

# Slamaske i armeret beton

Korrosionsrisiko



**Jepp Søbye Andreasen**  
**Leander Jørgensen**

**Diplom Afgangprojekt**

Institut for Byggeri og Anlæg  
2014

DTU Institut for Byggeri og Anlæg  
Januar 2014

## Resumé

Cementproduktionen står på verdensplan for 5 % af CO<sub>2</sub>-udledningen. Derfor er det ønskeligt, at nedsætte produktionen, ved at erstatte, en del af cementen i beton, med afbrændte slamasker. Dette projekt undersøger hvorledes, iblanding af slamaske i beton indvirker på korrosionsmiljøet for armeringsstål.

Slamasken benyttet i dette projekt, er en ikke deponeret aske fra renseanlægget Lynetten. Via tidligere projekter på DTU byg, er det anbefalet, at knuse asken inden iblanding i betonen, da en højere trykstyrke i betonen opnås heraf. Af denne grund er der kun benyttet knust aske i dette projekt.

Askens egenskaber undersøges i laboratorium for, at fastslå karakteristikken, for denne batch af asken. De resterende forsøg er gennemført med mørtelprøver, i stedet for betonprøver, for at opnå mere homogene prøver og dermed mere nøjagtige resultater. Der arbejdes med tre typer prøver. Referenceprøver, prøver med 5 % af sandet er erstattet med aske og prøver hvor 10 % af cementen er erstattet. Det undersøges, om iblanding af aske i mørtelprøverne har indflydelse på transporten af kloridioner ved diffusion, kapillarsugning, porøsitet og densitet. Mørtelprøver med indstøbt armeringsstål blev placeret i en luft-saltvandscyklus, og korrosionsaktiviteten blev undersøgt ved Elektro Kemisk Potentiale måling (EKP) samt ved en visuel undersøgelse.

Askekaraktistikken viste, at asken har en høj pH på 13. Askens vandindhold er højere, end hvad der er fundet i tidligere projekter, på samme type aske fra Lynetten, men stadig væsentligt lavere end vandindholdet i aske fra deponi. Asken har en relativ høj ledningsevne sammenlignet med tidligere projekter. Vandopløseligheden er på 5 %. Det er væsentligt højere end deponeret aske, men tilsvarende tidligere projekter for ny aske fra Lynetten. Den knuste aske har halveret kornstørrelsen efter knusning i forhold til den leverede aske fra Lynetten. Asken har et tungmetalindhold, der klassificerer den som kategori 2, ifølge den danske bekendtgørelse 1662. Dette begrænser anvendelsesmulighederne betydeligt. Ved et leaching forsøg, hvor asken udvaskes i destilleret vand, er det fundet, at der ikke er nogen metaller, der leacher mere end 2,1 % af de enkelte tungmetalkoncentrationer. Asken har et betydeligt højere saltindhold, end prøver der er undersøgt i sideløbende og tidligere projekter. Kloridindholdet er endda højere end asken, der har ligget i depot ved renseanlægget Lynetten.

Ved diffusionsforsøget diffunderede kloridionerne omkring 1,5–2,0 cm ind i prøverne efter 28 dage, selvom kloridindholdet steg ved målinger efter 53 og 78 dage, diffunderede kloridionerne ikke længere ind i prøverne i forsøgsperioden. Der kunne ikke ses nogen signifikant forskel mellem referenceprøven, og de to typer prøver hvor henholdsvis 5 % sand og 10 % cement er erstattet. De visuelle undersøgelser af prøverne med indstøbt armering viste ingen tegn på påbegyndt korrosion. Potentialoprøverne, viste i de første 7 dage tegn på, at prøver med aske tilsat hurtigere ville korrodere. De startede ud på et højere potentiale niveau og steg hurtigere. Men efter 20 dage og herefter ses der ikke længere signifikante tegn på, at askeprøverne var udsat for større korrosionsrisiko end referenceprøven. Askeprøverne passerede hurtigere en grænse på 650 mV, der indikerer, med mere end 90 % sandsynlighed, at korrosionsprocesser er igang. Askeprøverne nåede grænsen efter 7 dage og referenceprøverne når den først efter 21 dage. Herefter stiger prøverne kun svagt, og ligger

kun lige over grænsen i resten af forsøgsperioden. Da der ikke ved afslutningen ses nogen signifikant forskel imellem prøverne, vurderes det, at forsøgene med indstøbte armeringsjern bør ligge i luft-saltvandscyklussen i længere tid end 2 måneder, hvis de skal vise en evt. forskel.

