findes ud fra  $m_{ssd}$ ,  $\rho_w$ , og  $m_t$  - vægten af prøven i tørret tilstand:

$$V_p = \frac{m_{ssd} - m_t}{\rho_w}$$

Densiteten af et materiale, er et mål for hvor tungt det er, og har en vis sammenhæng med styrken. En tommelfingerregel er, at jo højere densitet, jo højere styrke. Tørdensiteten findes som forholdet mellem vægten af en tørret prøve og dens volumen:

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

Faststoffdensiteten er densiteten af et materiale, uden alle lufthullerne medregnet. Den er givet ved forholdet mellem vægten af den tørrede prøve, og volumen af prøven fratrukket volumen af porene:

$$\rho_f = \frac{m_t}{(V - V_p)}$$

### 6.1.3 - Puzzolan

Betegnelsen puzzolan dækker over et materiale, naturligt eller kunstigt, der i sig selv ikke har nogen bindemiddeleffekt, men blandes det med calciumhydroxid vil det danne svært opløselige produkter, som har den bindemiddeleffekt, der søges i cement.

Blandt naturlige puzzolaner kan blandt andre nævnes vulkansk aske, opalholdige skiffer og moler. Nogen materialer har ingen puzzolanegenskaber, før de bliver calcineret (brændt), mens andres puzzolan egenskab bare forbedres væsentligt ved en brænding.

Af kunstige puzzolaner har kulflyveaske været brugt længe, og det ses af Tabel 1 at dette også minder meget om naturlige puzzolaner i sin kemiske opbygning.

Bestanddel	Naturlige puzzolaner	Kulflyveaske
	Indhold - %	Indhold - %
SiO <sub>2</sub>	50 - 65	35 - 55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10- 20	20 - 30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 - 6	3 - 30
CaO	3 - 6	1 - 7
MgO	1 - 2	1 - 4
SO <sub>3</sub>	0 - 2	0 - 3
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	3 - 10	1 - 8

Tabel 1 - Kemisk sammensætning af puzzolaner og kulflyveaske i følge [Herholdt, 1985, s. 284]

### 6.1.4 – Filler effekt

Som tidligere nævnt har densiteten af en beton eller mørtel meget at skulle have sagt for styrken af denne. Det er derfor interessant at finde måder at øge densiteten på. Dette kan gøres ved at tilsætte materialer der er finkornede nok, til at have en fillereffekt. Det vil sige at partiklerne er små nok, til at gå ind og udfylde hulrum imellem cement partiklerne, og dermed skabe en tættere struktur. Filler materiale defineres som materiale med partikelstørrelse >250 µm [Aalborg, 2007, s. 49].

## 6.2 – Flyveaske

Flyveaske er et biprodukt fra kraftværker, der er at finde i røgen. Flyveaske er forskelligt fra kraftværk til kraftværk, da det er forskelligt hvad de brænder, og ved hvilke temperaturer. Der findes kraftværker der kun brænder kul, og andre fossile brændstoffer, men der er også kraftværker der kun brænder biobrændsel af forskellig art, og til sidst er der forbrændingsanlæg, der brænder affald. Derfor kan det være svært at sige noget fælles om hvad der er i flyveaske. Det kan dog siges, at indholdet af salte og tungmetaller gerne er højt, da disse sjældent brænder.

### 6.2.1 – Rensning af røg fra kraftværker

På konventionelle kraftværker, der fyrer med fossile brændstoffer, er rensningen af røgen en større affære, da denne indeholder mange stoffer der er skadelige for naturen. Først overbuser man røgen med kalk og vand. Heri bindes en stor del af tungmetallerne, så som bly, kadmium og kobber. Dette medvirker også til at neutralisere syre i form af SO<sub>4</sub>. Restproduktet er gips, men er fyldt med tungmetaller, så det kan ikke anvendes. Det bliver deponeret i udlandet, primært Norge eller Tyskland [affald.dk].

Dernæst føres røgen igennem aktivt kul, der fanger yderligere tungmetaller og dioxiner. Kullet bliver herefter brændt igen, hvorved dioxinerne bliver nedbrudt til andre, ufarlige stoffer, og tungmetallerne forsøges igen fanget i kalkvandet.

Efter dette vaskes asken i et rensningsanlæg, der igen er med til at rense syren ud af røgen. Til slut føres asken igennem et posefilter, der samler de resterende partikler til sig. Det er disse partikler der betegnes som flyveaske. Mellem 95-98 % af de miljøskadelige stoffer renses ud af røgen igennem denne proces.

### 6.2.2 – Anvendelsesmuligheder for flyveaske

Som beskrevet tidligere bliver meget aske deponeret, men en andel af asken bliver dog anvendt i produktion af forskellige ting. I betonproduktion anvendes aske nogle steder som cementerstatning, da det kan give et bedre bearbejdelighed, mindske hærdevarmen, og gøre at styrkeudviklingen går langsommere, men fortsætter længere. Ud over i beton bliver asken nyttiggjort til andre ting, så som fyldmateriale i vejbygning, og til produktion af gasbeton.

### 6.2.3 – Flyveaske fra Køge kraftvarmeværk

Flyveasken fra Køge Kraftvarmeværk, er en ren træaske, da der udelukkende bliver fyret med restprodukter fra Junckers Industrier A/S [veks.dk]. Der bliver produceret mellem 30-40 tons aske hver måned, og denne mængde forventes fordoblet, eller tre-doblet i 2015, da lasten på anlægget øges [Jørgensen, 2014]. I det at de kun fyrer med biobrændsel i Køge, der alt sammen overholder biomassebekendtgørelsen [retsinformation.dk], er der ikke nær så mange miljøskadelige stoffer i røgen. Der er derfor ikke behov for at gennemgå en nær så omfattende renseproces, som der er på røg fra forbrændingsanlæg eller kraftværker der fyrer med fossile brændstoffer.

Det eneste de gør i Køge er at opsamle asken i posefiltre. Herefter bliver den vandet, dels for at køle den, da den ellers kan ligge og ulme, og dels for at stoppe den fra at støve. Asken bliver så lagt på depot i en hal, indtil den skal bruges. Asken fra Køge nyttiggøres pt. *”ved iblanding i landbrugsegnet slam eller som tilsætnings- og tilslagsmateriale i forbindelse med biologisk rensning og/eller stabilisering af jord.”* [Jørgensen, 2014]

Asken optræder lysebrun og klumpet, og et billede af denne kan ses på Figur 1.



Figur 1 - Asken som den ser ud, direkte fra kraftværket

Klumperne skyldes at asken som tidligere nævnt er blevet vandet, efter at den er blevet taget ud af ovnen. Klumperne er relativt hårde, og de bliver kun hårdere når asken bliver tørret. Det mistænkes at denne styrke kommer fra en gips-udvikling i asken. Gips består af  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , og det ses ofte at flyveaske indeholder store mængder af både calcium og sulfat, så det er ganske sandsynligt at klumpernes hårdhed kommer derfra. Dette vil blive undersøgt yderligere senere.

## 7 - Metoder og materialer

I dette afsnit vil de forskellige forsøgsgange der bliver anvendt til at danne et nuanceret billede af asken blive beskrevet. Det vil også blive beskrevet hvordan mørtelprøverne bliver støbt og prøvet, og hvordan deres recept hver især ser ud.

### 7.1 - Askekarakteristik

Før en aske anvendes til brug i beton, er det vigtigt at have dannet et nuanceret billede af den. Dels er der nogle grænseværdier der skal overholdes, for at det overhovedet er lovligt at bruge asken i beton, dette tæller især tungmetaller. Dels er der nogle praktiske hensyn. Er askens pH-værdi f.eks. for lav, vil det retardere hærdeprocessen i betonen, da denne foregår bedst ved en høj pH.

Derfor foretages indledningsvis nogle forsøg for at blottlægge askens fysiske og kemiske sammensætning.

#### 7.1.1 - pH

Askens pH kan have meget at skulle have sagt for den endelige styrke af betonen. Under hærdeningen skal der gerne være et meget basisk miljø i betonen, for at de forskellige kemiske processer forløber optimalt. Hvis asken er meget sur, kan det gøre den fuldstændig ubrugelig i betonproduktion.

For at måle pH-værdien af asken, blandes aske med demineraliseret vand i forhold 1:2,5, placeres på rystebord i en time, og bundfælles herefter i 10 minutter, så der er en klar væskefase øverst. pH-værdien måles med et pH-meter. Øvelsesvejledningen anvendt i forbindelse med målingen af pH findes i appendix A.1.

#### 7.1.2 - Salt

Saltindholdet i en aske har meget at skulle sige for dens anvendelighed i beton. Salt i beton er et problem, da det både forårsager korrosion af armeringsjern, og alkali-kisel reaktioner. Desuden vil salt ofte være vandopløseligt, og derfor skabe ubalance i betonrecepten. Mere om dette senere.

For at vurdere saltindholdet i asken er der blevet udført flere forskellige analyser.

##### 7.1.2.1 - Ledningsevne

Ledningsevnen i en vandig opløsning, er et godt billede på, hvor stor en saltkoncentration der er i opløsningen. Derfor vil en vandig opløsning af aske og vand, give et fornuftigt billede på hvor meget salt der er i asken.

En afmålt mængde aske og vand blandes og rystes sammen, for derefter at få lov til at bundfælde til der ses en klar væskefase. Herefter måles ledningsevnen med en ledningsevnemåler.

Analysen af ledningsevnen foretages på de samme prøver som pH-analysen laves på, da de kræver de samme forhold, og ingen af dem er destruktive. Den præcise fremgangsmåde er at finde i øvelsesvejledningen i appendix A.2.

##### 7.1.2.2 - Vandopløselighed

Vandopløselighed er et mål for hvor stor en del af en aske der vil blive opløst når asken blandes med vand. Det opløste består gerne af salte af forskellig art. Når aske anvendes i

beton, er det som erstatning for andre tørstoffer, værende det sand eller cement. Er vandopløseligheden i asken høj, vil dele af asken forblive opløst i porevæsken, og tørstofindholdet i betonen vil være betydeligt mindre end beregnet. Når salte blandes med vand, opløses de til ioner. Hvilke ioner der er tale om, vil blive analyseret senere. For at måle vandopløseligheden, blandes en afmålt mængde aske med vand og omrystes. Blandingen bundfældes, hvorefter vandfasen hældes fra gennem filter, og rent vand tilsættes til asken. Dette gentages mindst 3 gange, for at sikre at alt det vandopløselige materiale er opløst. Herefter hældes al vandet og asken over filteret. Det hele tørres og vejes, og vandopløseligheden kan herefter findes ud fra vægttabet. Den præcise metode står beskrevet i forsøgsvejledningen i appendix A.3.

### 7.1.3 - Glødetab

I en aske der skal indgå i betonsammenhænge er man interesseret i så lidt organisk materiale så muligt, da det over tid vil forgå, og skabe uforudsete hulrum i betonen. Mængden af organisk materiale kan måles ved at brænde asken af ved høj varme, da det organiske materiale vil brænde og forsvinde op i røg. Til denne analyse brændes en nøje afmålt mængde aske af ved 550° C, og vægtforskellen noteres. En nærmere beskrivelse af metoden er at finde i forsøgsvejledningen i appendix A.4.

### 7.1.4 - Vandindhold

Når man regner styrken for en beton, er en af de vigtige parametre V/C-forholdet. Det er med andre ord afgørende for, om man kan stole på styrkeberegninger, at det vides præcist hvor meget vand der er tilsat. Derfor er det vigtigt at kende vandindholdet af en aske, så der kan korrigeres for det i vandtilsætningen. For at måle vandindholdet af en aske, sættes en afmålt mængde aske i en ovn ved 105° C i et døgn, og vægttabet tilskrives fordampningen af vandet. Den præcise forsøgsbeskrivelse for at finde vandindhold er i appendix A.5.

### 7.1.5 - Grundstofanalyse (oplukning)

For at få et klart billede af, hvilke tungmetaller der er i asken, bliver der foretaget en såkaldt oplukning. Dette er en analysemetode, hvor man ved hjælp af stærk syre, kan finde hvilke syreopløselige metaller der er i asken. En afmålt mængde aske og salpetersyre blandes i et dertil indrettet glas, og placeres i en trykkoger, også kendt som en autoklave. Autoklaven hjælper med at accelerere opløsningen af metallerne, og prøverne skal derfor kun stå i autoklaven i en halv time. Derefter filtreres indholdet, blandes med en afmålt mængde vand, og analyseres på et atomabsorptionsspektrofotometer, også kendt som et AAS. Dette virker ved at analysere på de bølglængder af lys der bliver absorberet og reflekteret af prøven, og kan derved give et billede af hvilke metaller der er blevet opløst af syren. Øvelsesbeskrivelsen for denne analyse findes i appendix A.6.

### 7.1.6 – Vandopløselige an- og kationer

Det er ikke nok, kun at analysere hvilke stoffer der er i asken, som kan opløses af syre. Det er også vigtigt at vide hvilke stoffer der kan opløses af vand, da disse stoffer vil blive opløst hvis asken anvendes i beton.

For at lave analysen, blandes aske og vand i afmålte forhold, og stilles på rystebord i et døgn, for at sikre at alt hvad der kan opløses af vandet, er opløst. Herefter filtreres prøven, med et sprøjtefilter, og igen laves der en AAS-analyse. Den nærmere beskrivelse af metoden brugt i dette forsøg, er at finde i appendix A.7.

### 7.1.7 - Kornkurve

Det har en vis interesse at se hvilken kornstørrelse asken har, da det kan sige meget om hvordan den vil reagere i en mørtelblanding. Der er derfor blevet udført en analyse af partikelstørrelsen på et laserdiffraktometer. Dette kan analysere kornstørrelsen på materialer både i tør og våd tilstand, ved hjælp af den måde laserlys der bliver lyst på asken, bliver kastet tilbage.

### 7.2 - Vasket aske

Under analyserne af asken, blev det klart at den havde en meget høj vandopløselighed, og at dette kunne få noget at skulle have sagt for dens virkningsgrad i beton. Det blev derfor besluttet at vaske en portion af asken, og arbejde med den sideløbende. Da vasken vil have noget at skulle have sagt for askens kemiske sammensætning, blev en del af analyserne udført igen på den vaskede aske. Det drejer sig om pH, ledningsevne, glødetab og grundstofanalyse.

Desuden er der blevet støbt mørtelprøve, både med uvasket og vasket aske. Mere om dette i næste afsnit.

### 7.3 - Mørtelprøver

For at danne et billede af hvordan en aske vil reagere i en beton, kan forsøg i mindre skala med aske i mørtel give en god indikation på hvad der sker. I denne rapport er der kun arbejdet med mørtelprøver.

#### 7.3.1 - Støbeprocess

Støbningen af mørtelprøverne er lavet efter recepten angivet i standarden [DS/EN196-1, 2005, s. 18]. For at udrydde så mange fejlkilder så muligt, er blandeprocessen præcist tilrettelagt og timet, for på den måde at sikre at det bliver så ens så mulig fra gang til gang. I det cement og vand blandes, startes der en timer, og det er dette tidspunkt der tages udgangspunkt i, når en prøves modenhed beskrives, da hærdeprocessen starter så snart cement og vand mødes. Når der støbes med askeerstatning af enten cement eller sand, blandes cementen og asken før vandet tilsættes, for at sikre en jævn iblanding af asken. Blandingen forgår i en mørtelblander, der mest af alt minder om en køkkenrøremaskine, og sammenblandingen af aske, cement, sand og vand foregår som beskrevet i Tabel 2.

Tid	Handling
-	Aske og cement blandes
0 s	Vand og aske/cement blandes, tid startes, maskine kører på lav hastighed
30 – 60 s	Sand iblandes
60 – 90 s	Mørtel blandes på høj hastighed
90 – 120 s	Maskine slukkes, kanter og bund af skålen skræbes med dejskraber
120-180 s	Mørtel hviler, og samler sig
180 – 240 s	Mørtel blandes på høj hastighed

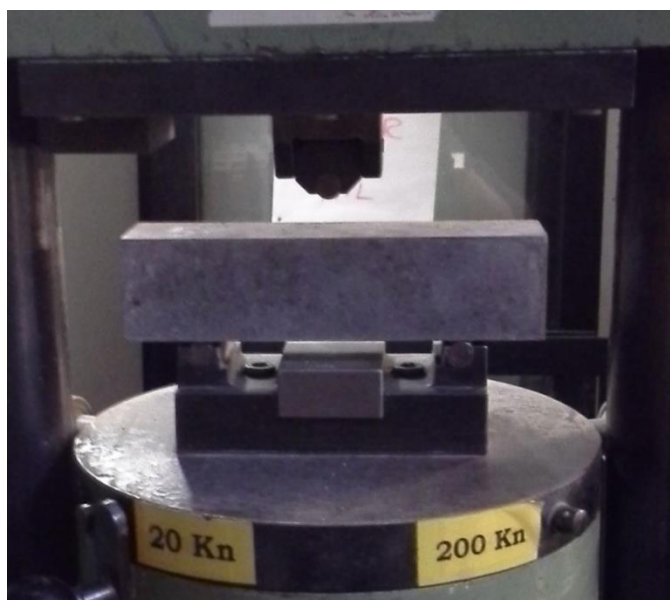
Tabel 2 - Handlingsforløb ved mørtelblanding efter DS/EN 196-1



Efter at mørtlen er blandet, skal den støbes. Dette forgår i en stålform hvori der er plads til at støbe tre prismer på 40\*40\*160 mm. Der laves altså tre prøver af hver blanding. Formene fyldes halvt op, og vibreres på et vibrationsbord, i 30 sekunder ved 45 hertz. Derefter fyldes den helt, og vibreres igen i 30 sekunder ved 45 hertz. Under den anden vibration, afrettes toppen med en messing stav, for på den måde at danne en jævn overflade. Når prøven er vibreret og afrettet, overdækkes den med plastik, for at undgå udtørring. Efter et sted mellem 20 og 24 timer afformes prøven, og modnes i vand til den skal prøves.

### 7.3.2 – Styrkeprøvning

Efter at prøverne har nået den ønskede modenhed, skal deres styrke måles. Til måling af trykstyrken på mørtelprøverne, anvendes en mørtelprøvningsmaskine. Maskinen laster op ved hjælp af olietryk, og kan indstilles forskelligt, alt efter om der ønskes at måle trækstyrke, i form af bøjetræk, eller trykstyrke. Som det ses på Figur 2, er der øverst to forskellige trykhoveder, alt efter om der ønskes et trepunktstryk, til at bestemme bøjetrækket, eller et fladt tryk, til at bestemme trykstyrken.



Figur 2 - Mørtelprøvningsmaskine, sat op til måling af bøjetræk

Først måles bøjetrækket. Når det er gjort, er alle prøverne blevet knækket midt over, og man har altså 6 prøver fra hver støbning at trykke på. Med så mange prøver, er det dels muligt, at lægge nogen til side til bestemmelse af porøsitet og densitet, og det er dels muligt at få data nok, til at eventuelle fejl ikke er kritisk for hele støbningen.

Maskinen giver en trykstyrke i kN, og med en faktor ganget på, men da en trykstyrke ønskes i MPa, anvendes formelen for MPa:

$$MPa = \frac{kN * 1000}{mm^2}$$

Faktoren er forskellig alt efter om der laves bøjetræk eller tryk forsøg på maskinen, men for tryk er den 0,1.

Arealet der bliver trykket på, er på den ene led defineret af maskinen, og er 40 mm, og på den anden led er det defineret af prøvens højde. Denne skulle gerne være præcis 40 mm, men afhænger af præcisionen af støbningen. Derfor bliver alle prøver målt tre gange inden prøvning, og en gennemsnitshøjde regnes.

Standarten angiver, at hvis en enkelt måling falder mere en 10 % ved siden af gennemsnitsværdien, for samtlige prøver, skal denne tages fra, og et nyt gennemsnit skal regnes. Det vil kun blive angivet hvis dette har været nødvendigt.