Ligesom i tidligere forsøg, er der ikke fundet uacceptable styrketab i mørtelprøverne når der tilsættes aske. Ved oplukning af mørtelprøverne og følgende undersøgelse af tungmetalindholdet blev der fundet betydelige stigninger i indholdet af arsen, kobber og zink. Indholdet af bly og cadmium steg desuden også. Derimod faldt indholdet af krom og nikkel når aske blev tilsat. De største værdier blev fundet i prøverne hvor 5% sand var erstattet med aske, hvor den største mængde aske i gram blev tilsat.

Iblanding af aske har ikke vist nogen betydelige ændringer af mørtelens densitet. Undersøgelser indikerer dog, at porøsiteten bliver mindre når aske erstatter cement i prøverne. Fra forsøget med kapillarsugning blev det fundet, at prøven 10 % cement havde en hurtigere opsugning end de to andre prøver.

Der er, i dette projekt, ikke fundet nogen afgørende tegn på, at iblanding af aske i beton skulle øge korrosionsrisikoen væsentligt. Der blev dog fundet et uhenigtsmæssigt højt indhold af tungmetaller og en stor variation i askens egenskaber imellem de forskellige batcher fra samme spildevandsanlæg. Dette skal håndteres inden kommerciel brug. Håndteres dette, er der i forhold til korrosionsrisiko ikke argumenter imod at erstatte en del af cementen med slamaske. Herved er der en mulig aftager til spildevandsanlæggenes affald, og samtidig er det muligt at reducere CO<sub>2</sub> udledningen fra cement produktionen.

## Abstract

The production of cement is responsible for 5 % of the global CO<sub>2</sub>-emissions. It is therefore desirable to reduce the production. This could be done by replacing a part of the cement with incinerated sewage sludge ash (ISSA). This project examines how the addition of ISSA to concrete affects the corrosion environment for reinforcement bars.

The ISSA used in this project, is a non-deposit ash from the sewage treatment plant, Lynetten. previous projects at the institute for Civil Engineering at the Technical University of Denmark has found that milling the ash before it is added to the concrete increases compressive strength of the concrete. Because of this only milled ash has been used in this project.

The ISSA has been investigated in the lab for relevant properties and content of heavy metals and anions. The remaining tests have been carried out on mortar samples. Mortar have been used instead of concrete, to make the samples more homogeneous and thereby decrease uncertainties. Three types of mortar samples have been used in the projects: Reference samples, samples where 5 % of the sand has been replaced by ISSA and finally samples where 10 % of the cement has been replaced by ISSA. It is investigated how the addition of ISSA affects: transportation of chloride-ions by diffusion, capillary suction, porosity and density. Mortar samples with embedded reinforcement bars have been placed in an air-saltwater-cycle. Hereafter the corrosion activity has been measured using Electro Chemical Potential measurements and by visual inspection.

In the lab it was found that the ISSA has a high pH-value at 13. The water content was higher than found in previous projects on same type of ISSA from Lynetten. However still considerable lower than the water content of ISSA that has been deposited. The electrical conductivity of the ISSA is relative high compared with previous projects. The solubility in water are 5 %, which is considerable higher than deposited ISSA, but it corresponds to what has been determined in previous projects. The particle size was reduced by half after milling, compared to the received ISSA.

The ISSA contains a level of heavy metals that categorises it as category 2 according to the Danish act 1662. The Danish act 1662 encompasses legislation about waste products for use in construction. If a product falls in category 2 its use is heavily restricted for only certain civil works. In a leaching lab test where the ISSA was washed in distilled water, no heavy metals were found to leach more than 2,1 % of the total concentration. The ISSA has a considerable higher content of salt than what is found in previous and simultaneously projects. The chloride content is even higher than what is found in deposited ISSA.

In diffusion test on the mortar samples it was found that the chlorides diffused around 1.5–2.0 cm into the samples during 28 days. Even though the concentration of chlorides was increased in measurements conducted after 53 and 78 days, the chlorides did not seem to have diffused further into the samples. There was not seen any significant differences in diffusion between the reference samples and the samples with ISSA.



The visual inspection of the samples with reinforcement did not show signs of corrosion after 2 months in the air-saltwater-cycle. The potential measurements suggested at first that the samples with ISSA would corrode faster than the reference samples. After 20 days and beyond it was, however, no longer evident. If the measured potential exceeds 650 mV relative to a SHE-electrode there is with 90 % certainty corrosion activity. The samples with ISSA passed this limit already after 7 days. The reference samples first reached this level after 20 days. However both samples increases only slowly after passing the limit and for the remaining of the test period they both keep just above the limit. Seen in relation to the result of visual inspections it is assessed that the test need to run for a longer period of time to show potential differences between reference and samples with ISSA.

Like in previous projects there has not been found unacceptable losses of strength in the samples with ISSA. Investigation of the concentration of heavy metals, in the mortar samples, found considerable increases in the content of Arsenic, Copper and Zinc. Additionally increases in the content of Lead and Cadmium was also seen. On the other hand the content of chromium and nickel seemed to decrease.

Addition of ISSA did not indicate any influence on the mortars density. However the results for porosity indicates a little tendency that replacing cement with ISSA lowers the porosity. In the capillary suction tests it is was found that replacing cement with ISSA increased the suction. Replacing sand with ISSA did not indicate any difference in capillary suction.

This project has not found critical evidence that addition of ISSA to concrete will increase the risk of corrosion significantly. However there was found a high content of heavy metals and a significant variation between batches of ISSA from the same treatment plant. This needs to be handled before commercial use. However handled there is found no arguments against replacing cement with ISSA in this project. Thereby the cement industry is a possible consumer of waste from the sewage treatment plants and it is at the same time possible to reduce the CO<sub>2</sub>-emissions from the cement production.

# Forord

Denne rapport er afgangprojektet for to diplomingeniør studerende ved Institut for Byggeri og Anlæg på Danmark Tekniske Universitet (DTU). Rapporten er udarbejdet af Jeppe S. Andreasen og Leander Jørgensen. Projektets omfang svarer til 2 x 20 ECTS point og er gennemført i efteråret 2013.

Der skal lyde en særlig tak til:

Lisbeth M. Ottosen, som har været vejleder på projektet.

Per Goltermann og Pernille Erland Jensen som har været medvejledere

Ebba Cederberg Schnell og Louise Gammeltoft for assistance og kyndig vejledning i forbindelse med forsøg.

Kurt Kielsgaard Hansen for grundig introduktion til epoxy-arbejde.

Sabrina Madsen for hjælp med IC- og ICP-måling

Louise Birkemose for hjælp med Laserdefraktrometer anvendt til kornstørrelsesfordeling

(Forsidebilledet: Mørtelprøve med indstøbt armering)

---

Jeppe Søbye Andreasen, s103603

---

Leander Jørgensen, s103588

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>1</b>
1.1	Baggrund . . . . .	1
1.2	Rapportens opbygning . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>5</b>
2.1	Beton . . . . .	5
2.2	Porøsitet, Diffusion og Kapillarsugning . . . . .	8
2.3	Askens indhold af tungmetaller og salte . . . . .	11
2.4	Korrosion af armeringsstål . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Eksperimentelt arbejde</b>	<b>15</b>
3.1	Oversigt over forsøg . . . . .	15
3.2	Oversigt over støbninger . . . . .	16
3.3	Askekarakteristik . . . . .	17
3.4	Støbebeskrivelse . . . . .	19
3.5	Belægning med epoxy . . . . .	21
3.6	Diffusion . . . . .	22
3.7	Armeringsprøver . . . . .	24
3.8	Materialeprøvning . . . . .	26
3.9	Porøsitet . . . . .	26
3.10	Densitet . . . . .	27
3.11	Kapillarsugning . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Resultater og diskussion</b>	<b>28</b>
4.1	Askekarakteristik . . . . .	28
4.2	Transport af kloridioner ved diffusion . . . . .	33
4.3	Prøver med indstøbt armeringsstål . . . . .	36
4.4	Densitet og Porøsitet . . . . .	38
4.5	Kapillarsugning . . . . .	40
4.6	Materialetest . . . . .	41
4.7	Opsummering . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Konklusion</b>	<b>46</b>

<i>INDHOLD</i>	vii
<b>Litteratur</b>	<b>48</b>
<b>Bilag</b>	<b>51</b>
<b>A Støbebog, Støbebeskrivelse og tidsplan</b>	<b>53</b>
<b>B Forsøgsvejledninger</b>	<b>57</b>
B.1 pH i 1 M KCl opslemning. Jord-væske forhold 1:2,5 . . . . .	57
B.2 Vandindhold i jord . . . . .	60
B.3 Glødetab i jord . . . . .	63
B.4 Måling af ledningsevne i jord . . . . .	66
B.5 Vandopløselighed . . . . .	69
B.6 Syreoplukning på hærdet beton . . . . .	71
B.7 Bestemmelse af klorid ved titrering . . . . .	73
B.8 Oplukning af jordprøve efter DS 259 . . . . .	76
B.9 Leaching . . . . .	80
B.10 Vandopløse anioner . . . . .	82
B.11 Porøsitet, Densitet og Kapillarsugning . . . . .	84
<b>C Data fra Askekarakteristik</b>	<b>97</b>
C.1 Data for laboratorieforsøg . . . . .	97
C.2 Data fra ICP-måling ved oplukning af askeprøve . . . . .	99
C.3 Data fra ICP-måling på leaching af askeprøve . . . . .	101
C.4 Data fra IC-måling til bestemmelse af vandopløselige anioner . . . . .	103
C.5 Data fra kornstørrelsesfordelingen . . . . .	105
C.6 Billeder fra Scanning Electron Microscope . . . . .	122
<b>D Diffusionsforsøg</b>	<b>125</b>
D.1 Data for diffusionsforsøg . . . . .	125
D.2 Kloridindtrængning over tid . . . . .	131
<b>E Data fra Kapillarsugning forsøgene</b>	<b>133</b>
<b>F Data fra potentialemålinger</b>	<b>135</b>
<b>G Data fra Densitet og Porøsitet målingerne</b>	<b>137</b>
<b>H Data fra trykforsøgene</b>	<b>139</b>
H.1 Billeder af brudformer . . . . .	141
<b>I Data fra ICP-måling efter oplukning af mørtelprøve</b>	<b>143</b>
<b>J Epoxy vejledning og datablade</b>	<b>145</b>
<b>K Poster</b>	<b>161</b>