Der er i denne rapport udelukkende blevet analyseret på trykstyrkerne, men da det er nødvendigt at bruge bøjetræksindstillingerne på maskinen for at knække prøverne, er disse også blevet noteret og udregnet.

### **7.3.3 – Porøsitet og densitet**

Som tidligere nævnt er både porøsiteten og densiteten vigtige faktorer i en beton. Til måling af disse udtages to ud af de seks halve prøver, der kommer efter de er blevet knækket i mørtelprøvemaskinen. Disse er udvalgt, således at der ikke er to halve fra den samme prøve, i tilfælde af, at der er fejl i den. Med to prøver er det ikke til at sige hvilken der er rigtig, hvis der kommer to forskellige resultater, men der kommer dog en advarsel om at der er noget galt, som ikke ville komme hvis der kun blev målt på en prøve.

For at porøsiteten og densiteten kan måles, skal prøverne vejes i helt tør tilstand, og de bliver derfor tørret i en ovn ved 50° C. Det er vigtigt at de ikke tørres ved for høj varme, da det kan accelerere hærdeprocessen, og dermed give forskubbet data. Udviklingen af vægten overvåges, så det er sikkert at de er blevet stabile, men erfaringsmæssigt tager det omkring tre uger.

Efter de tre uger vejes prøverne i tørret tilstand, og placeres herefter i en eksikkator. Denne evakueres for luft i tre timer hvorefter der ledes demineraliseret vand ind, til det dækker prøverne. Herefter står eksikkatoren fortsat i undertryk i en time, hvor efter trykket udlignes til atmosfærisk. Prøverne står på denne måde natten over. På denne måde er det sikkert, at vandet kommer helt ind i alle porerne. Herefter vejes prøverne dels uden vand, og dels i vakuumvandmættet overfladetør tilstand, også kendt som ssd-tilstand. Med disse data kan porøsiteten og densiteten bestemmes ud fra de tidligere beskrevne formler. En mere udførlig øvelsesbeskrivelse kan findes i appendix A.8.

### **7.3.4 – Mørtelprøver med uvasket aske**

Indledningsvis er der støbt prøver hvor en procentdel af massen af enten cement eller sand er erstattet med asken som den er når den kommer direkte fra kraftværket. Asken medregnes, når der regnet et V/C-forhold, men formlen nævnt tidligere kan ikke anvendes, da det ikke er sikkert at vandbehovet for denne aske, er det samme som for en kulflyveaske. Askevægten er derfor regnet med samme vægtning som cementvægten, hvilket vil sige at vandbehovet i mørtelprøverne med cementerstatning er det samme, mens det vil variere i for dem med sanderstatning. Vandindholdet er korrigeret så der

altid støbes med V/C-forhold på 0,5, for på den måde at gøre det nemmere at sammenligne prøverne internt. Der er desuden støbt reference prøver, uden noget aske indblandet. Alle recepterne tager udgangspunkt i DS/EN 196-1, og referencen følger den præcist. Recepterne for de støbte prøver ses i Tabel 3.

Navn	Aske indhold	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]
Ref.	-	450	1350	-	225
5C	5 % af cementvægt	427,5	1350	22,5	225
10C	10 % af cementvægt	405	1350	45	225
10S	10 % af sandvægt	450	1215	135	292,5

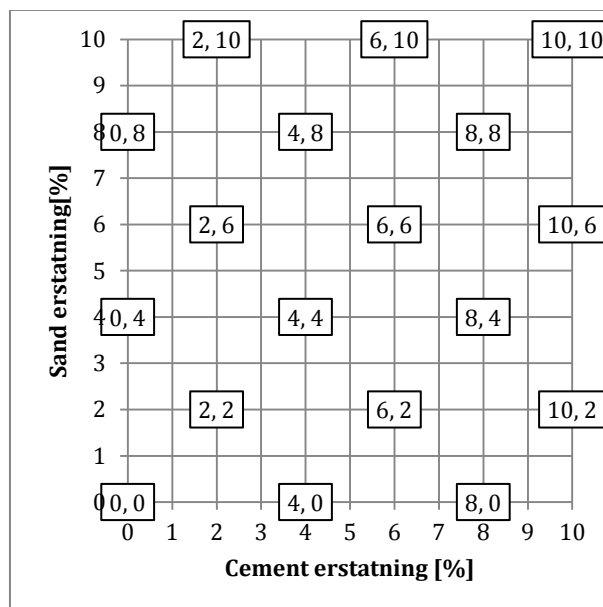
Tabel 3 - Recept for mørtelprøver iblandet uvasket aske

På dette tidspunkt er vandindholdet i asken allerede fundet til at være meget højt, så der er i recepten for mørtlen taget højde for denne i vandtilsætningen. Dette er ikke skrevet ind i Tabel 3, men er at finde i appendix B.1. Da der er blevet støbt på flere forskellige dage, og vandindholdet i asken varierede grundet udtørring er to forskellige vandindhold anvendt. Alle disse fire blandinger er støbt i tre eksemplarer, så der kan måles 7, 14 og 28 dages styrker på dem.

### 7.3.5 – Mørtelprøver med vasket aske, første omgang

Der blev fundet under askekaraktistikken at vandopløseligheden var meget høj, og der blev derfor vurderet at det kunne have interesse at lave yderligere mørtelprøver med vasket aske for at se om det havde indvirkning på styrken.

Samtidig blev det vurderet interessant at se hvordan styrken på mørtlen reagerede hvis der blev foretaget en samtidig cement- og en sanderstatning. Der blev derfor lavet en række mørtelblandinger hvor både cement og sand blev erstattet. Blandingerne går fra 0 % - 10 % af både cement og sand, og er spredt jævnt ud, for på den måde at danne et så kaldt landskab. Et diagram over støbningerne kan ses på Figur 3, og recepterne samt navnene for de forskellige støbninger kan ses i Tabel 4.



Figur 3 - Diagram over første omgang støbninger med vasket aske

Det ses at de forskellige støbninger er spredt jævnt ud over cement- og sanderstatning mellem 0 % - 10 %. På denne måde formodes det, at en tendens vil blive synlig. Referanceprøven bliver støbt igen her; dels for at sikre ensartethed i støbningen af prøverne, og dels for at have en prøve til lave porøsitet og densitets målinger på.

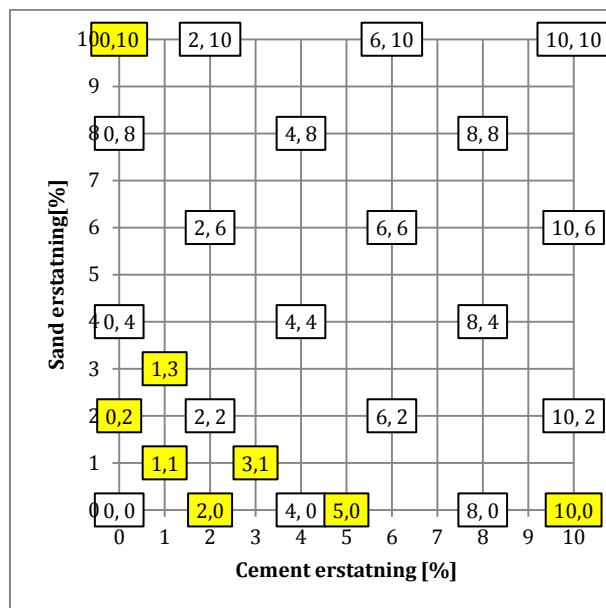
Navn	Aske indhold [masse- % erstatning]	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]
C0,S0 (ref.)	0 % cement, 0 % sand	450	1350	0	225
C0,S4	0 % cement, 4 % sand	450	1296	54	252
C4,S0	4 % cement, 0 % sand	432	1350	18	225
C2,S2	2 % cement, 2 % sand	441	1323	36	238,5
C0,S8	0 % cement, 8 % sand	450	1242	108	279
C8,S0	8 % cement, 0 % sand	414	1350	36	225
C6,S2	6 % cement, 2 % sand	423	1323	54	238,5
C2,S6	2 % cement, 6 % sand	441	1269	90	265,5
C4,S4	4 % cement, 4 % sand	432	1296	72	252
C10,S2	10 % cement, 2 % sand	405	1323	72	238,5
C2,S10	2 % cement, 10 % sand	441	1215	144	292,5
C8,S4	8 % cement, 4 % sand	414	1296	90	252
C4,S8	4 % cement, 8 % sand	432	1242	126	279
C6,S6	6 % cement, 6 % sand	423	1269	108	265,5
C10,S6	10 % cement, 6 % sand	405	1269	126	265,5
C6,S10	6 % cement, 10 % sand	423	1215	162	292,5
C8,S8	8 % cement, 8 % sand	414	1242	144	279
C10,S10	10 % cement, 10 % sand	405	1215	180	292,5

**Tabel 4 - Recepter for første omgang støbninger med vasket aske**

Disse mørtelprøver er kun lavet som 7-dages styrker. Et mere udførligt støbeskema for disse er at finde i appendix B.2.

### 7.3.6 - Mørtelprøver med vasket aske, anden omgang

Efter at første omgang af støbninger med vasket aske er blevet støbt og prøvet, er der stadig tid i projektperioden til at lave en omgang mere. I denne er blandingerne lagt omkring der hvor styrkerne er højest, for at danne et mere nuanceret billede af styrkeudviklingen i det område. Der er samtidig blevet støbt tre sæt, magen til dem der blev lavet med uvasket aske, for på den måde at kunne vurdere hvad vasken har gjort for styrken. På Figur 4 ses de nye støbninger indtegnet med gul ved siden af dem fra første omgang, og recepterne på de nye støbninger kan ses i Tabel 5.



Figur 4 - Diagram over anden omgang støbninger med vasket aske

Navn	Aske indhold [masse- % erstatning]	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]
C5,S0	5 % cement, 0 % aske	427,5	1350	22,5	225
C10,S0	10 % cement, 0 % aske	405	1350	45	225
C0,S10	0 % cement, 10 % aske	450	1215	135	292,5
C2,S0	2 % cement, 0 % aske	441	1350	9	225
C0,S2	0 % cement, 2 % aske	450	1323	27	238,5
C1,S1	1 % cement, 1 % aske	445,5	1336,5	18	231,75
C3,S1	3 % cement, 1 % aske	436,5	1336,5	27	231,75
C1,S3	1 % cement, 3 % aske	445,5	1309,5	45	245,25

Tabel 5 - Recepter for anden omgang støbninger med vasket aske

Ligesom med den første omgang, er disse også kun udført som 7-dages styrker. Et mere udførligt støbeskema kan findes i appendix B.2.

I resultatafsnittet vil prøverne fra første og anden omgang støbninger med vasket aske blive behandlet sammen.

## 8 - Resultater og Diskussion

I det følgende afsnit vil resultaterne af alle analyserne blive præsenteret, analyseret og diskuteret.

### 8.1 – Askekarakteristik

I Tabel 6 ses resultaterne af nogle af forsøgene beskrevet ovenfor, til at afdække askekarakteristikken. Alle forsøgene, med undtagelse af de markerede, er resultatet af tre parallelle prøver, hvoraf der er regnet gennemsnit og standart afvigelse. Det ses også af tabellen, i hvilket appendix udregningerne ligger.

Analyse	Enhed	Uvasket aske	Vasket aske	Appendix
Vandopløselighed	%	24,2 <sup>1</sup>	-	C.1
Vandindhold	%	15,23±1,23	-	
pH	-	12,86±0	12,445±0,005 <sup>2</sup>	
Ledningsevne	<i>mS/cm</i>	79,33±0,72	9,655±0,21 <sup>3</sup>	
Glødetab	%	2,86±0,04	5,82±0,14	

Tabel 6 - Karakteristik for uvasket og vasket aske

Vandopløseligheden er fundet til lige knap en fjerdedel. Dette er meget højt, og det er denne vandopløselighed der ligger til grund for ideen om at vaske asken, for at se hvilken forskel det vil gøre.

Vandindholdet af asken ligger på 15,23±1,23 % for den uvaskede aske. Dette skyldes, som tidligere nævnt, at de fra kraftværkets side vander asken, for at køle den og stoppe den fra at støve. Dette er ikke som sådan et problem, det er bare vigtigt at være opmærksom på det. I støbningerne med den uvaskede aske, er vandindholdet blevet som nævnt medregnet når der tilsættes vand, og i analyser hvor det kan gøre en forskel, er der blevet brugt tørret aske. Dette gælder dog ikke for kornkurve analysen. Her blev det erfaret at de klumper asken havde dannet som følge af vandingen, blev hårde og forblev sammen efter at asken blev tørret. Var analysen blevet lavet på tørret aske, havde den vist kunstigt store kornstørrelser. Her blev analysen derfor udført på våd aske, blandet op i vandig opløsning. Vandindholdet for den vaskede aske, er ikke blevet målt, men forventes at være ~ 0 %, da asken er blevet tørret i ovn efter vasken.

pH-værdierne både før og efter vask, er meget høje, hvilket tegner godt for askens anvendelse i beton. De ligger lidt lavere en ren cementpasta, som har en pH på 13 [Aalborg, 2007, s. 149], men ikke lavt nok til at det vurderes at det har en indvirkning på hærdeprocessen.

Ledningsevnen for den uvaskede aske ligger meget højt, og dette skal nok ses i sammenhæng med vandopløseligheden der også ligger meget højt. Begge er et udtryk for at koncentrationen af vandopløselige salte er høj i asken. Dette bakkes op ad, hvor meget

<sup>1</sup> Analyse er kun udført en gang. Dette skal ses mere som en guideline, end som et resultat, da usikkerheden på analysen er betragtelig.

<sup>2</sup> Der var lavet tre prøver, som var blevet rystet, og bundfældet, men den ene blev spildt. Da resultatet på de to andre lå tæt, blev det vurderet at det ikke var nødvendigt at gentage forsøget.

<sup>3</sup> Samme prøver og ræsonnement som for pH-værdien.

ledningsevnen falder efter asken er blevet vasket. Det blev vurderet, at det ville være trivielt at måle vandopløseligheden af den vaskede aske, da alt det vandopløselige materiale gerne skulle være vasket ud under vaskeprocessen.

Glødetabet for den uvaskede aske ligger på  $2,86 \pm 0,04$  %. Det ses ud fra Tabel 7 at dette placere asken i den bedste anvendelseskategori.

Kategori	Maksimalt glødetab [%]
A	5,0
B	7,0
C	9,0

Tabel 7 - Kategorier for glødetab i aske, i følge DS/EN 450-1

Når asken bliver vasket, bør glødetabet ikke kunne stige mere, end hvad vandopløseligheden tillader, hvilket er

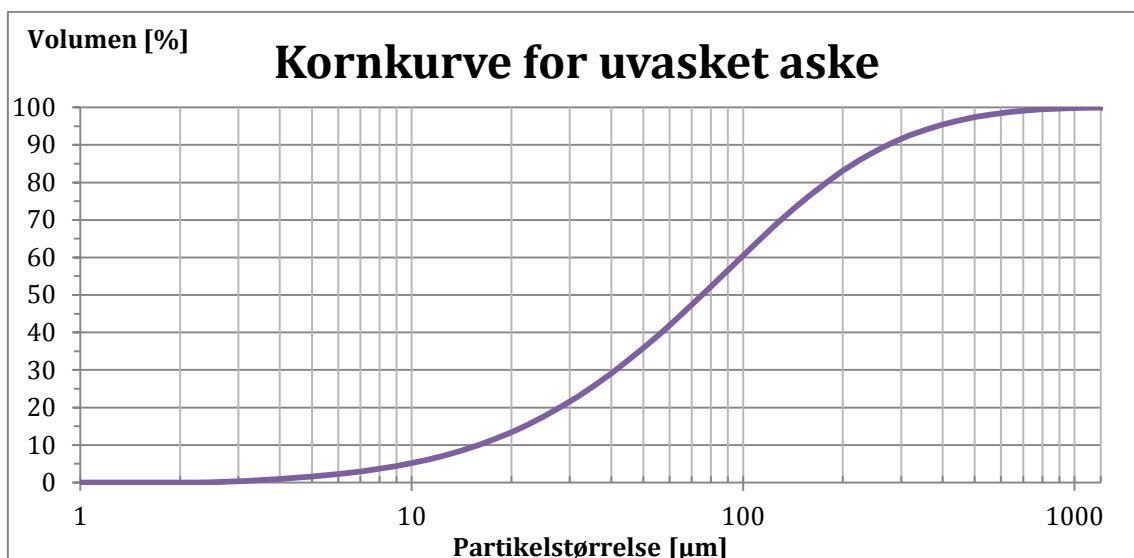
$$\begin{aligned}
 \text{Glødetab}_{\text{vasket}} &= \frac{\text{Glødetab}_{\text{uvasket}}}{(100 - \text{Vandopløselighed})} * 100 = \frac{2,86}{(100 - 24,24)} * 100 \\
 &= 3,78 \pm 0,04 \%
 \end{aligned}$$

Det stiger imidlertid helt op til  $5,82 \pm 0,14$  %, og falder dermed over i kategori B. Det vurderes, at dette skyldes vaskeprocessen. Det er blevet observeret, at nogle af de mindre af partiklerne i asken, sætter sig fast i fibre i filteret, og dermed ikke kommer med i asken efter vask. Det betyder, at sammensætningen af asken vil ændre sig. Det ses samtidig ved vasken af asken, at filteret, efter at have været i ovnen ved  $105$  °C i et døgn, bliver meget sprødt, og har en tendens til at smuldre. Der er derfor en risiko for at der er filterstykker med i den aske der er blevet brændt af i glødetabsanalysen, og dette vil kunne forskubbe resultatet en del.

Det vurderes at disse to faktorer, er skyld i det forhøjede glødetab.

### 8.1.1 - Kornkurve

Der er kun blevet lavet en kornkurve for den uvaskede aske. Kurven på Figur 5 er et gennemsnit af de tre målinger der blev lavet.



Figur 5 - Akkumuleret kornkurve for uvasket aske, målt i  $\mu\text{m}$

Det ses at hovedparten af volumen af asken består af partikler med en størrelse omkring de 40 til 100  $\mu\text{m}$ . Dataoutputtet som denne graf er tegnet ud fra, er ikke medtaget her, men kan ses i appendix C.3. Her ses det, at et sted mellem 86-88 % af volumen af asken er under 250  $\mu\text{m}$ , og altså kan anses som fillermateriale. Det vil sige, at selv hvis asken ikke vises sig at have nogen særlige puzzolanegenskaber, vil den muligvis stadig kunne anvendes som filler i beton.

### 8.1.2 - Vandopløselige an- og kationer

Resultatet for analysen af de vandopløselige anioner ses i Tabel 8.

	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
Koncentration[mg/kg]	32712,4±4823,39	290,0±20,31	54507,00±2741,43
Molarmasse [g/mol]	35,45	62,00	136,14
Molkoncentration[mol/kg]	0,923±0,136	0,005±0	0,400±0,02
%-del af prøven [%]	3,271±0,482	0,029±0,002	5,451±0,274

Tabel 8 - Resultater af analyse af vandopløselige anioner. Udregninger kan findes i appendix C.4

Der er i en standart [DS/EN 206-1, 2002, tabel 10] forskellige chloridklasser alt efter hvor betonen skal anvendes. Den strengeste af disse hedder Cl 0,10, og definere at ikke mere end 0,1 % af bindemiddelmassen må være chlorid. Med en chlorid koncentration på  $3,271\pm 0,482$  %, i den uvaskede aske, betyder det at ikke mere end 3,05 % af cementen må erstattes med aske, og ikke mere end 1,02 % af sandet må erstattes. Med den chloridkoncentration der er i asken før vask, er det hermed svært begrænset hvor meget aske man kan bruge i beton, hvis denne skal kunne bruges alle steder.