# 1 Indledning

Dette projekt undersøger hvorledes, iblanding af slammaske i beton indvirker på korrosionsmiljøet for armeringsstål. Forsøgene gennemføres med mørtelprøver, med og uden indstøbt armeringsstål. Der foretages Elektro Kemisk Potentiale (EKP) måling, samt visuel inspektion, af det indstøbte armeringsstål. Desuden undersøges det, hvorledes mørtelens densitet, porøsitet, kapillarsugning og transport af kloridioner ved diffusion, ændrer sig ved iblanding af asken. Der foretages yderligere, laboratorieforsøg på asken, for at bestemme askens egenskaber og indhold som f.eks. vandindhold og pH.

Da undersøgelserne med slammaske stadig er på forsøgsstadiet, findes der endnu ikke standarder, som resultater fra dette projekt kan sammenlignes med. Derfor anvendes [DS/EN 450-1, 2012], der er en dansk standard for flyveaske, til at finde vejledende og sammenlignelige værdier. Desuden anvendes [BEK nr. 1662, 2010] der dækker anvendelse af restprodukter, jord samt bygge- og anlægsaffald til bygge- og anlægsarbejder.

Slamasken, der anvendes i dette projekt, er fra spildevandsanlægget Lynetten. Asken benævnes Lynetten Ny-2. Asken er modtaget direkte fra forbrændingen, og er den anden batch som DTU modtager. Sideløbende gennemføres der tilsvarende projekter ved DTU med aske, der har ligget i depot fra Lynetten (Lynetten Depot-2, se [Rem, 2014]) og ny aske fra spildevandsanlægget på Avedøre (Avedøre Ny-2, se [Kurt, 2014]).

## 1.1 Baggrund

De seneste 100 år har menneskeheden udledt  $\text{CO}_2$  i så store mængder, at vi i dag har et  $\text{CO}_2$ -indhold i atmosfæren på over 400 ppm. Dette er større end koncentrationen i atmosfæren over de sidste 3–5 millioner år [Nielsen, 2013]. Den fulde konsekvens af denne udledning er stadig ukendt. På trods af gode intentioner om at nedsætte udledning, udleder vi stadig mere  $\text{CO}_2$  år for år. Cementproduktionen står på verdensplan for 5 % af den samlede udledning [IEA og WBCSD, 2009]. Hvis det er muligt at erstatte noget af cementen i beton med et andet materiale, der ikke udleder  $\text{CO}_2$  i samme grad under forarbejdning, vil det kunne betyde store og nødvendige besparelser på den globale udledning af  $\text{CO}_2$ .

Slam er betegnelsen for det faststof, der er tilbage på spildevandsanlæggene, efter at spildevandet er rensat. Asken afbrændes, og benævnes som slammaske. Slammet afbrændes for at begrænse mængden der skal deponeres, samtidig med at det genererer

strøm [Werther og Ogada, 1999]. Slammets kemiske bestanddele varierer fra anlæg til anlæg, og afhænger primært af hvilken type industri eller hustande spildevandsanlægget servicerer.

I løbet af de sidste 60 år er den menneskelige population steget fra 2.5 milliarder i 1950 til næsten 7 milliarder i 2010 [De Forenede Nationer, 2012]. Befolkningstilvæksten, har skabt betydelige udfordringer, herunder medført store spildevandsmængder. Spildevandsmængden betyder, at vi i langt højere grad end tidligere deponerer aske. Deponeringen er ikke en bæredygtig løsning og som årene går vil menneskeheden opleve større og større problemer med de deponerede affaldsmængder. Desuden indeholder asken grundstoffer, der i dag anses for værende knappe ressourcer, der potentielt kan udtrækkes fra asken, f.eks. fosfor [Ottosen et al., 2013b]. For at løse affaldsproblemet med slamaske overvejes det om det kan indgå i byggeriet som tilsætning i beton.