Dansk Standard [DS/EN 450-1, 2012, s.9] opstiller også nogle grænseværdier både for koncentrationen sulfat og chlorid i flyveaske, til brug i beton. Der må ifølge standarden ikke være mere end 0,10 % chlorid i en flyveaske, der skal anvendes i betonsammenhænge. Det ses at der i den pågældende aske er over 3 %, og dermed meget mere end tilladt. Det samme gælder for sulfat, der må ifølge standarden ikke være mere



end 3,0 % og der er over 5 %. Med hensyn til nitrat, er der ikke fundet nogle grænseværdier for det, men koncentrationen er også utroligt lav, og vil efter al sandsynlighed ikke have noget effekt. Denne analyse tager kun højde for den andel af anionerne der er vandopløselige, og der kan dermed godt være en endnu højere koncentration, end den her målte.

Der er i denne opgave ikke blevet analyseret på vandopløselige anioner i den vaskede aske, men det forventes også, at hvis asken bliver vasket grundigt nok, vil alle disse blive vasket ud.

Resultaterne for vandopløselige kationer ses i Tabel 9. Det skal bemærkes at der også blev målt på magnesium, men der var intet til stede i prøven, og der er derfor ikke medtaget her. Det skal også bemærkes at for calcium og kalium er der kun to datapunkter, da der gik noget galt under analysen.

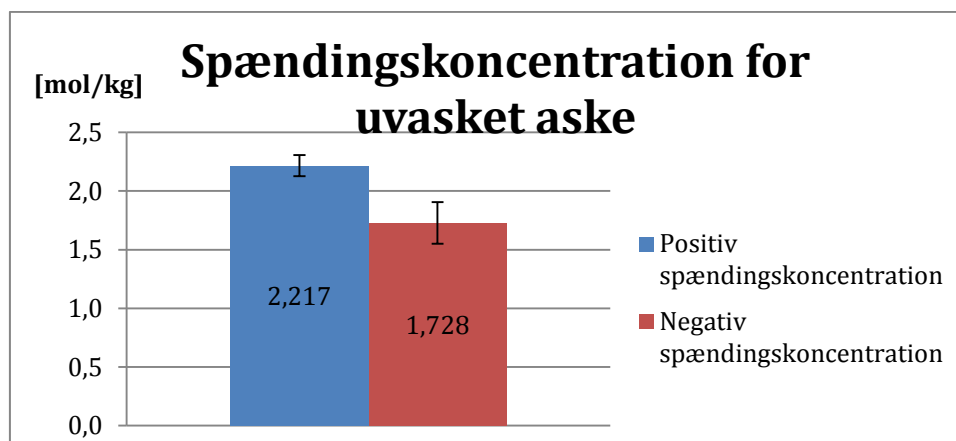
	Ca	K	Na
Koncentration[mg/kg]	2239,67±155,51	61066,50±844,00	12488,43±1400,17
Molarmasse [g/mol]	40,08	39,10	22,99
Molkoncentration[mol/kg]	0,056±0,004	1,562±0,022	0,543±0,061
%-del af prøven [%]	0,224±0,016	6,107±0,084	1,249±0,14

Tabel 9 - Resultater af analyse af vandopløselige kationer. Udregninger kan findes i appendix C.4.

Dansk standart [DS/EN 450-1, 2012, s.9] har også her en grænseværdi der er relevant. Denne gang for den totale mængde af alkalier, som ikke må overstige 5,0 % af massen i en aske der skal anvendes i beton. Blandt de vandopløselige kationer er både kalium og natrium alkalier og det ses at de tilsammen udgøre over 7 %. Ligesom med anionerne forventes dette ikke at være et problem med den vaskede aske, men ligesom med anioner er der her ikke sagt noget om ikke-vandopløselige alkalier.

Det ses, at den samlede masseprocent de målte vandopløselige anioner og kationer udgør af asken, er 16,33±0,998 %. Men i vandopløselighedsanalysen blev det fundet at op mod 24 % af asken er vandopløselig. Denne skal kun anses som vejledende, da der er mange fejlkilder i måden den er målt på, men der er dog stadig langt imellem de to værdier.

Anioner og kationer kommer fra opløsningen af vandopløselige salte, og dermed bør "spændingskoncentrationen" af de to stemme overnes, altså at mængden af ladning fra de positive ioner bør være lige mængden af ladning fra de negative ioner. Det ses at calcium-ioner er to gange positiv, sulfat er to gange negativ, og de resterende er enkeltladede. Med dette kan vi regne en "spændingskoncentration" for både positive og negative ioner. Denne ses på Figur 6.



Figur 6 - Spændingskoncentration for uvasket aske, angivet i [mol/kg]

Det ses, at selv med fejlen indregnet er der for få negative anioner i forhold til kationer. Disse to skulle gerne stemme overens. Det skal dog bemærkes at ikke alle ioner er blevet målt, kun dem der erfaringsmæssigt er flest af. Det anses derfor ikke som et problem at de to spændingskoncentrationer ikke stemmer helt overens, men gør det dog klart at der ikke er et fuldt overblik over de vandopløselige ioner i asken. Dette forklarer også hvorfor der er så langt imellem massen på de vandopløselige ioner og den målte vandopløselighed. Den manglende masse tilskrives altså de ioner der ikke er blevet målt koncentrationer af.

### 8.1.3 - Grundstofanalyse (Oplukning)

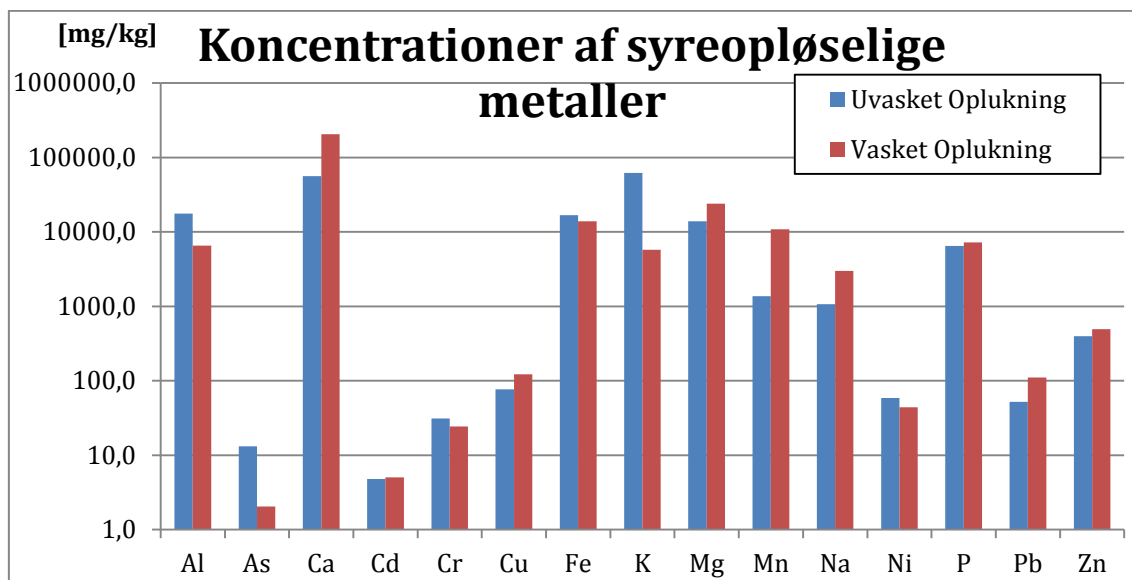
Der er blevet foretaget en grundstofanalyse af asken, både før og efter vask. Denne resulterer i en koncentration af alle de syreopløselige metaller der er i asken. Disse ses i Tabel 10.

Element	Fulde navn	Uvasket aske		Vasket aske	
		Koncentration [mg/kg]	Procentdel af hele prøven [%]	Koncentration [mg/kg]	Procentdel af hele prøven [%]
Al	Aluminium	17.590,5±373,28	1,76±0,04	6.528,3±114,17	0,65±0,01
As	Arsen	13,1±0,83	0,00	2,0±0,34	0
Ca	Calcium	56.298,6±2103,45	5,63±0,21	204.673,0±6903,57	20,47±0,69
Cd	Cadmium	4,8±0,12	0,00	5,0±0,13	0
Cr	Krom	31,3±0,80	0,00	24,3±0,28	0
Cu	Kobber	76,4±1,45	0,01±0	122,3±2,83	0,01±0
Fe	Jern	16.737,8±829,71	1,67±0,08	13.876,0±196,16	1,39±0,02
K	Kalium	61.685,9±3051,82	6,17±0,31	5.734,4±25,69	0,57±0
Mg	Magnesium	13.820,1±432,99	1,38±0,04	23.931,9±385,21	2,39±0,04
Mn	Mangan	1364,7±41,96	0,14±0	10.819,4±447,31	1,08±0,04
Na	Natrium	1066,1±19,55	0,11±0	2.981,8±38,68	0,30±0
Ni	Nikkel	58,7±2,17	0,01±0	44,2±0,59	0
P	Fosfor	6502,5±177	0,65±0,02	7.200,6±135,12	0,72±0,01
Pb	Bly	51,9±0,94	0,01±0	110,3±2,83	0,01±0
Zn	Zink	397,8±11,03	0,04±0	492,8±8,95	0,05±0

Tabel 10 - Koncentration af syreopløselige metaller i asken

Igen er det relevant at kigge på alkalikoncentrationen, som ikke må overstige 5,0 %. Igen ses det at koncentrationen af kalcium oversiger denne grænse alene i asken der ikke er blevet vasket. Til gengæld ses det også at efter vask er den samlede koncentration af alkalier komme ned under 1 %, som det også blev forventet.

For bedre at kunne sammenligne værdierne før og efter vask, er de vist op mod hinanden på Figur 7.



Figur 7 - Koncentration af syreopløselige metaller i hhv. uvasket og vasket aske. Alle koncentrationer i [mg/kg]

Det ses at koncentrationen af de syreopløselige metaller både stiger og falder efter vask. De der falder i koncentration som f.eks. kalcium skyldes at de er del af det vandopløselige materiale i asken. Der hvor koncentrationen stiger efter vasken, som f.eks. calcium skyldes det at mængden af andet materiale bliver reduceret, og dermed bliver andelen af calcium tilsvarende større.

I denne sammenhæng er det også interessant med koncentrationen af de metaller der er angivet en grænseværdi for. Der er beskrevet grænseværdier flere steder; de to der er taget med her, ses i henholdsvis Tabel 11 og Tabel 12.

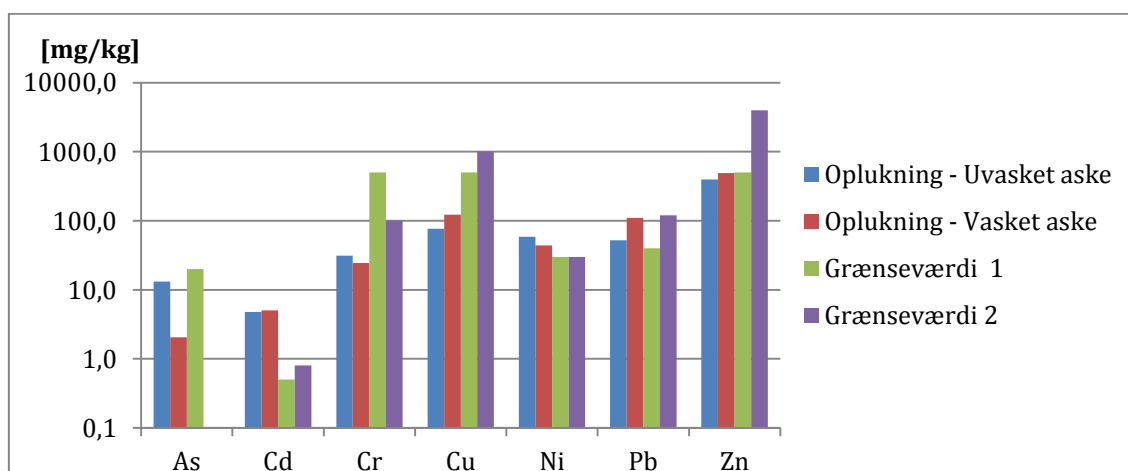
Element	Fulde navn	Kategori 1 [mg/kg]	Kategori 2 [mg/kg]	Kategori 3 [mg/kg]
As	Arsen	0 - 20	> 20	> 20
Pb	Bly	0 - 40	> 40	> 40
Cd	Cadmium	0 - 0,5	> 0,5	> 0,5
Cr	Krom	0 - 500	> 500	> 500
Cu	Kobber	0 - 500	> 500	> 500
Hg	Kviksølv	0 - 1	> 1	> 1
Ni	Nikkel	0 - 30	> 30	> 30
Zn	Zink	0 - 500	> 500	> 500

Tabel 11 - Anvendelseskategorier [Anvendelse af restprodukter]

Element	Fulde navn	Grænseværdi [mg/kg]
Cd	Cadmium	0,8
Hg	Kviksølv	0,8
Pb	Bly	120
Ni	Nikkel	30
Cr	Krom	100
Zn	Zink	4000
Cu	Kobber	1000

Tabel 12 - Grænseværdier [Slambekendgørelsen]

For at danne bedre overblik, er de aktuelle værdier for oplukningerne, og grænseværdierne stillet op mod hinanden på Figur 8, hvor Grænseværdier 1 referere til kategori 1 i Tabel 11 og Grænseværdier 2 referere til Tabel 12.



Figur 8 - Opluknings koncentrationer og grænseværdier

Det ses at mange af grænseværdierne bliver overholdt. Der er dog både før og efter vask for meget cadmium og nikkel i forhold til begge grænseværdier, og for meget bly i forhold til Slambekendgørelsen. Hvis asken skal anvendes i betønsammenhænge, vil det være nødvendigt at rense den for disse på anden vis, end ved at vaske den.

## 8.2 - Mørtelprøver

Her følger analyse af de mørtelprøver der er blevet støbt med asken. Når det kommer til de mørtelprøverne med vasket aske, vil det være svært at danne et overblik ved brug af en almindelig graf, grundet den måde recepterne er fordelt. Der bliver derfor anvendt såkaldte landskaber. Her er værdierne for mørtelprøverne plottet ind relativt til deres indhold af aske, hvor cementerstatning er x-aksen, og sanderstatning er y-aksen. En prøve med 4 % cementerstatning, og 2 % sanderstatning, vil altså være at finde i koordinat 4,2 og vil for blive omtalt som C4,S2.

Farven på cellen er varieret alt efter hvor værdien ligger, relativt til de andre værdier i plottet. Alt efter om en høj eller lav værdi er at foretrække, for den pågældende undersøgelse, skifter det om høje værdier er røde eller grønne. Det vil være angivet ved hvert landskab, hvordan farven variere.

### 8.2.1 – Trykstyrker for mørtelprøver med uvasket aske

De første støbninger blev lavet med en uvasket aske, efter recepterne i Tabel 3. Som det ses på Figur 9, var der på nogle af prøverne udkrystalliserede salte på overfladen. Dette sås især på de prøver med høj askekoncentration og lang hærdetid.



Figur 9 - Billede af udkrystalliseret salt, på overflade af mørtelprøve

Dette underbygger yderligere resultaterne fra analyserne af de vandopløselige an- og kationer og vandopløseligheden, hvor det blev fundet at der var en meget høj koncentration af salte i asken. Det viser også med al tydelighed hvorfor det blandt andet er et problem med salt i asken, da de salte der ses uden på prøven, er faststof der mangler inde i prøven.

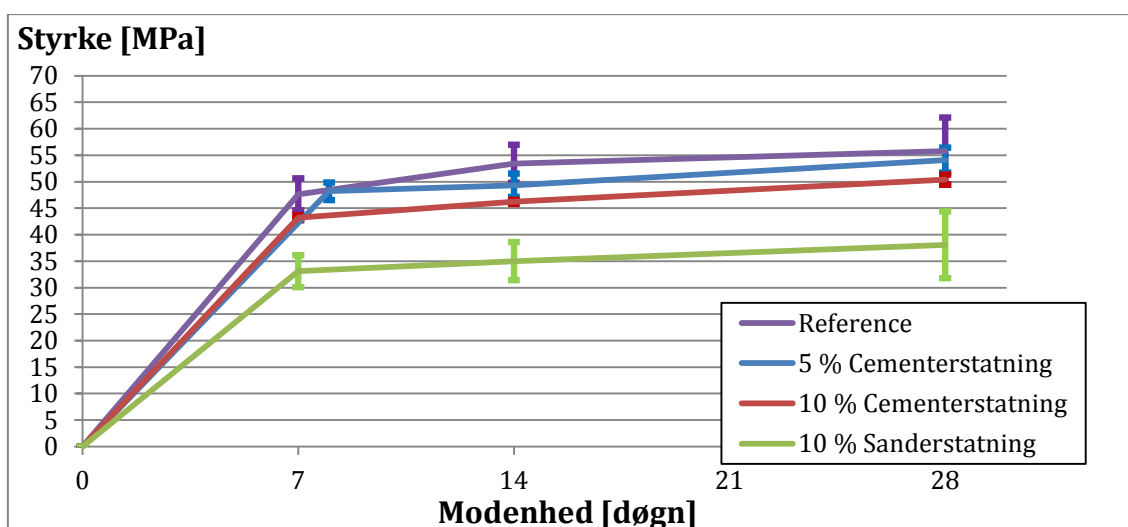
7-dages prøven med 5 % cementerstatning blev ved en fejl først trykprøvet efter 8 dage. Dette gør prøverne lidt sværere at sammenligne internt, men til et totalbillede af hærdeforløbet som det der er indtegnet på Figur 10, gør det ikke noget forskel, så længe datapunktet er indtegnet rigtigt.

14 dages prøverne med 5 % cementerstatning sad fast i støbeformen, og det medførte at en af prøverne knækkede, mens anden flækkede ved afformningen. Dette resulterede i at brudene ikke skete i midten af prøven, og dermed var de to dele ikke den rigtige størrelse til at passe i prøvemaskinen. Det blev forsøgt at trykke prøverne på støbeflader, da det var den eneste måde de passede i maskinen, men det gav ikke brugbare resultater. Ligegyldigt hvor godt der afrettes, vil støbeflader altid være mere ujævn end de andre tre flader, og dette resultere i, at kræfterne fra maskinen ikke bliver overført korrekt. Der er derfor blevet støbt to sæt 14-dages styrker med 5 % cementerstatning, og trykstyrken er fundet ud fra alle de tryk, der lå inden for 10 % af gennemsnittet.

Trykstyrkerne for mørtelprøverne med uvasket aske er noteret, og omregnet til trykspændinger i appendix D.4. Disse trykspændinger kan ses i Tabel 13 og de er plottet på Figur 10. Referencestyrkerne er hentet fra andre tidligere og sideløbende projekter, for at kunne koncentrere indsatsen omkring mørtelprøver med aske i. I appendix D.3 er en tabel over de studerende der har lavet prøverne, og hvornår de er lavet.

	Modenhed [døgn]	Trykstyrke [MPa]	Afvigelse [MPa]
Reference	7	47,6	3,01
	14	53,4	3,6
	28	55,8	6,31
5 % Cementerstatning	8	48,2	1,68
	14	49,3	2,21
	28	54,1	2,36
10 % Cementerstatning	7	43,2	0,5
	14	46,2	0,38
	28	50,5	0,95
10 % Sanderstatning	7	33,1	0,79
	14	35	0,61
	28	38,1	1,1

Tabel 13 - Trykstyrker for mørtelprøver med uvasket aske



Figur 10 - Trykstyrker for mørtelprøver med uvasket aske.

Det ses at trykstyrkerne for både 5 % og 10 % cementerstatning ligger tæt på reference styrkerne, mens 10 % sanderstatning ligger noget lavere. Standartafvigelserne er indtegnet, og det ses, at det er sanderstatningen der har den største afvigelse, men at det stadig ikke bringer den op i nærheden af de andre styrker. At styrkerne ikke bliver højere i sanderstatningerne end i cementerstatningerne, tyder på, at der ikke er nogen særlig puzzolansk effekt at komme efter i asken. Havde der været det, havde der været en større total mængde puzzolan i prøverne med sanderstatning end i dem med cementerstatning, og de var dermed formodentligt blevet stærkere.