De senere år, er der påbegyndt projekter, der undersøger muligheden for at blande slamasken i beton, og dermed slippe af med et affaldsprodukt, på en mere optimal måde. [Donatello et al., 2009] undersøger om knusning og syrevaskning af slamasken, har indvirkning på dens puzzolanske egenskaber. [Pan et al., 2003] undersøger, om slamaskens finhed påvirker mørtelens egenskaber. [Yen et al., 2012] undersøger, effekten af at blande slamasken med andre affaldsasker. Undersøgelserne, der er foregået på institutter over hele verden, har primært fokuseret på, hvorledes iblandingen af asken påvirker betonens styrkeegenskaber, herunder hvorvidt slamasken har puzzolan eller filler effekt.

I efteråret 2012 blev der gennemført en række projekter ved institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet, heriblandt: [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013] som begge undersøger aske fra Lynetten hhv. Lynetten Ny-1 og Lynetten Depot. Projekterne fandt, at de undersøgte aske ikke indikerede puzzolanske effekter. Det blev vist, at findeling af askerne havde en positiv indvirkning på betonens styrkeegenskaber, formentlig på grund af filler-effekt.

Sammenfattes resultaterne fra tidligere undersøgelser, indikeres det, at slamaske generelt kan anvendes i beton, uden at reducere styrkeegenskaberne væsentligt — såfremt asken knuses. Der må forventes, at slamaskerne besidder lille eller ingen puzzolanske egenskaber, men at de kan fungere som filler, såfremt at de findeles. Det skal dog bemærkes, at der ikke er overensstemmelse i litteraturen om hvorvidt askerne besidder puzzolan effekt. Dette er et tegn på, at slamasker fra forskellige spildevandsanlæg har forskellige egenskaber. Dette skal der tages højde for, og det er vigtigt, at være bevidst om hvorvidt de egenskaber, der hører sig til en bestemt aske, er specifikke eller generelle egenskaber.

Hvis det er muligt, at fylde slamasken i beton uden at forringe betonens kvalitet i nævneværdig grad, er det i teorien muligt at løse 3 problemer ved at bruge slamasken i byggeriet:

1. Leverer en kilde til fosfor, såfremt dette kan udtrækkes af asken på en økonomisk bæredygtig måde.
2. Reducere størrelsen på deponi.
3. Mindske CO<sub>2</sub>-udledningen ved at reducere cement-produktionen.

For at dette kan opnås må det blandt andet kræves at:

1. Asken ikke indeholder stoffer eller egenskaber, der er potentielt farlige for betonen eller armeringen.
2. At asken ikke har et uacceptabelt højt indhold af miljøskadelige stoffer, der med tiden vil trække ud af betonen
3. Asken giver en filler eller puzzolan effekt, der gør, at asken kan erstatte en andel af cementen i beton uden væsentlig styrkeforringelse.

Der er fortsat en del ubesvarede spørgsmål, inden slamasken kan anvendes i byggebranchen. Hvilken indvirkning har asken på betonens korrosionsmiljø for armeringsstålet? På betonens bearbejdelighed? På selve betonens holdbarhed? Er der skadelige stoffer i asken, som kan lække ud af betonen og være til skade for mennesker eller natur?

Dette projekt undersøger, hvorledes asken påvirker korrosionsmiljøet af armeringsstålet. Skaber asken et miljø, der er gunstigt eller ugunstigt for armeringsstålet, enten direkte eller indirekte?

## 1.2 Rapportens opbygning

Rapporten er skrevet med forventning om at læseren har et fagligt niveau der tilsvarende en 7. semester diplom bygningsingeniør studerende. Rapporten er opbygget på følgende måde:

**Indledning** Her gennemgås rapportens formål, omfang og opbygning, samt et sammen- drag af de væsentlige erfaringer der gjort på området i litteraturen.

**Teori** I dette afsnit gennemgås den nødvendige teori for at forstå projektet.

**Forsøg** I dette afsnit gennemgås fremgangsmåden for forsøg, der er udviklet under projektet. Forsøg der følger vejledninger fra tidligere DTU-projekter eller standarder omtales kort, og forsøgsbeskrivelserne ligger i bilag.

**Resultater og diskussion** I dette afsnit gennemgås resultaterne i form af tabeller eller figurer. Implikationerne af resultaterne diskuteres her og hvor der foreligger resultater fra lignende forsøg, sammenlignes med disse. Rå data er at finde i bilag, sammen med de mellemregninger der er blevet anvendt.