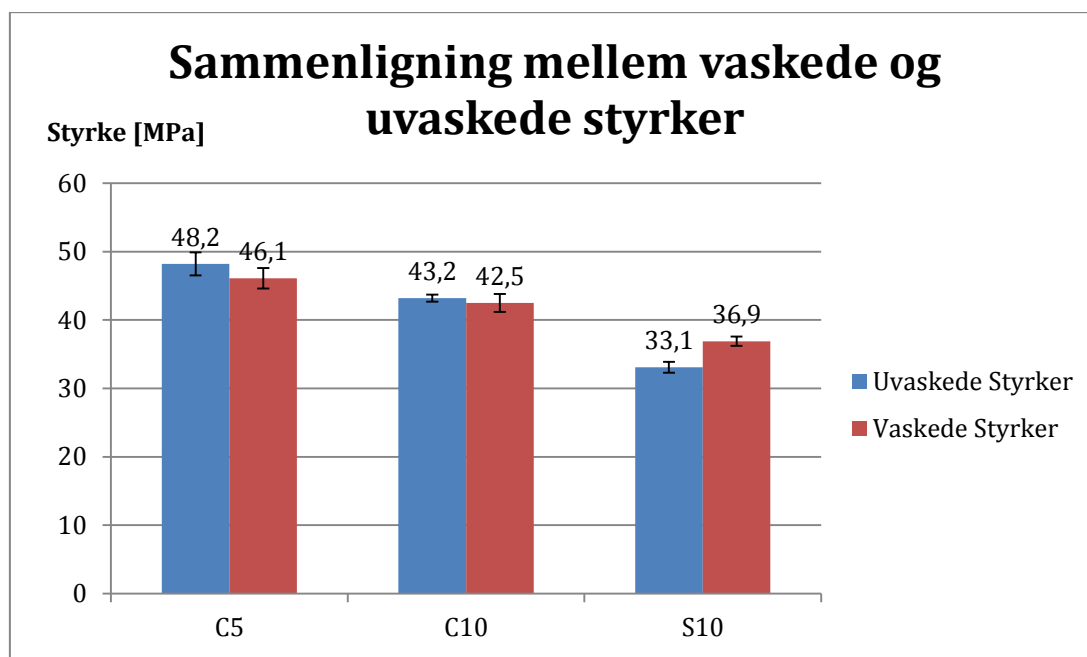
Taget i betragtning, at asken har en vandopløselighed på omkring en fjerdedel, og at en fjerdedel af asken derfor ikke umiddelbart kan bidrage til styrken, vurderes det at styrkerne ligger højt, og det er interessant om styrkerne vil ligge endnu højere, når asken er blevet vasket. Hvad denne styrke kommer af, vides ikke, men vil blive yderligere undersøgt i det følgende.

Det bliver vurderet, at styrkeudviklingen ligger jævnt nok, til at en analyse af vasket aske godt kan laves på 7-døgn styrker alene. På den måde kan fokus lægges på en type prøve, og

der laves flere forskellige blandinger inden for projektets tidsramme, og et mere nuanceret billede kan blive dannet af den vaskede askes indvirkning på styrken.

### 8.2.2 – Trykstyrker for mørtelprøver med vasket aske

Til en start sammenlignes mørtelprøverne med vasket aske med de tilsvarende med uvasket aske.



Figur 11 - Sammenligning mellem uvaskede og vaskede 7-dages styrker, med indtegnede standartfejl. De vaskede styrker er beregnet og behandlet i appendix D.5.

På Figur 11 ses det at der er en tendens til at styrkerne imod forventning falder efter at asken er blevet vasket, både for 5 % og 10 % cementerstatning, om end de i begge tilfælde ligger meget tæt. For 10 % cementerstatning, er der ingen statistisk signifikant forskel mellem den vaskede og den uvaskede. Styrken for 10 % sanderstatning, stiger derimod efter at asken er blevet vasket.

Den tendens der ses ved cementerstatningerne, kunne tyde på at der er noget i det vandopløselige materiale der bidrager til styrken. Det sås i analysen af de vandopløselige anioner at op mod 5 % af asken består af vandopløseligt sulfat. Hvis sulfatet går i forbindelse med calcium kan der dannes gips, der kan være med til at give tidlig styrke til mørtlen. I cementerstatningsforsøgene, hvor cementmængden er minsket, vil denne effekt især være udtalt, da cementen i sig selv, måske ikke er tilstrækkelig til at danne fuld styrke. Dette harmonerer godt med, at den styrke gips kan give vil komme tidligt og derfor være tydelig i 7-døgnprøver.

Hvis det er en gipsvirkning der foregår, kunne det være interessant at se hvordan den ville udvikle sig over tid, især i kraft af, at det ville binde sulfatet i asken effektivt. Hvis dette er tilfældet vil det måske være muligt at anvende asken i beton uden at fjerne sulfatet først, og uden at frygte for sulfatangreb.

I sanderstatningen er der derimod cement nok, til at den effekt en eventuel gipsvirkning vil have, ikke vil være synlig. Det at styrken er højere i prøven med vasket aske, formodes at skyldes, at tørstofmængden er blevet højere, efter de vandopløselige stoffer er vasket ud af asken.

Landskabet over alle styrkerne for mørtelprøverne lavet med vasket aske kan ses på Figur 12.

10	36,9		35,4				29,7				25,7
9											
8	37,9				33,9				31,7		
7											
6			38,7				36,3				33,3
5											
4	43,7				40,7				39,9		
3		42,6									
2	45,0		45,9				43,2				40,3
1		44,3		43,7							
0	45,4		44,6		46,4	46,1			44,8		42,5
S/C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figur 12 - Landskab over styrker i MPa, høje værdier er grønne. Udregninger og afvigelser kan findes i appendix D.5.

Det ses at de højeste målte styrker ligger i den lave ende af både cement- og sanderstatning, med den højeste på 46,4 MPa ved C4,S0, altså ved en askemængde svarende til 4 % af cementvægten. De fleste styrker ligger under reference-styrken på 45,4 MPa, og de der ligger over, er ikke betydeligt højere. Tendensen lader til at være, at jo længere fra referanceprøven, prøverne ligger, jo svagere er de. Det lader også til at styrken falder hurtigere når der bliver lavet sanderstatning end når der bliver lavet cementerstatning. Dette skyldes sikkert at 1 % sanderstatning udgør 13,5 g aske, mens 1 % cementerstatning kun udgør 4,5 g aske, og dermed at andelen af aske i tørstoffet bliver større når der laves sanderstatning.

Det understøtter yderligere, at asken nok ikke har nogen videre puzzolansk effekt, men den lader dog til at have en eller anden virkning, så længe andelen er lille nok.

### 8.2.3 - Densitet

I den afsatte projektperiode, blev det ikke prioriteret at lave porøsitet- og densitetsmålinger på alle prøverne. Dette er derfor kun gjort for første omgang af mørtelprøver støbt med vasket aske. Disse blev løbende vejte mens de blev tørret, for at sikre at de var vægtstabile, og porøsitet og densitets forsøget blev udført på dem samtidig, ved en tørretid på henholdsvis 18 og 20 dage. Vægttabsforløbet kan findes i



appendix D.1. Som beskrevet tidligere, skal prøverne stå natten over, ved atmosfæretryk dækket af vand, for at sikre at de er fuldstændig vandmættet. Der skete imidlertid det, at vandstanden i eksikkatoren var faldet nok om morgenen til, at en enkelt af prøverne ikke var fuldstændig dækket. Alle støbningerne er repræsenteret to gange i forsøget, og da værdierne for den prøve der ikke var helt dækkede, stemte overens med dem for dens modpart, blev det vurderet at dette ikke havde haft en målbar effekt. Tør densiteten for mørtelprøverne ses på Figur 13. Der ses at der er en klar tendens til, at jo mere aske der blandes i mørtlen, jo lavere bliver densiteten. Det er dog vigtigt at holde for øje, at tørdensiteten er en totaldensitet for mørtlen der også medregner luftporer. Densiteten af den rene mørtel er faststofdensiteten, og denne ses på Figur 14.

10		1941,8		1905,9		1894,6
8	1954,5		1963,5		1930,6	
6		1981,1		1967,6		1937,9
4	2024,5		1987		2002,8	
2		2040,4		2027		1999,7
0	2062,2		2056,8		2052,3	
	0	2	4	6	8	10

Figur 13- Landskab over tørdensitet for mørtelprøver, angivet i [kg/m<sup>3</sup>], høje værdier er grønne

10		2546,7		2545,1		2553,7
8	2548,3		2552,9		2550,2	
6		2553		2549,1		2549
4	2556,5		2552,5		2554,9	
2		2555,8		2555,4		2558,7
0	2559,4		2561,4		2561	
	0	2	4	6	8	10

Figur 14 - Landskab for faststofdensitet af mørtelprøver, angivet i [kg/m<sup>3</sup>], høje densiteter er grønne

Tendensen her er ikke særlig tydelig, men der lader dog stadig til at være et mønster, hvor jo mere aske der bliver tilsat mørtlen, jo lavere vil densiteten for denne mørtel være. Det skal dog bemærkes, at alle disse densiteter ligger meget tæt; forskellen mellem den højeste og den laveste er mindre end 1 %. Det vurderes derfor ikke, at asken har en signifikant effekt på densiteten af mørtlen.

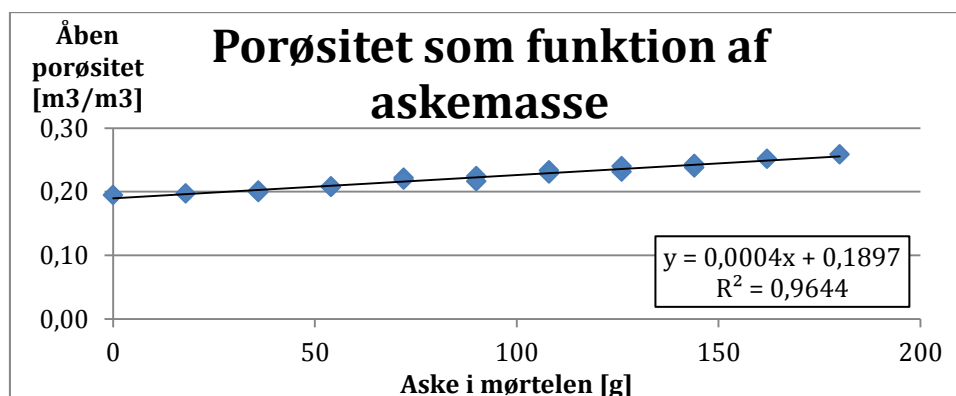
#### 8.2.4 - Porøsitet

Den åbne porøsitet af alle prøverne kan ses, som landskab på Figur 15.

10		0,2375		0,2511		0,2581
8	0,233		0,2309		0,2429	
6		0,224		0,2281		0,2397
4	0,2081		0,2215		0,2161	
2		0,2016		0,2068		0,2185
0	0,1943		0,197		0,1987	
S/C	0	2	4	6	8	10

Figur 15 - Landskab over åben porøsitet i mørtelprøver angivet i  $[m^3/m^3]$ . Lave værdier er grønne. Udregninger foretaget i appendix D.2.

Dette landskab ligner meget det for tørdensiteterne, men det skulle det også gerne. Når faststofdensiteterne ligger så tæt som de gør, må det være porøsiteten der gør forskellen i tørdensiteterne. Det ses at jo mere aske der er tilføjet til mørtlen, jo højere bliver porøsiteten. På Figur 16 er porøsiteten plottet relativt til askemængden i prøven, og der er lavet en lineær regression.



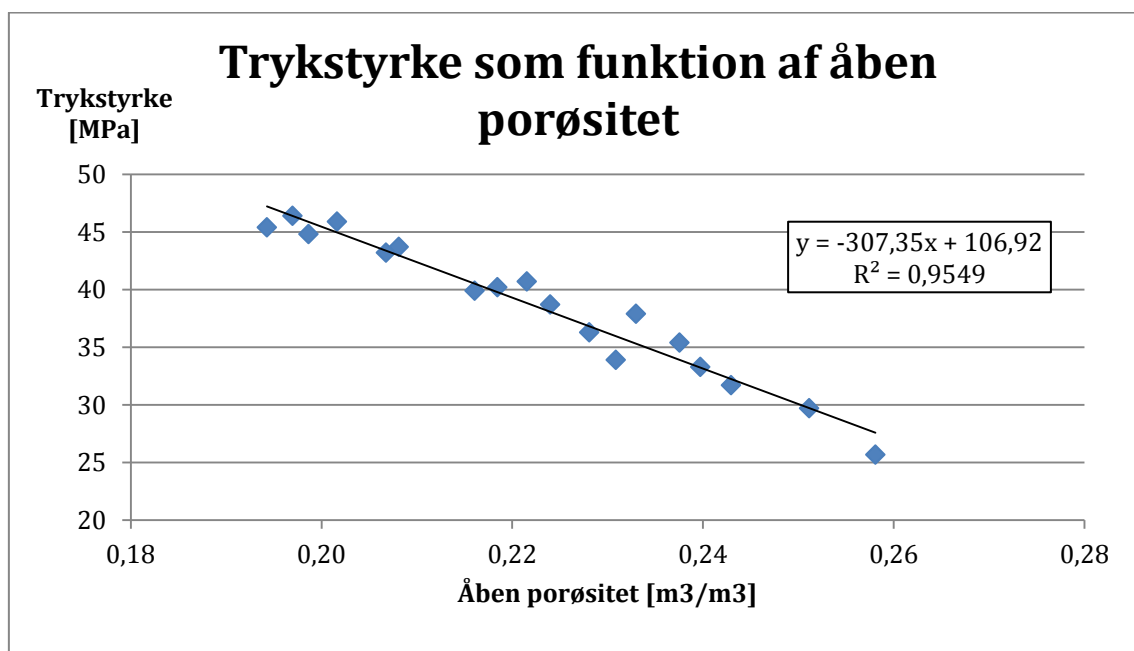
Figur 16 - Porøsitet som funktion af askemassen

Det ses at der er en god sammenhæng imellem hvor meget aske der er i mørtelen og hvor høj dennes porøsitet er, og det er tydeligt at asken har en luftindblandende egenskab.

Denne luftindblandende egenskab, kan eventuelt forklares med at asken er meget porøs, og dermed har mange hulrum der kan fange luft i mørtlen. Det er før set at bioasker har en meget porøs struktur, og en SEM-analyse (Scanning Electron Microscope) ville højst sandsynlig bekræfte at dette også er tilfældet med denne aske.

Om det er fordi asken er porøs, eller det skyldes noget andet står ikke klart, men det er klart, at porøsiteten af mørtelprøverne virke slørende for de andre egenskaber asken måtte have i en betonsammenhæng. Det sås i kornstørrelse analysen at de fleste partikler i asken ligger mellem 40-100  $\mu\text{m}$ , hvilket gør asken anvendelig som en filler, men dette vil selvfølgelig blive modvirket af porøsiteten. Det samme kan siges om både en puzzolansk effekt eller en eventuel gipsvirkning i mørtlen; en hver styrkeforøgelse disse kan give, vil blive negligeret af den styrkereduktion den forøgede porøsitet giver.

På Figur 17 ses en sammenhæng mellem trykstyrken og porøsiteten, og det ses at der er en klar tendens til, at styrkereduktionen skyldes den forøgede porøsiteten af prøven.



Figur 17 - Trykstyrke af mørtelprøver med vasket aske, som funktion af deres åbne porøsitet

Det ville være interessant at forsøge at formale asken i en ringknuser. Denne proces ville mindske kornstørrelsen og porøsiteten i asken betragteligt. Det kan tænkes at dette ville have en stor indflydelse på porøsiteten af mørtelprøverne, og dermed på styrkerne af disse. Det formodes også at de andre bidrag asken måtte have til styrken, værende det en puzzolansk effekt, en gipsvirkning eller en fillereffekt ville være betragteligt mere udtalte efter en formaling.

Det er dog ikke entydigt negativt at asken virker luftindblandende. Som nævnt tidligere er man til tider interesseret i beton med højere luftindhold, især på steder hvor betonen vil få meget frost, så asken vil eventuelt kunne anvendes som luftindblandingsmiddel. Dette kræver dog at indholdet af både salte, alkalier og tungmetaller kommer ned under de tilladte grænser.

### 8.3 – Fejlkilder

Når det kommer til forsøg vil der altid være fejlkilder. Det er ikke sikkert at disse har ført til egentlige fejl i resultater eller fortolkning af disse, men det er nødvendigt at være opmærksom på dem. Nedenfor følger den væsentligste af de fejlkilder der er blevet registreret.

Vægten i mørtellaboratoriet, har igennem projektforløbet opført sig ujævnt, og hen mod slutningen af projektperioden blev det så galt, at den blev udskiftet. Dette kan resultere i at nogle af de angivne blandinger ikke er korrekte, grundet målefejl.

Den mørtelprøvemaskine der er anvendt til prøvning af mørtelprismerne, er af ældre fabrikat, og det er ikke muligt at indstille en oplastningshastighed. Oplastningen sker manuelt ved at regulere olietilførslen til stemplet der trykker. Det er dermed ikke muligt at laste alle prøverne ens, og dermed ikke muligt at sikre at alle resultaterne er fuldstændig retvisende. Lastes en prøve for hurtigt op, kan maskinen nå at aflæse en højere trykstyrke end prøven egentlig kan holde til, og dermed give en kunstig høj styrke.

Ved vask af asken, anvendes samme metode som ved undersøgelse af vandopløseligheden, hvilket indebærer at filteret der er blevet brugt, bliver tørret med i ovnen. Dels bliver filteret meget sprødt af ovntørringen, og har en tendens til at smuldre med ned i asken, og dels vil nogle af de finere partikler i asken, sætte sig imellem filterets fibre, og dermed forskubbe kornstørrelsen af asken. Mht. til filterrester i asken er dette forsøgt udbedret med grundig visuel inspektion, men det kan ikke garanteres, at der ikke er kommet rester af filter med i nogle af støbningerne.

Asken var rimelig klumpet. Dette formodes at være grundet en form for gipsvirkning, forårsaget af de høje koncentrationer af sulfat og calcium, og det faktum at asken bliver vandet fra kraftværkets side. Disse klumper kunne være ganske hårde, og var svære at bryde fra hinanden, også under vasken af asken. Der kan være kommet vandopløselige salte med i den vaskede aske, som har gemt sig inde midt i en klump, og der kan også være kommet klumper med i mørtelprøverne.

## 9 – Konklusion

Der er i rapporten blevet arbejdet med en træaske fra Køge Kraftvarmeværk, og med dennes anvendelighed i som cement- og/eller sanderstatning i mørtel med henblik på brug i beton.

Det blev til en start fundet at asken havde en utrolig høj vandopløselighed og ledningsevne, samt en høj koncentration af vandopløselige an- og kationer. Dette skyldes alt sammen en høj koncentration af salte i asken, hvilket er uønsket i betonsammenhænge, og der er derfor blevet arbejdet videre med både en uvasket og en vasket aske.

Det blev til en start fundet, at asken havde en utrolig høj koncentration af salte, og dermed også en meget høj vandopløselighed. Der blev derfor arbejdet videre med både uvasket og vasket aske.

Indholdet af tungmetaller blev analyseret, og det blev fundet, at grænseværdierne for flere af dem blev overskredet, både før og efter vask. Det vil altså være nødvendigt at forarbejde asken yderligere, inden den kan bruges i beton.

Det blev fundet at asken i små mængder kan tilføre lidt styrke til mørtlen, om end ikke meget, og at så snart tilsætningen blev større end et par procent, faldt styrken igen. Hvad denne styrke kommer af, står ikke klart, men det forventes ikke, at den skyldes puzzolansk effekt i asken.

Faststoffdensiteten for mørtelen var stort set upåvirket af asken, til gengæld blev det fundet, at der var en lineær sammenhæng mellem tilsætningen af aske og mørtelens porøsitet. Dette forventes at skyldes at asken er porøs i sig selv. Det blev fundet at mørtelens porøsitet var den væsentligste faktor i reduktionen af styrken.