**Konklusion** Her gennemgås de konklusioner som projektet har givet anledning til.

Det er valgt tre typer prøver der skal testes. En prøve hvor 10 % cement erstattes af slamaske, en prøve hvor 5 % sand erstattes af slamasken og en referenceprøve. I rapporten omtales de generelt, for læsbarhedens skyld, henholdsvis som: 10 % cement (10 % C), 5 % sand (5 % S) og reference (REF). I undersøgelserne kigges der primært på forskellen mellem disse tre prøver, for at kunne konkludere en forskel mellem referenceprøven og de to askeprøver.



# 2 Teori

## 2.1 Beton

### Historie

Beton er i dag et af de vigtigste byggematerialer. Det bruges i stor udstrækning på mange byggepladser, og betragtes af mange som et moderne byggemateriale. Beton eller betonlignende materialer er dog ikke nogen ny opfindelse. Dette er Pantheon i Rom bevis på, kuplen er opført i år 125 e.v.t. men i løbet af det efterfølgende halve årtusinde, i folkevandringstiden, gik betonen langsomt i glemmebogen. Først i det 19. århundrede blev Portlandcementen udviklet og udbredt på ny. [Herholdt et al., 1985] I dag er beton det mest anvendte byggemateriale, og bliver anvendt til så forskellige



(a) Pantheon i Rom, Opført 125 e.v.t.  
Foto: Eva Heinsbroek



(b) Storebæltsforbindelsens østbro.  
Pylonerne og bropillerne er af beton.  
Kablet og brodrageren er af stål

Figur 2.1: Eksempler på historisk og moderne brug af beton.

formål som til højhuse, broer og anlægskonstruktioner. Beton er i forhold til mange andre byggematerialer billigt, og det kan i princippet udstøbes i hvilken som helst form. Derfor er beton særdeles udbredt i nutidens byggebranche. Cement, der virker som bindemiddel i betonen havde i 2006 en årlig produktion på 2,55 mia. tons, og det forventes, at denne mængde vil stige med mellem 45 – 73 % i 2050. [IEA og WBCSD, 2009]

## Sammensætning

Beton har tre hovedbestanddele: cement, vand og tilslag. Herudover bruges der i dag forskellige tilsætningsstoffer, der øger eller hæmmer visse egenskaber ved betonen.

### Cement

I dette projekt arbejdes der udelukkende med Portlandcement, der primært består af brændt kalk, hvilket betegnes som et hydraulisk bindemiddel. Dette betyder, at det brændte kalk opnår styrke i reaktion med vand. For at producere cement lægges kalken i en ovn, og under opvarmning foregår processen 2.1. [Hansen et al., 2008]



Hvor kalkklinkerne bliver brændt til kalk (CaO) under udskillelse af kuldioxid (CO<sub>2</sub>). Ved brændingen tilsættes desuden andre materialer, der blandt andet består af silicium, aluminium og jern disse materialer omdannes også til oxider, der sammen med calciumoxiden danner klinkerminerale. Der findes flere klinkerminerale end dem listet i

Tabel 2.1: Oversigt over væsentlige klinkerminerale [Herholdt et al., 1985]

	Alm. notation	Cement notation
<b>Oxide</b>		
Kalciumhydroxid	Ca(OH) <sub>2</sub>	CH
<b>Klinkerminerale</b>		
Trikalciumsilikat	3 CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Dikalciumsilikat	2 CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Trikalciumaluminat	3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Tetrakalciumaluminatferrit	4 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

tabel 2.1 men disse er de vigtigste og vejer sammenlagt 91% i en typisk cementsammensætning [Herholdt et al., 1985].

**Trikalciumsilikat C<sub>3</sub>S** er det mest forekommende materiale i portlandcement. Det har især betydning for den tidlige styrkeudvikling i reaktion med vand.

**Dikalciumsilikat C<sub>2</sub>S** Hydratiserer langsomt i forhold til C<sub>3</sub>S og har dermed betydning for de sene styrker.

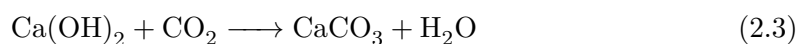
**Trikalciumaluminat C<sub>3</sub>A** er medvirkende til at øge den tidlige styrke i betonen. Ved for stor tilstedeværelse vil C<sub>3</sub>A producere ettringit, hvis den bliver udsat for sulfater. Ettringit fylder mere end reaktanterne, og kan dermed skabe revner og deraf følgende styrketab i betonen.

**Tetrakalciumaluminatferrit  $C_4AF$**  har ikke den store betydning for cementpastaens styrkeudvikling i sammenligning med de ovennævnte klinkermaterialer. Den er dog mere modstandsdygtig i forhold til sulfatangreb.