Både vasket og uvasket aske bliver vurderet uegnet til brug som cement- og sanderstatning i mørtel som den er, men det tænkes dels at asken måske vil kunne anvendes som luftindblandingsmiddel, og dels at askens indvirkning på mørtel vil ændres betragteligt hvis den formales.

## 10 – Videre forskning

Et projekt som dette giver anledning til mange spørgsmål som kun kan besvares ved at arbejde videre med asken. Nedenfor er opstillet en række forslag til videre undersøgelser af asken.

Vaskemetoden af asken er som nævnt i afsnittet om fejkilder ikke uden problemer, og så er den heller ikke praktisk hvis større mængder aske skal vaskes. Det kunne derfor være interessant at finde andre metoder til vask af asken, som er lige så effektive, uden de samme fejkilder. Det kunne desuden være interessant at finde ud af om den vaskemetode der er anvendt, er tilstrækkelig til at få alle de vandopløselige an- og kationer ud af asken. Derudover ville en analyse af partikelstørrelsen af den vaskede aske, måske kunne kaste lys på, om formodningen om at små partikler bliver hængende i filteret er rigtig.

Det lader til at asken har en høj porøsitet, men det er ikke blevet undersøgt. Det kunne være interessant at foretage en SEM-analyse af asken, for at se om denne formodning er korrekt. Er den det, kunne det være interessant at formale asken, og se hvad det gør ved dens opførsel i en betonblanding.

Som nævnt tidligere er det præcise vandbehov for asken ikke blevet undersøgt, men blot blevet antaget at svare til det for cement. Det kunne være interessant at undersøge om formodningen om at vandbehovet for asken er det samme som for cement holder stik. Desuden vil vandbehovet måske ændre sig hvis asken bliver formalet, så det kunne være interessant at se hvad formalingen gjorde ved det.

Med den vaskede aske er der kun blevet lavet 7-dages styrke analyser, så det står sådan set ikke klart hvordan styrkerne udvikler sig. Det er blevet antaget at de vil følge nogenlunde det samme mønster som hærdeprocessen for en reference prøve, men det er ikke blevet undersøgt. Det kunne især være interessant hvis det viser sig at styrken kommer af gipsdannelse, at se hvordan det opføre sig over tid. Hvis det viser sig at gipskrystallerne er stabile, vil det betyde at sulfatet i asken er blevet uskadeliggjort, og dermed ikke behøver fjernes.

Der er for mange tungmetaller i asken, også selv om den bliver vasket. Der er dog ikke blevet set på hvordan disse tungmetaller bliver bundet i mørtlen, og om de eventuelt er til at vaske ud. Det kunne derfor være interessant at lave en udvaskningstest af tungmetaller fra mørtlen, for hvis de er bundet hårdt nok, vil det ikke være nær så stort et problem at anvende asken i betonsammenhænge, på trods af det for høje tungmetalindhold.

## 11 - Litteratur

[Aalborg, 2007]	Aalborg Portland (2007) <i>Cement og Beton, Håndbogen om cement, beton og mørtel</i> 18. udgave
[Herholdt, 1985]	Herholdt A., Justesen C., Nepper-Christensen P., Nielsen A. (1985) <i>Beton-Bogen</i> 2. udgave Aalborg Portland, cementfabrikkernes tekniske oplysningskontor.
[Johannesson, 2011, notes]	Johannesson. B. (2011) <i>History of cement and concrete</i> Kursus 11563, Concrete Technology
DS/EN 196-1	DS/EN 196-1 – Metoder til prøvning af cement – Del 1: Styrkebestemmelse 2. udgave, 2005
DS/EN 206-1	DS/EN 206-1 – Beton – Del 1: Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse 2. udgave, 2002 Dansk Standard
DS/EN 450-1	DS/EN 405-1 - Flyveaske il beton – Del 1: Definition, specifikationer og overenstemmelseskriterier” 3. udgave, 2012 Dansk Standard
[retsinformation.dk]	Bekendtgørelse om biomasseaffald <a href="https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=13033">https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=13033</a> 13/12-14
[Anvendelse af restprodukter]	Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurennet bygge- og anlægsaffald <a href="https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=134831#B6">https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=134831#B6</a> Besøgt d. 14/12-14
[Slambekendtgørelsen]	Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål <a href="https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13056">https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13056</a> Besøgt d. 19/12-14
[Jørgensen, 2014]	Ulrik Jørgensen Mailkorrespondance Driftsleder v. Køge Kraftvarmeværk

## Appendix

### A – Forsøgsvejledninger

#### A.1 – pH

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

**A** Princip

Jordens pH måles potentiometrisk i en opløsning 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 plastvial. 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 udslået 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.



### 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 ledningsevnemåler.

#### 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 ledningsevne målingen beregnes jordens ionindhold i jordvæsken. Det samlede ionindhold i jordvæsken:

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

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

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

#### E Affaldshåndtering

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

## A.3 - 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.

### Glødetab i jord

#### A **Princip**

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

### 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.

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

**E** Affaldshåndtering

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

## A.6 - Grundstofanalyse (oplukning)

### 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 metal-koncentrationen i jorden.
- B Specielt apparatur**  
Til målingen benyttes et atomabsorptionspektrofotometer (AAS).
- C Kemikalie sikkerhed**  
**Salpetersyre** - Brandfærdig; 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 1/3 fyldt med destilleret vand. Der blandes godt og tilsættes vand til mærket. Efter blanding overføres opløsningen til en plastiflaske og mærkes.
- E Analysens udførelse**  
1,00 g tør, knust jord afvejes på teknisk vægt i et pyrex-glas med skruelåg (autoklaveglas) og der tilsættes 20,00 mL halvkoncentreret HNO<sub>3</sub> med fuld pipette (skal foregå i stinkskab). Autoklavflaskerne lukkes helt til, da HNO<sub>3</sub> 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 µm filter i stinkskab. **Brug engangshandsker.** Autoklavflasken skylles med 3 gange destilleret vand. Filtreret skal suges 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.
- $$\text{mg/kg} = \frac{A \cdot 0,100 L \cdot C}{B \cdot 10^{-3} \text{ kg/g jord}}$$
- 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 stinkskabet.  
Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

## A.7 - Vandopløselige an- og kationer

### 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

## A.8 - Porøsitet og densitet

	FUGTPARAMETRE, PORØSITET OG DENSITET LBM-Prøvemethode 2.	6108/14 s. 1
		290390 CBN: sl

### Anvendelsesområde

Metoden anvendes til for et uorganisk, porøst materiale såsom beton, tegl og gasbeton at bestemme porøsitet og densitet.

Metoden kan eventuelt kombineres med LBM-prøvemethode 1.

### Referencer

Metoden er en bearbejdet udgave af metode TI-B-25 fra Teknologisk Institut, Byggeteknik, 1983. Denne baserer sig på en RILEM Standard udgivet i Matériaux et Constructions Vol. 10, nr. 58.

### Definitioner, begreber og symboler

Vægtkonstans regnes at gælde, når prøvelemets masse ikke ændrer sig mere end 0,1% i løbet af 4 timer.


$m_o$	(kg)	Masse af prøvelegemet før forsøget
$m_{105}$	(kg)	Masse af prøvelegeme efter tørring ved 105°C
$m_{ssd}$	(kg)	Masse i luft af vakuumvandmættet prøvelegeme i overfladetør tilstand
$m_{sw}$	(kg)	Masse af vakuumvandmættet prøvelegeme vejet i vand
$V$	(m <sup>3</sup> )	Prøvelegemets volumen
$V_{på}$	(m <sup>3</sup> )	Volumen af åbne porer
$\rho_f$	(kg/m <sup>3</sup> )	Faststoffdensitet
$\rho_d$	(kg/m <sup>3</sup> )	Tørdensitet
$\rho_{ssd}$	(kg/m <sup>3</sup> )	Densitet af prøvelegeme i vakuumvandmættet overfladetør tilstand
$\rho_a$	(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Prøvelegemets åbne porøsitet
$u_{ssd}$	(kg/kg)	Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand

### Prøveudtagning

Antallet af prøver bestemmes ud fra en statistisk analyse.

Prøvelegemets størrelse bestemmes ud fra, hvor meget materiale der er til rådighed, og ud fra, om det pågældende materiale er svært at vandmætte.

Hvis prøvelegemer af cementbaserede materialer skal opbevares i længere tid før prøvningen, må de beskyttes mod kemiske forandringer såsom karbonatisering.

	FUGTPARAMETRE, PORØSITET OG DENSITET LBM-Prøvemethode 2.	6108/14 s. 2
		290390 CBN:sl

### Apparatur

- Varmeskab til udtørring ved  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Ekssikkator med silicagel til opbevaring af prøvelegemerne under afkølingen
- Vægt, hvor prøvelegemernes masse kan bestemmes med en nøjagtighed på 0,1 % - vægtkontrollod
- Udstyr til vejning af prøvelegeme under vand
- Destilleret vand
- Termometer ( $0,1^{\circ}\text{C}$  deling)
- Vakuumpumpe til tryk på ca.  $100 \text{ N/m}^2$
- Ekssikkator til vakuummætning af prøvelegemer
- Klude

### Fremgangsmåde

I tilfælde af, at man skal måle kapillarsugning på de samme prøvelegemer, skal sugningen, jf. LBM-PM-1, være udført først.

Prøvelegemer tørres ved  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  i en ventileret ovn til vægtkonstans. Tørring ved  $105^{\circ}\text{C}$  kan for nogle materialer medføre ændringer i porestrukturen. Disse materialer bør tørres ved en lavere temperatur. Derefter afkøling i ekssikkator til stuetemperatur. Prøvelegemet vejes (vægt  $m_{105}$ ) (Skema 1).

Det udtørrede prøvelegeme evakueres <sup>kontinuerligt</sup> tørt i ekssikkator i mindst 3 timer ved tryk på ( $\sim$  torr).

Demineraliseret vand med rumtemperatur ledes ind i ekssikkatoren. Prøvelegemer skal være helt dækket med vand. ~~\_\_\_\_\_~~


~~\_\_\_\_\_~~ og henstår ved dette tryk i mindst 1 time uden pumpning. Herefter ledes luft ind og prøverne henstår i vandet natten over ved atmosfæretryk.

De vandmættede prøvelegemer vejes i vand (vægt  $m_{sw}$ ) (Skema 1). Efter aftørring af overfladen med en hårdt opvreden klud vejes prøvelegemer i luft (vægt  $m_{ssd}$ ) (Skema 1).

Efter tørringen udtørres prøverne ved  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  til vægtkonstans og der foretages en kontrolvejning så det kan konstateres, om der er sket en udvaskning af prøverne ved vandmætningen.

Parametrene bestemmes som vist med formlerne i skema 1.



	PORØSITET OG DENSITET, SKEMA 1	Hold:
	Sag:	Dato:
		Initialer:

Rum: T = °C	Vand: T = °C	Vanddensitet $\rho_w =$	kg/m <sup>3</sup>
Vægtkontrollod	Før: Kg.g	Efter: Kg.g	
Prøvelegeme nr.			
$m_{105}$ kg			
$m_{ssd}$ kg			
$m_{sw}$ kg			
$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$ m <sup>3</sup>			
$V_{p\ddot{a}} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$ m <sup>3</sup>			
$p_{\ddot{a}} = V_{p\ddot{a}} / V$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>			
$\rho_d = m_{105} / V$ kg/m <sup>3</sup>			
$\rho_f = m_{105} / (V - V_{p\ddot{a}})$ kg/m <sup>3</sup>			
$\rho_{ssd} = m_{ssd} / V$ kg/m <sup>3</sup>			
$u_{ssd} = (m_{ssd} - m_{105}) / m_{105}$ kg/kg			

## B - Støbeskema

### B.1 - Mørtelprøver med uvasket aske

ID	Støbedato	Cement dim. [g]	Cement reel [g]	Aske dim. [g]	Aske reel [g]	Sand dim. [g]	Sand reel [g]	Vand dim. [g]	Vand reel [g]	Vandindhold i aske på støbedagen [%]	Kommentar
5C-7-G	26/09-14	427,5	427,47	26,34	26,33	1350	1350,04	221,16	221,15	14,585	
5C-14-GA	26/09-14	427,5	427,52	26,34	26,33	1350	1350,08	221,16	221,17	14,585	
5C-28-GA	26/09-14	427,5	427,52	26,34	26,33	1350	1350,08	221,16	221,15	14,585	
10C-7-GA	26/09-14	405	405,03	52,68	52,67	1350	1350,05	217,32	217,31	14,585	
10C-14-GA	26/09-14	405	405	52,68	52,67	1350	1349,99	217,32	217,32	14,585	
10C-28-GA	26/09-14	405	405	52,68	52,58	1350	1350	217,32	217,32	14,585	
10S-7-GA	01/10-14	450	449,48	159,26	159,28	1215	1215,02	268,24	268,25	15,23	Fugtig og medgørlig tendens til fedtet
10S-14-GA	08/10-14	450	450,05	159,26	159,27	1215	1214,99	268,24	268,23	15,23	svær at vibrere på plads, klistret
10S-28-GA	01/10-14	450	450,05	159,26	159,25	1215	1215	268,24	268,23	15,23	Fugtig og medgørlig tendens til fedtet
5C2-14-GA	08/10-14	427,5	427,51	26,54	26,53	1350	1350,01	220,96	220,95	15,23	Klistret, vibreret højere end 45Hz

## B.2 – Mørtelprøver med vasket aske

ID	Støbedato	Cement dim. [g]	Cement reel [g]	Aske dim. [g]	Aske reel [g]	Sand dim. [g]	Sand reel [g]	Vand dim. [g]	Vand reel [g]	Kommentar
V-C0,S0	20-11-14	450	449,98	0	0	1350	1349,99	225	224,99	
V-C0,S4	18-11-14	450	450,1	54	54	1296	1296,03	252	251,98	
V-C4,S0	18-11-14	432	432,04	18	17,99	1350	1350,05	225	225,03	
V-C2,S2	18-11-14	441	441,02	36	36	1323	1323,05	238,5	238,5	"blødte" 2 timer efter støbning
V-C0,S8	18-11-14	450	450,01	108	108,03	1242	1242,02	279	279,02	
V-C8,S0	18-11-14	414	413,99	36	36,01	1350	1350	225	225,01	
V-C6,S2	18-11-14	423	423,01	54	54,02	1323	1323,02	238,5	238,52	
V-C2,S6	18-11-14	441	441,03	90	90	1269	1269,02	265,5	265,49	
V-C4,S4	18-11-14	432	432,01	72	72	1296	1296	252	251,98	
V-C10,S2	18-11-14	405	405,03	72	72	1323	1323,01	238,5	238,5	
V-C2,S10	20-11-14	441	441,03	144	144	1215	1215	292,5	292,52	
V-C8,S4	20-11-14	414	414,02	90	90,02	1296	1296	252	251,99	Rimelig våd
V-C4,S8	20-11-14	432	432,02	126	126	1242	1242	279	279,01	
V-C6,S6	20-11-14	423	423,03	108	108,02	1269	1268,99	265,5	265,48	
V-C10,S6	20-11-14	405	405,01	126	126	1269	1269,06	265,5	265,51	Rimelig våd
V-C6,S10	20-11-14	423	423,04	162	162,03	1215	1215,01	292,5	292,49	
V-C8,S8	20-11-14	414	414,09	144	144,01	1242	1241,98	279	279	
V-C10,S10	20-11-14	405	405	180	180,02	1215	1215,01	292,5	292,51	
V-C5,S0	08-12-14	427,5	427,51	22,5	22,49	1350	1350,02	225	224,98	
V-C10,S0	08-12-14	405	405,05	45	45	1350	1350,01	225	224,99	
V-C0,S10	08-12-14	450	450,04	135	135	1215	1214,98	292,5	292,48	
V-C2,S0	08-12-14	441	441,03	9	9,02	1350	1350	225	224,99	
V-C0,S2	08-12-14	450	450,06	27	27,02	1323	1323,03	238,5	238,51	
V-C1,S1	08-12-14	445,5	445,52	18	18,03	1336,5	1336,51	231,75	231,76	
V-C3,S1	08-12-14	436,5	436,49	27	26,99	1336,5	1336,51	231,75	231,76	
V-C1,S3	08-12-14	445,5	445,54	45	45,02	1309,5	1309,48	245,25	245,24	

## C - Askekarakteristik

### C.1 - Uvasket aske - pH, ledningsevne, vandopløselighed, glødetab, vandindhold

Ledningsevnen		pH	
	mS/cm	A	12,86
A	78,5	B	12,86
B	79,7	C	12,86
C	79,8	Snit	12,86
Snit	79,333	afvigelse	0
afvigelse	0,723		

Vandopløselighed					
Aske før [g]	Filter [g]	Aske efter+filter [g]	Aske efter [g]	Tabt [g]	Tabt [%]
100	10,64	86,4	75,76	24,24	24,24

Glødetab							
ID	Vægt digle [g]	Før ovn+digle [g]	Før ovn [g]	Efter ovn+digle [g]	Efter ovn [g]	Glødetab [g]	Glødetab [%]
21	10,7442	13,2017	2,4575	13,132	2,3878	0,0697	2,836
12	12,2651	14,7034	2,4383	14,6325	2,3674	0,0709	2,908
23	10,0601	12,5566	2,4965	12,4859	2,4258	0,0707	2,8321
						i snit	2,859
						afvigelse	0,043

Vandindhold							
16-09-2014							
Prøve	Vægt glas [g]	Vægt før [g]	Vægt før- glas [g]	Vægt efter [g]	Vægt efter-glas [g]	Vægttab [g]	Vandprocent
A	21,69	27,25	5,56	26,42	4,73	0,83	14,93
B	18,61	23,75	5,14	23,00	4,39	0,75	14,59
C	20,07	25,76	5,69	24,95	4,88	0,81	14,24
Gennemsnit	14,58						
30-09-2014							
Prøve	Vægt glas [g]	Vægt før [g]	Vægt før- glas [g]	Vægt efter [g]	Vægt efter-glas [g]	Vægttab [g]	Vandprocent
A	32,50	38,19	5,69	37,29	4,79	0,90	15,82
B	31,56	37,54	5,98	36,58	5,02	0,96	16,05
C	27,20	32,12	4,92	31,44	4,24	0,68	13,82
Gennemsnit							15,23

### C.2 - Vasket aske - pH, ledningsevne, glødetab

Ledningsevnen	
	mS/cm
A	9,86
B	9,45
C	-
Snit	9,655
afvigelse	0,205

pH	
A	12,46
B	12,45
C	-
Snit	12,455
afvigelse	0,005

Glødetab							
ID	Vægt digle [g]	Før ovn+digle [g]	Før ovn [g]	Efter ovn+digle [g]	Efter ovn [g]	Glødetab [g]	Glødetab[%]
E	14,5205	17,038	2,5175	16,8879	2,3674	0,1501	5,962
F	14,2258	16,7501	2,5243	16,6067	2,3809	0,1434	5,681
H	14,3456	16,8173	2,4717	16,6732	2,3276	0,1441	5,830
						i snit	5,824
						afvigelse	0,141

C.3 – Kornkurver



Result Analysis Report

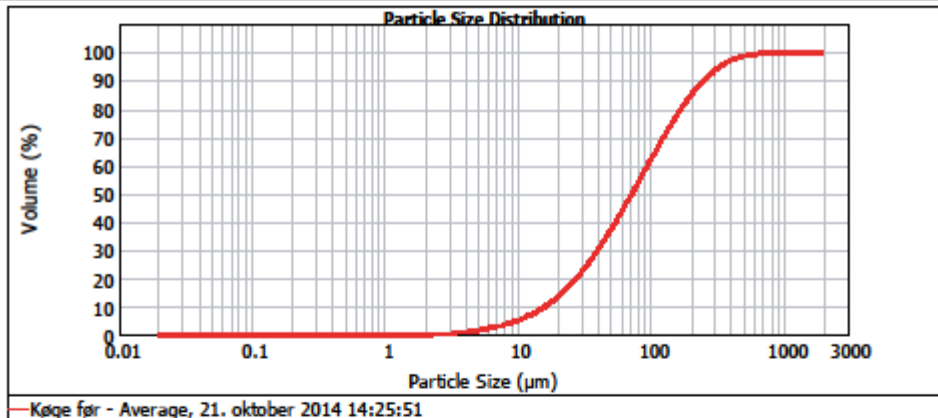
<b>Sample Name:</b> Køge før - Average	<b>SOP Name:</b> 141021stud våd	<b>Measured:</b> 21. oktober 2014 14:25:51
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 21. oktober 2014 14:25:52
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Averaged	

<b>Particle Name:</b> aska	<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> 24.83 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.338 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.1326 %Vol	<b>Span :</b> 3.215	<b>Uniformity:</b> 1.02	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.17 m²/g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 35.326 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 107.941 um	

d(0.1): 15.942 um      d(0.5): 71.557 um      d(0.9): 245.961 um



— Køge før - Average, 21. oktober 2014 14:25:51

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	0.60	50.238	3.92	355.656	1.19
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.982	0.70	56.988	4.05	390.052	1.30
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.984	0.82	63.246	4.16	447.744	1.46
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.92	70.983	4.25	502.377	1.65
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.96	79.621	4.25	563.677	1.86
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.02	89.337	4.24	632.456	2.09
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.01	14.159	1.06	100.237	4.19	709.627	2.34
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	1.12	112.488	4.08	796.214	2.61
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.01	17.825	1.17	126.191	3.95	893.367	2.90
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.01	20.000	1.23	141.589	3.73	1002.374	3.21
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.01	22.440	1.29	158.866	3.40	1124.688	3.54
0.071	0.00	0.502	0.00	3.657	0.02	25.179	1.36	178.250	3.21	1261.915	3.90
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.02	28.251	1.43	200.000	2.90	1415.892	4.29
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.03	31.698	1.50	224.404	2.56	1588.656	4.71
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.03	35.566	1.57	251.785	2.16	1782.502	5.16
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.04	39.905	1.64	282.508	1.66	2000.000	5.64
0.126	0.00	0.889	0.00	6.325	0.04	44.774	1.71	316.979	1.11		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.52	7.096	3.76	50.238	1.51		

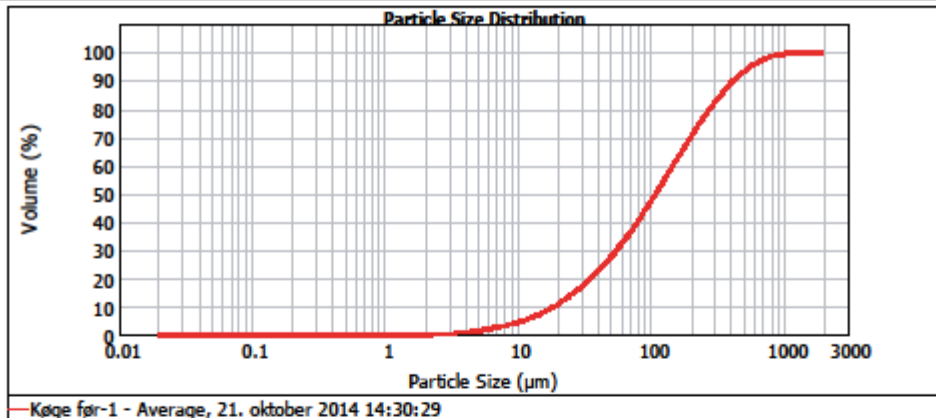
Operator notes:



## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Køge før-1 - Average	<b>SOP Name:</b> 141021stud våd	<b>Measured:</b> 21. oktober 2014 14:30:29	
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> F-user	<b>Analysed:</b> 21. oktober 2014 14:30:30	
<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> 29.44 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.350 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.1971 %Vol	<b>Span :</b> 3.666	<b>Uniformity:</b> 1.14	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.139 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 43.071 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 171.858 um	

d(0.1): 18.580 um      d(0.5): 108.114 um      d(0.9): 414.952 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	0.52	50.238	2.87	355.656	2.56
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.982	0.60	56.368	3.05	390.052	2.28
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.984	0.69	63.246	3.29	447.744	1.90
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.80	70.983	3.59	502.377	1.70
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.92	79.621	3.90	563.677	1.41
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.05	89.237	4.34	632.456	1.13
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.01	14.159	1.14	100.237	4.77	709.627	0.85
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.02	15.887	1.27	112.468	5.24	796.214	0.61
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.03	17.825	1.41	126.191	5.77	893.367	0.39
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.04	20.000	1.56	141.589	6.36	1002.374	0.25
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.05	22.440	1.71	158.896	7.00	1124.683	0.13
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.06	25.179	1.86	178.250	7.74	1261.915	0.06
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.07	28.251	2.02	200.000	8.52	1415.892	0.01
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.08	31.698	2.18	224.404	9.36	1589.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.09	35.566	2.34	251.785	10.27	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.10	39.905	2.52	282.508	11.24	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.11	44.774	2.71	316.979	12.28		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.12	50.238	2.90	355.656	13.40		

Operator notes:





### Result Analysis Report

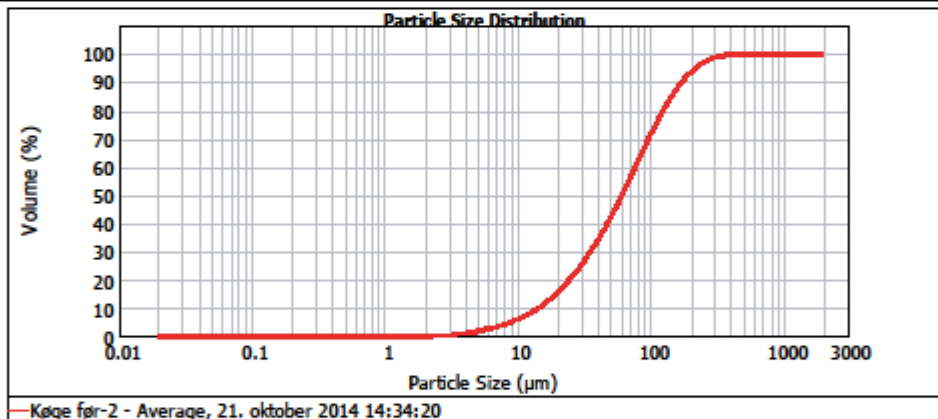
<b>Sample Name:</b> Køge før-2 - Average	<b>SOP Name:</b> 141021stud våd	<b>Measured:</b> 21. oktober 2014 14:34:20
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 21. oktober 2014 14:34:22
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Averaged	

<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> 11.69 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.429 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0514 %Vol	<b>Span :</b> 2.558	<b>Uniformity:</b> 0.804	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.191 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 31.387 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 78.861 um	

d(0.1): 14.241 um      d(0.5): 60.334 um      d(0.9): 168.602 um



Køge før-2 - Average, 21. oktober 2014 14:34:20

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	0.73	50.238	4.59	355.656	0.27
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.85	56.368	4.80	399.052	0.12
0.025	0.00	0.175	0.00	1.262	0.00	8.994	0.98	63.246	4.95	447.744	0.05
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.13	70.963	5.02	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.15	79.621	5.03	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.31	89.337	5.02	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	1.40	100.237	4.90	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.987	1.70	112.468	4.69	796.214	0.00
0.050	0.00	0.355	0.00	2.518	0.15	17.825	2.15	126.101	3.95	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.21	20.000	2.40	141.589	3.40	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.21	22.440	2.40	158.866	2.98	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.25	25.179	2.97	178.250	2.98	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.30	28.251	2.98	200.000	2.45	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.35	31.808	3.21	224.404	1.95	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.47	35.956	3.75	251.795	1.08	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.54	39.905	4.07	282.503	0.74	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.63	44.774	4.34	316.979	0.46		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.83	50.238	4.34	355.656			

Operator notes:

#### C.4 - Vandopløselige anioner og kationer

Vandopløselige anioner									
	Afvejet [g]	Tilsat [ml]	mg/l Cl	mg/kg Cl	mg/l NO3	mg/kg NO3	mg/l SO4	mg/kg SO4	I alt
Anioner A	10,00	50,00	6061,74	30308,70	62,63	313,17	11428,06	57140,30	
Anioner B	10,10	50,00	7729,59	38265,31	55,61	275,32	10437,12	51668,92	
Anioner C	10,00	50,00	5912,64	29563,19	56,30	281,50	10942,36	54711,78	
Gennemsnit	10,03			32712,40		290,00		54507,00	
Afvigelse				4823,39		20,31		2741,43	
M [g/mol]				35,45		62,00		136,14	
n [mol/kg]				0,923		0,005		0,400	
Afvigelse [mol/kg]				0,136		0,000		0,020	
%-del af prøven [%]				3,271		0,029		5,451	8,751
Afvigelse [%]				0,482		0,002		0,274	0,759

Vandopløselige kationer									
prøve	Afvejet g	Tilsat ml	mg/l Ca	mg/kg Ca	mg/l K	mg/kg K	mg/l Na	mg/kg Na	i alt
Kationer A	10,00	50,00	479,04	2395,18	12044,50	60222,50	2666,14	13330,70	
Kationer B	10,10	50,00	421,00	2084,16			2196,17	10872,13	
Kationer C	10,00	50,00			12382,10	61910,50	2652,49	13262,45	
Gennemsnit	10,03			2239,67		61066,50		12488,43	
Afvigelse				155,51		844,00		1400,17	
M [g/mol]				40,08		39,10		22,99	
n [mol/kg]				0,056		1,562		0,543	
Afvigelse [mol/kg]				0,004		0,022		0,061	
%-del af prøven [%]				0,224		6,107		1,249	7,579
Afvigelse [%]				0,016		0,084		0,140	0,24

Her blev også målt på koncentrationen af magnesium, men der var intet af det i asken.  
De røde felter viser hvor analysen slog fejl.

C.5 - Grundstofanalyse, uvasket og vasket

prøve	Atvejlet [g]	mg/l Al	mg/kg Al	mg/l As	mg/kg As	mg/l Ca	mg/kg Ca	mg/l Cd	mg/kg Cd	mg/l Cr	mg/kg Cr	mg/l Cu	mg/kg Cu	mg/l Fe	mg/kg Fe	mg/l K	mg/kg K
Uvasket A	1,00	176,81	17.680,50	0,13	12,66	581,59	58.158,60	0,05	4,80	0,31	31,40	0,77	77,09	175,87	17.586,60	649,50	64.949,50
Uvasket B	1,00	171,80	17.180,40	0,14	14,08	540,16	54.015,90	0,05	4,67	0,30	30,39	0,75	74,69	16.698	16.698,30	589,03	58.902,90
Uvasket C	1,00	179,11	17.910,50	0,13	12,61	567,21	56.721,30	0,05	4,90	0,32	31,97	0,77	77,32	15.929	15.928,60	612,05	61.205,20
Gennemsnit		17.590,47			13,12		56.298,60		4,79		31,25		76,37		16.737,83		61.685,87
Atvejelse		373,28			0,83		2.103,45		0,12		0,80		1,45		829,71		3.051,82
%-del af prøven		1,76			0,00		5,63		0,00		0,00		0,01		1,67		6,17
Atvejelse		0,04			0,00		0,21		0,00		0,00		0,00		0,08		0,31
Vasket A	1,00	66,17	6.617,08	0,02	2,39	2.093,42	209.342,00	0,05	4,95	0,25	24,50	1,25	124,57	140,97	14.096,60	57,64	5.763,85
Vasket B	1,00	64,00	6.399,54	0,02	2,04	2.079,34	207.934,00	0,05	5,17	0,24	24,03	1,19	119,10	138,10	13.810,20	57,17	5.716,89
Vasket C	1,00	65,68	6.568,42	0,02	1,71	1.967,43	196.743,00	0,05	4,93	0,25	24,51	1,23	123,08	137,21	13.721,20	57,22	5.722,31
Gennemsnit		6.528,35			2,05		204.673,00		5,02		24,35		122,25		13.876,00		5.734,35
Atvejelse		114,17			0,34		6.903,57		0,13		0,28		2,83		196,16		25,69
%-del af prøven		0,65			0,00		20,47		0,00		0,00		0,01		1,39		0,57
Atvejelse		0,01			0,00		0,69		0,00		0,00		0,00		0,02		0,00
Uvasket A	1,00	139,07	13.906,70	13,64	1.364,07	10,82	1.081,73	0,59	59,13	65,25	6.525,24	0,52	52,48	4,08	408,36		408,36
Uvasket B	1,00	133,50	13.350,40	13,23	1.323,03	10,44	1.044,20	0,56	56,37	63,15	6.314,90	0,51	50,84	3,86	386,36		386,36
Uvasket C	1,00	142,03	14.203,30	14,07	1.406,95	10,72	1.072,47	0,61	60,65	66,67	6.667,31	0,52	52,47	3,99	398,79		398,79
Gennemsnit		13.820,13			1.364,68		1.066,13		58,71		6.502,48		51,93		397,84		397,84
Atvejelse		432,99			41,96		19,55		2,17		177,30		0,94		11,03		11,03
%-del af prøven		1,38			0,14		0,11		0,01		0,65		0,01		0,04		0,04
Atvejelse		0,04			0,00		0,00		0,00		0,02		0,00		0,00		0,00
Vasket A	1,00	240,69	24.069,20	105,88	10.588,10	30,26	3.026,47	0,45	44,86	72,82	7.282,03	1,07	107,09	5,02	501,51		501,51
Vasket B	1,00	242,30	24.229,70	113,35	11.335,00	29,60	2.960,42	0,44	43,78	70,45	7.044,60	1,12	111,53	4,93	493,14		493,14
Vasket C	1,00	234,97	23.496,70	105,35	10.535,10	29,59	2.958,57	0,44	43,90	72,75	7.275,07	1,12	112,35	4,84	483,63		483,63
Gennemsnit		23.931,87			10.819,40		2.981,82		44,18		7.200,57		110,32		492,76		492,76
Atvejelse		385,31			447,31		38,68		0,59		135,12		2,83		8,95		8,95
%-del af prøven		2,39			1,08		0,30		0,00		0,72		0,01		0,05		0,05
Atvejelse		0,04			0,04		0,00		0,00		0,01		0,00		0,00		0,00

D - Mørtelprøver  
D.1 - Porøsitet og Densitet - Vægtudvikling

Navn	nr	25-11-2014	27-11-2014	03-12-2014	05-12-2014	08-12-2014	10-12-2014	12-12-2014	15-12-2014	Under vand	SSD														
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]														
		Tabr siden sidst [%]	Tabr siden sidst [%]	Tabr siden sidst [%]	Tabr siden sidst [%]	Tabr i år [%]	Tabr siden sidst [%]	Tabr i år [%]	Tabr siden sidst [%]	Tabr i år [%]	Tabr siden sidst [%]														
V4.054	1	277,26	262,70	5,25	251,91	2,97	8,06	254,29	0,24	8,28	253,69	0,24	8,50	253,33	0,06	8,56	253,52	0,00	8,56	253,44	0,03	8,59	154,3	279,67	
	2	288,88	272,13	5,45	265,80	2,60	7,99	265,19	0,23	8,20	264,63	0,21	8,39	264,45	0,07	8,46	264,43	0,01	8,46	264,36	0,03	8,49	160,96	291,35	
V4.450	1	293,57	280,22	4,48	272,98	2,50	6,93	272,15	0,30	7,23	271,42	0,27	7,48	271,13	0,11	7,58	271,06	0,03	7,61	270,88	0,07	7,67	162,07	296,96	
	2	287,51	274,79	4,42	267,64	2,60	6,91	266,88	0,28	7,18	266,22	0,25	7,40	265,95	0,10	7,50	265,84	0,04	7,54	265,68	0,06	7,59	162,01	290,99	
V4.252	1	304,29	287,93	5,38	281,35	2,29	7,54	280,52	0,30	7,81	279,77	0,27	8,06	279,50	0,10	8,15	279,41	0,03	8,18	279,25	0,06	8,23	170,03	306,85	
	2	296,48	281,83	4,94	274,49	2,60	7,42	273,75	0,27	7,67	273,03	0,26	7,91	272,80	0,08	7,99	272,66	0,05	8,03	272,52	0,05	8,08	165,85	299,45	
V4.058	1	278,13	260,44	6,36	251,74	3,34	9,49	251,12	0,25	9,71	250,55	0,23	9,92	250,46	0,04	9,95	250,43	0,01	9,96	250,37	0,02	9,98	152,15	280,32	
	2	276,67	259,25	6,66	250,40	3,34	9,50	249,90	0,20	9,68	249,33	0,24	9,88	249,22	0,04	9,92	249,22	-	9,92	249,15	0,03	9,95	151,35	278,25	
V4.850	1	278,40	265,18	4,75	258,08	2,42	7,06	258,03	0,28	7,32	257,40	0,24	7,54	257,23	0,07	7,60	257,17	0,02	7,63	257,08	0,03	7,66	154,74	281,63	
	2	288,32	274,32	4,86	267,05	2,65	7,38	266,41	0,24	7,60	265,83	0,22	7,80	265,69	0,05	7,86	265,63	0,02	7,87	265,52	0,04	7,91	161,18	291,57	
V4.652	1	295,09	280,11	5,08	272,07	2,87	7,80	271,43	0,24	8,02	270,88	0,20	8,20	270,71	0,06	8,26	270,69	0,01	8,27	270,58	0,04	8,31	164,67	298,04	
	2	294,07	279,02	5,12	271,31	2,76	7,74	270,38	0,34	8,06	269,65	0,27	8,30	269,42	0,09	8,38	269,33	0,03	8,41	269,19	0,05	8,46	163,87	296,79	
V4.256	1	285,27	268,89	5,74	259,92	3,34	8,89	259,25	0,26	9,12	258,88	0,14	9,25	258,75	0,05	9,30	258,80	0,02	9,28	258,73	0,03	9,30	157,43	287,71	
	2	287,37	269,84	6,10	261,69	3,02	8,94	260,98	0,27	9,18	260,55	0,16	9,33	260,43	0,05	9,37	260,46	0,01	9,36	260,40	0,02	9,39	156,36	286,12	
V4.454	1	275,59	259,81	6,09	251,94	2,65	8,58	251,36	0,23	8,79	251,02	0,14	8,92	250,92	0,04	8,95	250,94	0,01	8,94	250,90	0,02	8,96	152,73	278,71	
	2	282,79	269,84	5,62	258,48	3,15	8,60	257,95	0,21	8,78	257,52	0,17	8,94	257,36	0,05	8,99	257,38	0,01	8,99	257,32	0,02	9,01	156,38	286,18	
V4.1052	1	305,55	280,84	5,47	280,78	2,79	8,11	280,18	0,21	8,30	279,82	0,13	8,42	279,71	0,04	8,46	279,75	0,01	8,44	279,70	0,02	8,46	170,49	309,83	
	2	283,57	267,89	5,46	260,25	2,85	8,16	259,58	0,26	8,40	259,27	0,12	8,50	259,18	0,03	8,54	259,21	0,01	8,53	259,16	0,02	8,54	157,78	287,67	
V4.2510	1	-	280,60	-	254,26	9,39	9,39	253,05	0,48	9,82	251,93	0,44	10,22	251,58	0,14	10,34	251,49	0,04	10,37	251,38	0,04	10,41	152,66	282,67	
V4.854	1	-	314,45	-	282,88	8,13	8,13	287,93	0,33	8,43	287,04	0,51	8,71	286,70	0,12	8,82	286,60	0,05	8,85	286,49	0,04	8,89	174,4	317,46	
	2	-	277,65	-	254,88	8,20	8,20	254,04	0,33	8,50	253,32	0,28	8,76	253,12	0,09	8,83	253,06	0,02	8,86	252,97	0,04	8,89	153,92	280,21	
V4.458	1	-	296,43	-	271,07	8,91	8,91	268,47	0,48	9,33	267,65	0,42	9,71	267,38	0,10	9,80	267,33	0,02	9,82	267,24	0,03	9,85	162,63	299,08	
	2	-	252,91	-	221,34	8,53	8,53	228,06	0,55	9,03	229,15	0,40	9,39	228,90	0,11	9,49	228,81	0,04	9,53	228,74	0,03	9,56	139,08	255,28	
V4.656	1	-	268,96	-	245,98	8,54	8,54	244,96	0,41	8,92	243,96	0,42	9,31	243,64	0,11	9,41	243,59	0,02	9,43	243,44	0,04	9,47	149,93	271,79	
	2	-	260,59	-	237,37	8,91	8,91	236,40	0,41	9,28	235,63	0,33	9,58	235,33	0,13	9,69	235,27	0,03	9,72	235,17	0,04	9,75	142,92	264,15	
V4.1056	1	-	248,71	-	244,33	9,07	9,07	243,49	0,34	9,39	242,84	0,27	9,63	242,63	0,09	9,71	242,60	0,01	9,72	242,51	0,04	9,75	147,36	272,65	
V4.6510	1	-	295,72	-	266,14	10,00	10,00	265,23	0,34	10,31	264,29	0,55	10,63	264,06	0,09	10,71	264,07	0,00	10,70	263,98	0,03	10,73	160,24	298,67	
	2	-	260,79	-	234,61	10,04	10,04	233,70	0,39	10,39	232,98	0,47	10,66	232,84	0,06	10,72	232,88	0,02	10,70	232,81	0,03	10,73	141,35	263,57	
V4.850	1	-	280,35	-	254,57	9,20	9,20	253,38	0,47	9,62	252,22	0,46	10,03	251,88	0,13	10,16	251,83	0,02	10,17	251,72	0,04	10,21	152,96	283,32	
	2	-	294,32	-	265,67	9,67	9,67	265,22	0,24	9,89	264,72	0,40	10,16	264,39	0,05	10,21	264,31	0,01	10,20	264,24	0,03	10,22	160,68	297,57	
V4.10510	1	-	273,02	-	244,85	10,32	10,32	243,72	0,46	10,73	243,21	0,41	10,92	243,09	0,05	10,96	243,13	0,02	10,95	243,08	0,02	10,97	144,77	276,11	
	2	-	259,51	-	231,25	10,55	10,55	230,22	0,23	10,75	230,31	0,18	10,91	230,47	0,02	10,92	230,40	0,00	10,91	230,30	0,00	10,91	144,23	276,25	
V4.050	1	-	281,47	-	262,22	6,04	6,04	261,60	0,24	7,06	260,66	0,36	7,39	260,28	0,15	7,53	260,17	0,04	7,57	260,02	0,06	7,62	154,49	284,75	
	2	-	272,15	-	251,88	6,99	6,99	251,05	0,32	7,40	250,07	0,31	7,75	250,47	0,08	7,86	250,47	0,01	7,86	250,32	0,06	7,92	154,11	280,24	
18nr125	-	-	287,69	272,17	5,40	264,53	2,81	8,06	263,85	0,26	8,39	263,50	0,21	8,49	263,14	0,16	8,54	263,11	0,01	8,55	263,01	0,04	8,59		
18nr127	-	-	277,75	252,94	8,94	8,94	251,77	0,39	9,29	251,11	0,24	9,60	250,86	0,10	9,69	250,80	0,02	9,71	250,71	0,04	9,75				