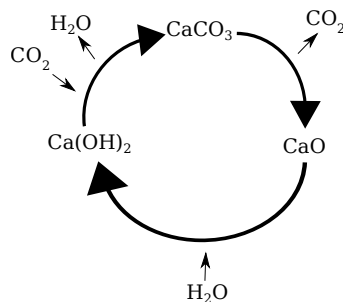
Alt efter størrelsen af indholdet i de ovenstående klinkerminerale, kan de forskellige egenskaber i cementpastaen ændres, så den modsvarer en specifik problemstilling på udstøbningsstedet. Fælles for  $C_3S$  og  $C_2S$  er, at når de hydratiseres dannes der tobermorit samt calciumhydroxid efter reaktion 2.2.



Hvor  $x$  og  $y$  er støkiometriske koefficienter, der er forskellige for de to reaktioner.  $n$  kan påtage værdien 2 eller 3. Calciumhydroxiden spiller en central rolle i forbindelse med brug af armering. Det er calciumhydroxiden der primært skaber det basiske miljø i betonen og dermed beskytter armeringen mod korrosion. calciumhydroxiden vil dog gerne reagere med luftens kuldioxid og danne calciumkarbonat. Denne proces giver betonen højere styrke, men sænker pH'en, der beskytter armeringsjernet. Processen kaldes karbonatisering og forløber efter reaktion 2.3



Det bemærkes, at denne proces netop er en tilbagevenden til kalkens oprindelige tilstand, man kan derfor tale om kalkens reaktionscyklus, som er opskrevet i figur 2.2.



Figur 2.2: princippet for kalkstenscyklus

## Tilslag

Tilslaget er den største volumenmæssige bestanddel i betonen. Det fylder omkring 75 % af det samlede volumen [Herholdt et al., 1985]. Tilslaget består af sand og sten, hvilket har ens bestanddele, men har forskellige benævnelser alt efter korn størrelse. Tilslaget har en stor styrke, men der findes ikke bindende kræfter imellem kornene, hvorfor cement bruges som bindemiddel. Tilsammen skabes der et stærkt produkt. Tilslaget bruges også i beton af økonomiske årsager, da det er billigere at udvinde sand og sten end cement. For at sikre en billig beton, er det vigtig at vælge den optimale maksimale kornstørrelse, samt

kornstørrelsesgraderingen for tilslaget, da disse har betydning for hvor meget tilslag, der kan tilsættes til betonen i forhold til cementen uden der sker separation, hvor tilslaget mister sammenhængskraften med cementen.

### Tilsætningsmidler

Udover de tre hovedbestanddele kan der også tilsættes stoffer, som kan modificere betonens egenskaber. Blandt disse findes acceleratorer og retardere, der enten øger eller sænker tiden betonen bruger på at hærde og afbinde. Luftindblandingsstoffer øger betonens luftindhold, hvilket som nævnt ovenfor øger frostbestandigheden. Plastificeringsstoffer kan ændre ved bearbejdigheden af betoner. Der findes flere typer stoffer, men de ovennævnte er de mest anvendte. [Herholdt et al., 1985].

### Puzzolaner

Som nævnt havde de gamle romere allerede opdaget et betonlignende materiale ved årtusindeskiftet. Denne beton bestod blandt andet af puzzolaner. Puzzolan er en vulkansk bjergart, der ikke umiddelbart har nogle bindemiddelegenskaber, men i reaktionen med calciumhydroxid, dannes der bindemiddelegenskaber hvis puzzolanen har en tilpas lille kornstørrelse. I nutidens betonfremstilling bruges der ikke den vulkanske bjergart, men udtrykket puzzolan lever videre ved, at man også har fundet andre stoffer, der har den såkaldte puzzolaneffekt. Dette er blandt andet flyveaske og mickrosilica.

## 2.2 Porøsitet, Diffusion og Kapillarsugning

### Porøsitet

Porøsiteten af et materiale beskriver forholdet imellem porerne og faststoffet. Der findes to primære definitioner på porøsitet: *den åbne porøsitet* og *den totale porøsitet*. Den åbne porøsitet er defineret som forholdet mellem volumen af de åbne porer og det samlede volumen. I den totale porøsitet er det volumen af både de åbne og lukkede porer, der er medtaget. I dette projekt omtales den åbne porøsitet, som den generelle porøsitet, defineret som i ligning 2.4.

$$p \equiv p_{\text{å}} = \frac{V_{\text{å}}}{V} \quad (2.4)$$

hvor  $V_{\text{å}}$  er det åbne porevolumen og  $V$  er totalvolumenet

Porøsiteten har stor betydning for betonens egenskaber. F.eks. vil en stor porøsitet give en lav trykstyrke, men tilgængæld øge betonens frostbestandighed, da de mange luftrum vil fungere som ekspansionskammer, når vandet fryser. I forbindelse med korrosion af armeringsstålet har porøsiteten også en væsentlig betydning. En stor porøsitet vil gøre det nemmere for vand, der kan transportere klorider med sig, at trænge ind i betonen. I [Herholdt et al., 1985] deles porerne op i 3 kategorier.