## D.2 – Porøsitet og Densitet – Udregninger

Navn	Masse vandret under vand		Masse vandret over vand		Volumen	Volumen af åben porer	Åben porøsitet	Åben porøsitet i vol.	Åben porøsitet, usikkerhed	Tæthed	Tæthed i vol.	Tæthed, usikkerhed	Fasitet	Fasitet i vol.	Fasitet, usikkerhed	SD-tæthed	SD-tæthed i vol.	SD-tæthed, usikkerhed
	M	m	M	m														
V-C01.54	253,44	154,3	279,67	1,35E-04	2,62E-05	0,20922	0,200811	0,00157	2021,53623	2024,49617	4,18586	2556,53691	255,6,52901	0,20079	2230,75696	2232,60073	2,61172	
V-C01.50	284,36	160,9	291,35	1,30E-04	2,70E-05	0,20069	0,205183274	0,001974	2051,83274	2056,84349	4,25764	2560,90049	256,1,40383	1,89978	2251,57128	2253,62975	3,19113	
V-C2.52	279,25	170,0	306,65	1,37E-04	2,76E-05	0,20172	2041,00278	0,00165	2039,82036	2040,41157	0,83610	2556,76616	255,5,78066	1,99371	2242,77767	2242,05994	0,94431	
V-C01.58	250,17	152,15	280,32	1,28E-04	3,00E-05	0,22367	1953,42124	0,00094	2026,82036	2027,28648	8,74686	2547,54801	254,8,30976	1,98889	2247,09526	2248,92286	5,80048	
V-C01.50	289,15	151,35	276,75	1,27E-04	2,98E-05	0,22324	1985,65149	0,00094	2028,79208	2028,45144	1,57703	2562,08900	256,1,02902	1,49889	2255,02442	2257,54092	0,63308	
V-C2.56	289,19	157,43	287,71	1,30E-04	2,90E-05	0,22344	2025,20113	0,00124	1976,32058	2006,99761	2,33777	2533,92480	253,5,36774	0,78780	2232,84883	2233,76614	1,30011	
V-C2.54	250,4	158,36	280,12	1,32E-04	2,97E-05	0,22256	1985,95333	0,00220	1976,32058	1981,13696	6,81138	2551,94042	255,3,01858	1,52475	2208,39730	2205,13975	4,60686	
V-C2.52	270,58	164,67	298,04	1,33E-04	2,73E-05	0,20589	1882,49451	0,00113	1991,53897	1987,01024	6,47106	2546,29717	255,2,50389	4,61983	2204,77658	2208,55594	5,34482	
V-C2.54	250,9	152,73	276,71	1,29E-04	3,01E-05	0,22162	1991,53897	0,00113	2007,20022	1992,13927	10,72041	2556,32275	255,8,72176	3,99272	2212,85264	2218,20027	7,56693	
V-C2.510	251,38	152,66	282,07	1,29E-04	3,07E-05	0,22069	1942,50831	0,00115	1992,13927	1999,79975	1,05280	2547,08568	254,6,73976	0,48920	2178,96440	2179,31297	0,49296	
V-C2.54	289,91	146,72	289,32	1,24E-04	2,94E-05	0,22374	1941,01942	0,00056	2001,58633	2002,83723	0,35483	2555,98259	255,4,92762	1,36467	2218,78217	2218,92555	0,20277	
V-C2.54	286,49	174,4	317,46	1,43E-04	3,10E-05	0,21648	2001,58633	0,00056	1986,92758	2002,83723	0,35483	2551,94042	255,4,92762	1,36467	2218,78217	2218,92555	0,20277	
V-C2.58	252,97	153,92	280,21	1,28E-04	3,12E-05	0,22385	1986,31980	0,00056	1986,50258	1983,51109	7,05903	2551,19340	255,2,91244	2,43110	2191,86813	2194,38352	3,56151	
V-C2.56	228,74	139,08	255,28	1,16E-04	2,65E-05	0,22840	1986,50258	0,00050	1986,50258	1983,51109	7,05903	2551,19340	255,2,91244	2,43110	2191,86813	2194,38352	3,56151	
V-C2.56	243,46	147,93	271,29	1,24E-04	2,83E-05	0,22873	1986,50258	0,00050	1986,50258	1983,51109	7,05903	2551,19340	255,2,91244	2,43110	2191,86813	2194,38352	3,56151	
V-C2.56	282,44	159,51	292,75	1,23E-04	3,03E-05	0,22748	1986,92758	0,00088	1986,92758	1987,64255	2,87965	2546,93979	254,9,10638	0,83098	2197,16301	2195,74766	2,00161	
V-C2.56	242,51	147,43	272,63	1,25E-04	3,01E-05	0,22004	1986,92758	0,00096	1986,92758	1987,88241	2,80574	2548,71546	254,8,99043	0,39296	2176,31811	2177,62761	1,82222	
V-C2.510	283,98	160,74	296,97	1,38E-04	3,47E-05	0,25060	1966,95658	0,00076	1966,95658	1965,90015	1,49402	2544,53081	254,5,05759	0,60356	2157,59255	2157,09879	0,72940	
V-C2.58	251,72	141,35	263,32	1,20E-04	3,16E-05	0,22421	1930,96262	0,00076	1930,96262	1930,63471	0,46062	2548,20518	254,5,05759	0,60356	2157,59255	2157,09879	0,72940	
V-C2.510	284,08	160,68	297,57	1,27E-04	3,33E-05	0,22738	1930,02901	0,00076	1930,02901	1930,63471	0,46062	2551,56431	255,0,18475	1,95100	2151,38713	2173,57762	0,26918	
V-C2.510	280,3	140,23	261,75	1,23E-04	3,15E-05	0,25881	1986,16129	0,00107	1986,16129	1894,59638	0,79890	2556,00010	253,3,65731	4,58612	2153,96643	2152,68058	1,81846	
V-C2.50	260,02	158,19	284,75	1,26E-04	2,47E-05	0,19587	2059,40124	0,00107	2059,40124	2062,18658	3,91079	2561,01645	253,9,42250	2,25418	2255,26691	2256,45002	1,67317	
V-C2.52	256,32	156,11	280,24	1,24E-04	2,39E-05	0,19270	2064,93193	0,00224	2064,93193	2062,18658	3,91079	2557,02856	253,9,42250	2,25418	2257,63313	2256,45002	1,67317	

### D.3 – Mørtelprøver styrker, reference

Lavet af		Prøvet [dato]	ID	Hærdetid [døgn]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Trykstyrke snit [MPa]	Gennemsnits styrke [MPa]	Afvigelse [MPa]
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	7	37,0	49,5	43,3	47,6	3,01
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	7	46,0	47,0	46,5		
Katharina Lyngholm		13-09-2012	A1	7	47,7	38,2	43,0		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	7	48,0	38,5	43,3		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	7	48,5	48,5	48,5		
Katharina Lyngholm		13-09-2012	A2	7	48,6	48,6	48,6		
Katharina Lyngholm		13-09-2012	A3	7	49,3	48,3	48,8		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	7	49,5	48,5	49,0		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	7	52,0	52,0	52,0		
Saboor Aghazadeh		2014	1	7	50,2	48,7	49,5		
Saboor Aghazadeh		2014	2	7	50,0	51,4	50,7		
Saboor Aghazadeh		2014	3	7	48,7	48,7	48,7		
Liv Rosenmai	Sabine Svendsen	2012	-	14	49,0	46,5	47,8		
Liv Rosenmai	Sabine Svendsen	2012	-	14	50,5	40,5	45,5		
Liv Rosenmai	Sabine Svendsen	2012	-	14	51,5	52,5	52,0		
Katharina Lyngholm		01-10-2012	A2	14	52,8	51,4	52,1	53,4	3,60
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	14	53,0	57,5	55,3		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	14	53,5	52,0	52,8		
Katharina Lyngholm		01-10-2012	A3	14	54,1	56,6	55,4		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	14	55,0	57,5	56,3		
Katharina Lyngholm		01-10-2012	A1	14	55,1	56,5	55,8		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	14	55,5	56,0	55,8		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	14	56,0	54,0	55,0		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	14	56,5	58,0	57,3		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	17-10-2012	15	28	40,1	43,5	41,8		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	17-10-2012	14	28	53,6	48,6	51,1		
Liv Rosenmai	Sabine Svendsen	2012	-	28	54,0	49,5	51,8		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	17-10-2012	13	28	56,4	49,9	53,2		
Liv Rosenmai	Sabine Svendsen	2012	-	28	57,0	44,5	50,8		
Liv Rosenmai	Sabine Svendsen	2012	-	28	58,5	53,0	55,8		
Katharina Lyngholm		25-10-2012	A2	28	61,1	62,6	61,8	55,8	6,31
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	28	61,5	63,0	62,3		
Katharina Lyngholm		25-10-2012	A1	28	62,2	61,7	62,0		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	28	62,5	62,0	62,3		
Katharina Lyngholm		25-10-2012	A3	28	63,2	53,2	58,2		
Asger B. Carlsen	Søren R. Pedersen	2012	-	28	63,5	53,5	58,5		

D.4 - Mørtelprøver, dimensioner og styrker, uvasket aske

Id	Højde [mm]	Højde i snit [mm]	Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Længde [mm]	Længde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke regnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar	
5C-7-A	40,75	40,20	40,00	40,00	160,00	160,00	307,0	7,2	6,9	747,0	46,7	48,2	1,7		
	40,00		40,00		160,00					790,0	49,4				
	39,85		40,00		160,00										
5C-7-B	39,75	40,22	40,00	40,00	160,00	160,00	289,0	6,7	6,9	778,0	48,6	48,2	1,7		
	40,05		40,00		160,00					729,0	45,6				
	40,85		40,00		160,00										
5C-7-C	38,85	40,20	40,00	40,00	160,20	160,07	291,0	6,8	6,9	792,0	49,5	48,2	1,7		
	40,00		40,00		160,00					792,0	49,5				
	41,75		40,00		160,00										
5C-14-A	40,85	40,27	40,00	40,00	N/A	-	-	-	2,2	818,0	51,1	49,3	2,2	Knækket ved afformning	
	40,00		40,00		N/A					836,0	52,3				
	39,95		40,00		N/A										
5C-14-B	39,80	40,58	40,10	40,03	160,01	160,01	140,0	3,2	2,2	564,0		49,3	2,2	Flækket ved afformning	
	40,65		39,95		160,02					774,0	48,3				
	41,30		40,05		160,00										
5C-14-C	39,75	40,37	40,00	40,00	160,40	160,13	48,0	1,1	2,2	635,0		49,3	2,2	Flækket ved afformning	
	40,35		40,00		160,00					845,0	52,8				
	41,00		40,00		160,00										
5C2-14-A	40,50	40,23	40,00	40,00	160,10	159,98	311,0	7,2	7,2	761,0	47,6	49,3	2,2		
	40,20		40,00		159,85										
	40,00		40,00		160,00										
5C2-14-B	40,00	40,10	40,10	40,02	160,00	160,00	321,0	7,5	7,2	761,0	47,5	49,3	2,2		
	40,10		40,00		160,00					778,0	48,6				
	40,20		39,95		160,00										
5C2-14-C	39,95	40,02	40,10	40,03	160,00	160,00	294,0	6,9	7,2	747,0	46,6	49,3	2,2		
	39,90		40,00		160,00					788,0	49,2				
	40,20		40,00		160,00										
5C-28-A	40,60	40,38	40,00	39,90	160,00	160,00	320,0	7,5	7,3	895,0	56,1	54,1	2,4		
	40,10		39,80		160,00					908,0	56,9				
	40,45		39,90		160,00										
5C-28-B	40,00	40,13	39,80	39,93	160,30	160,10	323,0	7,6	7,3	852,0	53,3	54,1	2,4		
	40,00		40,00		160,00					807,0	50,5				
	40,40		40,00		160,00										
5C-28-C	40,15	40,18	39,75	39,85	160,00	159,90	294,0	6,9	7,3	876,0	55,0	54,1	2,4		
	40,10		40,00		159,80					839,0	52,6				
	40,30		39,80		159,90										
10C-7-A	41,00	40,45	40,00	40,03	160,00	160,00	269,0	6,2	6,3	691,0	43,2	43,2	0,5		
	40,30		40,10		160,00					691,0	43,2				
	40,05		40,00		160,00										
10C-7-B	40,00	40,08	39,85	39,95	160,00	160,03	285,0	6,7	6,3	694,0	43,4	43,2	0,5		
	40,00		40,00		160,00					684,0	42,8				
	40,25		40,00		160,10										
10C-7-C	40,70	40,58	40,00	39,95	160,00	160,03	253,0	5,9	6,3	680,0	42,6	43,2	0,5		
	40,55		39,85		160,00					703,0	44,0				
	40,50		40,00		160,10										

Id	Højde [mm]	Højde i snit [mm]	Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Længde [mm]	Længde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke regnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
10C-14-A	41,65	40,69	40,00	40,00	160,30	160,15	271,0	6,2	282,0	734,0	45,9	46,2	0,4	
	40,45		40,00		160,00					738,0	46,1			
	39,96		40,00		160,15									
10C-14-B	41,70	40,73	40,00	40,05	160,00	160,08	312,0	7,2	282,0	738,0	46,1	46,2	0,4	
	40,50		40,15		160,25					734,0	45,8			
	40,00		40,00		160,00									
10C-14-C	42,05	40,80	40,00	40,00	160,05	160,02	263,0	6,0	282,0	749,0	46,8	46,2	0,4	
	40,35		40,00		160,00					743,0	46,4			
	40,00		40,00		160,00									
10C-28-A	41,10	40,60	40,20	40,03	160,10	160,03	318,0	7,3	7,0	788,0	49,2	50,4	0,9	aske
	40,50		39,90		160,00					830,0	51,8			ansamling i
	40,20		40,00		160,00									bunden.
10C-28-B	40,80	40,35	40,00	40,00	160,00	160,03	309,0	7,2	7,0	792,0	49,5	50,4	0,9	
	40,40		40,00		160,10					812,0	50,8			
	39,85		40,00		160,00									
10C-28-C	41,45	40,55	40,10	39,93	160,10	160,03	285,0	6,6	7,0	807,0	50,5	50,4	0,9	
	40,30		39,75		160,00					810,0	50,7			
	39,90		39,95		160,00									
10S-7-A	39,95	40,15	40,00	40,00	160,05	160,02	282,0	6,6	6,5	515,0	32,2	33,1	0,8	
	40,25		40,00		160,00					524,0	32,8			
	40,25		40,00		160,00									
10S-7-B	40,00	40,03	40,00	39,98	160,00	160,00	287,0	6,7	6,5	551,0	34,5	33,1	0,8	
	40,00		39,95		160,00					535,0	33,5			
	40,10		40,00		160,00									
10S-7-C	40,60	40,42	40,00	40,00	160,00	160,00	262,0	6,1	6,5	522,0	32,6	33,1	0,8	
	40,25		40,00		160,00					530,0	33,1			
	40,40		40,00		160,00									
10S-14-A	40,00	40,07	40,10	40,08	160,10	160,03	278,0	6,5	6,5	555,0	34,6	35,0	0,6	
	40,00		40,15		160,00					567,0	35,4			
	40,20		40,00		160,00									
10S-14-B	40,00	40,03	40,10	40,00	160,00	160,00	247,0	5,8	6,5	571,0	35,7	35,0	0,6	
	40,00		39,90		160,00					567,0	35,4			
	40,10		40,00		160,00									
10S-14-C	39,65	39,82	40,10	40,03	160,00	160,00	302,0	7,1	6,5	555,0	34,7	38,1	1,1	
	39,70		40,00		160,00					546,0	34,1			
	40,10		40,00		160,00									
10S-28-A	39,40	40,02	39,90	39,92	159,80	159,90	301,0	7,1	6,7	638,0	40,0	38,1	1,1	
	40,20		40,00		159,90					959,0	38,7			
	40,45		39,85		160,00									
10S-28-B	39,65	40,07	40,00	40,00	160,00	159,97	287,0	6,7	6,7	607,0	37,9	38,1	1,1	
	40,00		40,00		160,00					597,0	37,3			
	40,55		40,00		159,90									
10S-28-C	39,60	40,10	40,00	40,00	160,00	159,97	269,0	6,3	6,7	593,0	37,1	38,1	1,1	
	40,00		40,00		159,90					598,0	37,4			
	40,70		40,00		160,00									



D.5 - Mørtelprøver, dimensioner og styrker, vasket aske

Id	Højde i snit [mm]		Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke		Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
	Højde [mm]	Højde i snit [mm]						beregnet [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]		
C0,S4-A	39,90	40,13	39,85	39,95	291,0	6,8	7,3	702,0	43,7	43,7	1,2
	40,00		40,00					-	-		
	40,50		40,00					-	-		
C0,S4-B	40,00	40,35	40,00	39,95	320,0	7,5	7,3	689,0	42,7	43,7	1,2
	39,95		40,00					695,0	43,1		
	41,10		39,85					-	-		
C0,S4-C	39,60	40,17	40,00	40,00	327,0	7,6	7,3	729,0	45,4	43,7	1,2
	40,15		40,00					-	-		
	40,75		40,00					-	-		
C4,S0-A	40,25	40,27	39,80	39,87	352,0	8,3	7,7	776,0	48,2	46,4	2,2
	40,20		39,95					776,0	48,2		
	40,35		39,85					-	-		
C4,S0-B	40,50	40,32	40,10	40,02	309,0	7,2	7,7	704,0	43,7	46,4	2,2
	40,30		40,05					-	-		
	40,15		39,90					-	-		
C4,S0-C	40,00	40,00	40,00	39,97	322,0	7,6	7,7	731,0	45,7	46,4	2,2
	40,00		40,00					-	-		
	40,00		39,90					-	-		
C2,S2-A	40,00	40,05	40,00	39,98	320,0	7,5	7,5	745,0	46,5	45,9	1,3
	40,00		40,00					-	-		
	40,15		39,95					-	-		
C2,S2-B	39,85	39,95	39,85	39,90	332,0	7,8	7,5	704,0	44,1	45,9	1,3
	40,00		40,00					-	-		
	40,00		39,85					-	-		
C2,S2-C	40,00	40,13	40,00	40,00	305,0	7,1	7,5	745,0	46,4	45,9	1,3
	39,90		40,00					751,0	46,8		
	40,50		40,00					-	-		
C0,S8-A	39,40	39,97	40,00	39,87	275,0	6,5	6,5	626,0	39,2	37,9	1,0
	39,90		39,80					606,0	37,9		
	40,60		39,80					-	-		
C0,S8-B	40,10	40,13	40,00	39,92	298,0	7,0	6,5	609,0	37,9	37,9	1,0
	40,00		39,90					-	-		
	40,30		39,85					-	-		
C0,S8-C	41,15	40,35	39,90	39,90	262,0	6,1	6,5	593,0	36,7	37,9	1,0
	40,05		39,90					-	-		
	39,85		39,90					-	-		
C8,S0-A	40,20	40,13	40,00	39,90	291,0	6,8	11,0	704,0	43,9	44,8	0,8
	39,90		39,80					727,0	45,3		
	40,30		39,90					-	-		
C8,S0-B	40,20	40,03	40,00	40,00	331,0	7,8	11,0	713,0	44,5	44,8	0,8
	40,20		40,00					-	-		
	39,70		40,00					-	-		
C8,S0-C	40,30	40,28	40,00	39,93	314,0	7,3	11,0	734,0	45,6	44,8	0,8
	40,15		39,90					-	-		
	40,40		39,90					-	-		

Id	Højde i snit [mm]		Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
	Højde [mm]	Højde i snit [mm]										
C6,S2-A	40,15	40,05	40,10	40,03	280,0	6,5	7,1	-	-	43,2	2,1	
	40,00		40,00					647,0	40,4			
	40,00		40,00					-	-			
C6,S2-B	40,75	40,37	39,80	39,88	303,0	7,1	7,1	691,0	42,8	43,2	2,1	
	40,35		39,85					-	-			
	40,00		40,00					-	-			
C6,S2-C	40,00	40,13	40,00	40,00	334,0	7,8	7,8	707,0	44,0	43,2	2,1	
	40,00		40,00					729,0	45,4			
	40,40		40,00					-	-			
C2,S6-A	39,85	40,05	40,00	40,00	311,0	7,3	6,9	-	-	38,7	0,8	
	40,20		40,00					600,0	37,5			
	40,10		40,00					-	-			
C2,S6-B	40,00	40,00	39,85	39,83	283,0	6,7	6,9	626,0	39,1	38,7	0,8	
	40,00		39,75					-	-			
	40,00		39,90					-	-			
C2,S6-C	40,00	40,00	40,00	39,92	280,0	6,6	6,6	626,0	39,1	38,7	0,8	
	40,00		39,85					626,0	39,1			
	40,00		39,90					-	-			
C4,S4-A	40,00	40,00	40,00	39,97	293,0	6,9	6,9	665,0	41,6	40,7	1,1	
	39,80		40,00					-	-			
	40,20		39,90					-	-			
C4,S4-B	40,00	40,05	40,00	39,93	285,0	6,7	6,8	665,0	41,5	40,7	1,1	
	40,00		39,80					-	-			
	40,15		40,00					-	-			
C4,S4-C	40,20	40,02	40,00	40,00	291,0	6,8	6,8	645,0	40,3	40,7	1,1	
	40,10		40,00					628,0	39,2			
	39,75		40,00					-	-			
C10,S2-A	39,85	39,93	40,00	40,03	275,0	6,4	6,4	644,0	40,3	40,3	0,7	
	40,25		40,10					-	-			
	39,70		40,00					-	-			
C10,S2-B	40,10	39,82	39,90	39,97	282,0	6,7	6,7	656,0	41,2	40,3	0,7	
	40,00		40,00					629,0	39,5			
	39,35		40,00					-	-			
C10,S2-C	40,75	40,33	40,00	40,00	305,0	7,1	7,1	647,0	40,1	40,3	0,7	
	40,00		40,00					-	-			
	40,25		40,00					-	-			
C2,S10-A	39,90	40,20	40,15	39,95	253,0	5,9	6,2	539,0	33,5	35,4	1,3	
	40,25		39,90					579,0	36,0			
	40,45		39,80					-	-			
C2,S10-B	40,20	40,13	39,90	39,90	278,0	6,5	6,2	568,0	35,4	35,4	1,3	
	40,05		39,95					-	-			
	40,15		39,85					-	-			
C2,S10-C	40,00	39,88	40,00	40,00	263,0	6,2	6,2	-	-	35,4	1,3	
	40,00		40,00					584,0	36,6			
	39,65		40,00					-	-			

Id	Højde i snit [mm]		Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]		Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
	Højde [mm]	Højde i snit [mm]											
C8,S4-A	40,20	40,23	40,00	40,00	283,0	6,6		-		39,5	39,9	1,3	Knækket v. afformning
	40,30		40,00					635,0					
	40,20		40,00					-					
C8,S4-B	40,00	39,97	39,85	39,95	-		6,6	1.026,0	41,4		39,9	1,3	Knækket v. afformning
	39,90		39,90					Udgår					
	40,00		40,10					-					
C8,S4-C	40,30	40,28	40,00	40,00	-			-		38,9	39,9	1,3	Knækket v. afformning
	40,45		40,00					627,0					
	40,10		40,00					-					
C4,S8-A	40,00	40,15	40,00	40,05	262,0	6,1		526,0	32,8		33,9	1,2	
	40,20		40,15					549,0	34,2				
	40,25		40,00					-					
C4,S8-B	40,25	40,25	40,00	40,00	278,0	6,5	6,3	535,0	33,2		33,9	1,2	
	40,20		40,00					571,0	35,5				
	40,30		40,00					-					
C4,S8-C	40,20	40,28	40,00	40,00	-			-			33,9	1,2	Knækket v. afformning
	40,35		40,00					-					
	40,30		40,00					-					
C6,S6-A	40,30	40,27	40,05	40,17	272,0	6,3		-		36,9	36,3	0,9	
	40,20		40,15					595,0					
	40,20		40,30					-					
C6,S6-B	40,00	40,32	40,00	39,97	300,0	7,0	6,6	597,0	37,0		36,3	0,9	
	40,25		39,90					566,0	35,1				
	40,70		40,00					-					
C6,S6-C	39,80	40,05	40,00	40,00	283,0	6,6		577,0	36,0		36,3	0,9	
	40,00		40,00					-					
	40,35		40,00					-					
C10,S6-A	39,90	40,15	40,00	40,00	256,0	6,0		539,0	33,6		33,3	0,2	
	40,00		40,00					535,0	33,3				
	40,55		40,00					-					
C10,S6-B	40,00	40,07	40,00	40,00	262,0	6,1	6,1	-		33,1	33,3	0,2	
	40,00		40,00					530,0					
	40,20		40,00					-					
C10,S6-C	40,00	40,00	40,15	40,12	260,0	6,1		535,0	33,4		33,3	0,2	
	40,00		40,00					-					
	40,00		40,20					-					
C6,S10-A	39,90	39,97	40,00	40,00	249,0	5,8		-		30,2	29,7	0,6	
	40,00		40,00					482,0					
	40,00		40,00					-					
C6,S10-B	40,10	40,37	40,20	40,07	220,0	5,1	5,6	482,0	29,9		29,7	0,6	
	40,60		40,00					482,0	29,9				
	40,40		40,00					-					
C6,S10-C	38,50	38,95	40,00	40,00	242,0	5,8		450,0	28,9		29,7	0,6	
	39,45		40,00					-					
	38,90		40,00					-					

Id	Højde i snit [mm]		Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
	Højde [mm]	Højde i snit [mm]										
C8,S8-A	39,45	39,85	40,20	40,10	247,0	5,8	5,8	513,0	32,2	31,7	0,8	
	39,80		40,10					495,0	31,1			
	40,30		40,00					-	-			
C8,S8-B	40,00	40,23	40,15	40,05	251,0	5,8	5,8	526,0	32,7	31,7	0,8	
	40,30		40,00					-	-			
	40,40		40,00					-	-			
C8,S8-C	40,20	40,27	40,00	40,00	-			499,0	31,0	31,7	0,8	Knækket v. afformning
	40,00		40,00					-	-			
	40,60		40,00					-	-			
C10,S10-A	40,25	40,37	40,00	40,00	229,0	5,3	5,3	426,0	26,4	25,7	1,1	
	40,40		40,00					-	-			
	40,45		40,00					-	-			
C10,S10-B	40,00	40,28	40,00	40,00	229,0	5,3	5,3	399,0	24,8	25,7	1,1	
	40,35		40,00					397,0	24,6			
	40,50		40,00					-	-			
C10,S10-C	40,45	40,40	40,00	40,02	229,0	5,3	5,3	434,0	26,9	25,7	1,1	
	40,20		40,00					-	-			
	40,55		40,05					-	-			
C0,S0-A	39,50	39,72	40,00	40,00	327,0	7,7	7,9	Udgår	-	45,4	1,1	
	39,75		40,00					745,0	46,7			
	39,90		40,00					-	-			
C0,S0-B	39,70	39,90	40,00	40,00	343,0	8,1	7,9	745,0	46,7	45,4	1,1	
	40,00		40,00					-	-			
	40,00		40,00					-	-			
C0,S0-C	40,00	40,03	40,00	40,00	341,0	8,0	7,9	718,0	44,8	45,4	1,1	
	40,10		40,00					714,0	44,6			
	40,00		40,00					-	-			
C5,S0-A	40,00	40,47	40,20	40,08	341,0	7,9	7,8	725,0	44,8	46,1	1,5	
	40,45		40,05					752,0	46,5			
	40,95		40,00					-	-			
C5,S0-B	41,30	40,30	40,20	40,07	336,0	7,8	7,8	787,0	48,8	46,1	1,5	
	40,20		40,00					722,0	44,8			
	39,40		40,00					-	-			
C5,S0-C	41,00	40,42	40,15	40,02	332,0	7,7	7,8	744,0	46,0	46,1	1,5	
	40,30		40,00					736,0	45,5			
	39,95		39,90					-	-			
C10,S0-A	40,20	40,10	40,00	40,00	332,0	7,8	7,4	673,0	42,0	42,5	1,3	
	40,10		40,00					695,0	43,3			
	40,00		40,00					-	-			
C10,S0-B	39,70	39,97	40,15	40,05	300,0	7,0	7,4	658,0	41,2	42,5	1,3	
	40,10		40,00					666,0	41,7			
	40,10		40,00					-	-			
C10,S0-C	40,65	40,28	40,00	40,03	321,0	7,5	7,4	721,0	44,7	42,5	1,3	
	40,20		40,10					682,0	42,3			
	40,00		40,00					-	-			

Id	Højde i snit [mm]		Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]		Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
	Højde [mm]	Højde i snit [mm]						Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]				
C0,S10-A	40,20	40,23	40,10	40,08	309,0	7,2	6,8	609,0	37,8	36,9	0,7		
	40,15		40,05					584,0	36,3				
	40,35		40,10					-	-				
C0,S10-B	40,60	40,50	39,90	40,02	264,0	6,1	6,8	582,0	35,9	36,9	0,7		
	40,35		40,05					602,0	37,2				
	40,55		40,10					-	-				
C0,S10-C	40,25	40,08	40,10	40,13	311,0	7,2	6,8	591,0	36,9	36,9	0,7		
	40,00		40,15					595,0	37,1				
	40,00		40,15					-	-				
C2,S0-A	40,40	40,35	40,10	40,07	329,0	7,6	7,6	727,0	45,0	44,6	1,5	Bund hang i formen, let ujævn overflade	
	40,20		40,10					709,0	43,9				
	40,45		40,00					-	-				
C2,S0-B	39,80	39,88	40,00	40,10	350,0	8,2	7,6	738,0	46,3	44,6	1,5	Bund hang i formen, let ujævn overflade	
	40,00		40,20					714,0	44,8				
	39,85		40,10					-	-				
C2,S0-C	40,00	40,00	40,20	40,07	302,0	7,1	7,6	727,0	45,4	44,6	1,5	Bund hang i formen, let ujævn overflade	
	40,00		40,00					671,0	41,9				
	40,00		40,00					-	-				
C0,S2-A	40,20	40,00	40,00	40,03	303,0	7,1	7,7	698,0	43,6	45,0	2,0		
	40,00		40,00					729,0	45,6				
	39,80		40,10					-	-				
C0,S2-B	39,90	39,78	40,00	40,00	341,0	8,0	7,7	673,0	42,3	45,0	2,0		
	39,80		40,00					763,0	47,9				
	39,65		40,00					-	-				
C0,S2-C	39,80	39,57	40,10	40,10	334,0	7,9	7,7	702,0	44,4	45,0	2,0		
	39,80		40,20					731,0	46,2				
	39,10		40,00					-	-				
C1,S1-A	40,25	40,15	40,10	40,15	311,0	7,2	7,6	700,0	43,6	44,3	0,6		
	40,00		40,35					707,0	44,0				
	40,20		40,00					-	-				
C1,S1-B	40,10	40,42	40,10	40,08	361,0	8,3	7,6	731,0	45,2	44,3	0,6		
	40,45		40,15					714,0	44,2				
	40,70		40,00					-	-				
C1,S1-C	40,10	40,05	40,25	40,12	318,0	7,4	7,6	709,0	44,3	44,3	0,6		
	39,85		40,10					714,0	44,6				
	40,20		40,00					-	-				
C3,S1-A	39,85	39,75	40,10	40,07	354,0	8,3	7,8	731,0	46,0	43,7	1,5		
	40,00		40,00					702,0	44,2				
	39,40		40,10					-	-				
C3,S1-B	39,80	39,68	39,85	39,75	330,0	7,9	7,8	700,0	44,1	43,7	1,5		
	39,85		39,80					660,0	41,6				
	39,40		39,60					-	-				
C3,S1-C	39,65	39,98	40,30	40,25	312,0	7,2	7,8	691,0	43,2	43,7	1,5		
	40,10		40,25					691,0	43,2				
	40,20		40,20					-	-				

Id	Højde [mm]	Højde i snit [mm]	Bredde [mm]	Bredde i snit [mm]	Bøjetrækstyrke målt [kN]	Bøjetrækstyrke beregnet [Mpa]	Bøjetrækstyrke snit [Mpa]	Trykstyrke målt [kN]	Trykstyrke beregnet [Mpa]	Trykstyrke i snit [Mpa]	Standardafvigelse [Mpa]	Kommentar
C1,S3-A	40,90	40,30	40,20	40,07	285,0	6,6	7,3	673,0	41,7	42,6	1,7	
	40,00		40,10					703,0	43,6			
	40,00		39,90					-	-			
C1,S3-B	40,55	40,32	40,25	40,08	332,0	7,7	7,3	676,0	41,9	42,6	1,7	
	40,40		40,00					685,0	42,5			
	40,00		40,00					-	-			
C1,S3-C	40,00	40,13	40,35	40,23	332,0	7,7	7,3	727,0	45,3	42,6	1,7	
	40,10		40,15					649,0	40,4			
	40,30		40,20					-	-			

## E - Mailkorrespondance

### E.1 – Mail fra d. 09/11-14

-----Oprindelig meddelelse-----

Fra: Esben Østergaard Hansen [mailto:[s092805@student.dtu.dk](mailto:s092805@student.dtu.dk)]

Sendt: 3. november 2014 11:54

Til: Ulrik Jørgensen

Emne: Projekt om aske i beton

Hej Ulrik

Jeg var for et par måneder siden nede og hente noget aske hos jer, til brug i mit bachelorprojekt på DTU.

Jeg skal snart holde et oplæg om hvordan det er gået indtil videre, og hvad jeg har lavet. I den forbindelse kunne jeg godt tænke mig at inddrage noget baggrundsinfo om den aske jeg bruger. Jeg har derfor et par spørgsmål som jeg håber du har mulighed for at svare på.

- Hvad sker der med asken på nuværende tidspunkt? Bliver den bare lagt på depot, eller har I nogen der aftager den, og i så fald til hvad?
- Hvor meget aske producere I ca. på en måned? I kg eller i m<sup>3</sup>.
- Hvor rent er det træ I brænder? Her tænker jeg på eventuel lak og lim fra trægulvsproduktionen, eller andet.

Mvh

Esben Hansen

Studerende på DTU

**Ulrik Jørgensen UJ@veks.dk**

09/11-14

Hej Esben

Herned mit lidt sene svar.

Bioasken nyttiggøres p.t. ved iblanding i landbrugseget slam eller som tilsætnings- og tilslagsmateriale i forbindelse med biologisk rensning og/eller stabilisering af jord.

Der produceres p.t. ca. 30-40 tons hver måned. Denne mængde vil stige 2 til 3 gange i 2015, når anlægget last øges.

Det træ vi bruger overholder biomassebekendtgørelsen.

Håber svarene er fyldestgørende, ellers uddyber jeg dem gerne.

Med venlig hilsen

Ulrik Jørgensen

Driftsleder

VEKS

Køge Kraftvarmeværk

Værftsvej 2, 4600 Køge  
T 26 30 22 52  
[www.veks.dk](http://www.veks.dk)

## E.2 – Mail fra d. 04/12-14

-----Oprindelig meddelelse-----

Fra: Esben Østergaard Hansen [mailto:[s092805@student.dtu.dk](mailto:s092805@student.dtu.dk)]

Sendt: 4. december 2014 14:55

Til: Ulrik Jørgensen

Emne: Spørgsmål til rensning af røg, i forbindelse med bachelorprojekt

Hej Ulrik

Jeg er i gang med den afsluttende del af mit projekt omhandlende den aske jeg hentede ude hos jer, og dermed igang med at skrive en masse generelt om flyveaske.

Når jeg læser op på det, bliver der beskrevet en masse kemiske processer, hvor røgen overhældes kalkvand, blæst igennem aktivt kul og så videre.

Da jeg var ude og snakke med dig, fik jeg ikke indtryk af, at der skete andet med jeres røg, end at asken blev opsamlet i posefiltre, og kølet/lagt ned med vand. Er det mig der har misforstået noget, eller er jeres proces bare anderledes fordi I kun fyrer med biomasse?

Mvh  
Esben Hansen

**Ulrik Jørgensen UJ@veks.dk**

04/12-14

Hej Esben

Du har forstået det korrekt at asken opsamles i posefilteret og kølet i en askeblandet og i depot i en hal.

Der kan ske andre processer f.eks. på et kulfyret værk.

Med venlig hilsen  
Ulrik Jørgensen  
Driftsleder

VEKS  
Køge Kraftvarmeværk

Værftsvej 2, 4600 Køge  
T 26 30 22 52  
[www.veks.dk](http://www.veks.dk)



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

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

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