**Gelporer** diameter  $< 2$  nm. På grund af gelporerens lille diameter har vand svært ved at blive transporteret, da der opstår meget friktion mellem vandmolekylet, der har en størrelse på 0,3 nm, og porevæggen.

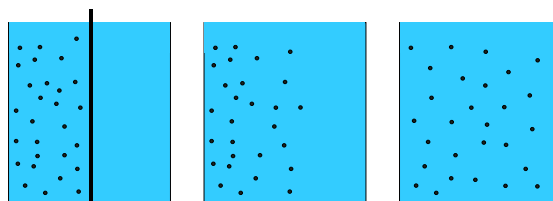
**Kapillarporer** diameter 2 nm – 5  $\mu\text{m}$ . Kapillarporerne har en størrelse, som mere effektivt kan transportere vand, vandtransporten kan foregå ved kapillarsugning

**Makroporer** diameter  $> 5$   $\mu\text{m}$ . Vand kan også transporteres i makroporerne og dermed give anledning til diffusion af f.eks. salte. Makroporerne fungerer desuden som ekspansionskammer når vand fryser.

For at definere porerne ud fra deres diameter, må de antages at være cylinderformede. Dette er en approksimation, da porerne i beton ikke har en ensartet struktur. Diameteren for en pore i beton fås derfor ved, at bestemme en gennemsnitsdiameter.

## Diffusion

Ved diffusion forstås en transportmekanisme hvor en høj koncentration af et stof, vil søge mod en lavere koncentration af det samme stof, for at opnå en ligevægtstilstand. Denne transportform er illustreret ved figur 4.4.

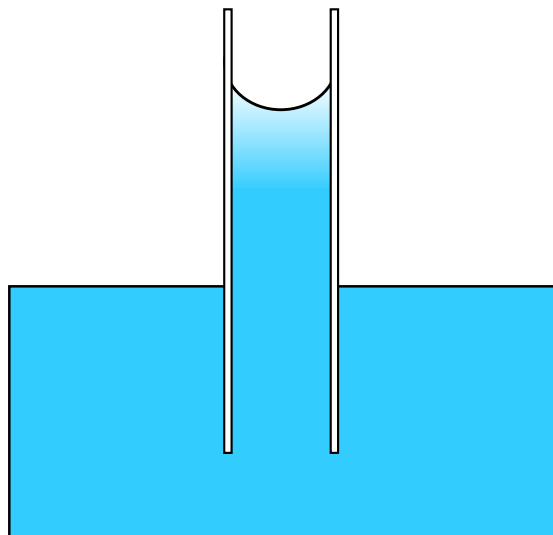


Figur 2.3: Diffusion af partikler i en opløsning

I beton, der er helt eller delvist vandmættet, vil diffusion være en primær transportmekanisme for salte. Saltene diffunderer gennem porevæskerne og vil med tiden fordele sig i porerne dog med friktionen mod porevægge som en begrænsende faktor.

## Kapillarsugning

Kapillarsugning er en transportmekanisme, der foregår i porøse materialer som beton. Ved kapillarsugning løftes eller suges vand ind i porer af den rette størrelse. Som det fremgår af navnet, foregår denne transport af vand primært i kapillarporerne i betonen. Kapillarsugning omtales også som stigrørsvirkning. Hvis der betragtes en lodret kapillarpore, som på figur 2.4 er vist, forsimplet, som et cylinderformet stigrør, der er delvist fyldt med vand, ses det, at der vil dannes en konkav menisk.



Figur 2.4: Princippet ved kapillarsugning

Den konkave form skyldes, at porevæggen er hydrofil. Umiddelbart under denne menisk vil der dannes et hydrostatisk undertryk, da vands overfladespænding vil prøve at rette sig ud mod en vandret flade. Dette undertryk under menisken, vil løfte det underliggende vand i poren, indtil der opstår ligevægt mellem den opadrettede kraft som følge af undertrykket og den nedadrettede kraft fra tyngdekraften. [Gottfredsen og Nielsen, 2010]

Undertrykket, der trækker vandsøjlen op, kan matematisk beskrives ved ligning 2.5.

$$p_u = \frac{(2 \cdot \sigma)}{r_k} \quad (2.5)$$

hvor  $\sigma$  er væskens overfladespænding,  $r_k$  er kelvinradius og  $p$  er trykket under menisken. Det nedadrettede tryk fra vandsøjlen, som følge af tyngdekraften, fremgår af ligning 2.6

$$p_{søjle} = h \cdot \rho \cdot g \quad (2.6)$$

hvor  $h$  er højden af væskesøjlen,  $\rho$  er densiteten for væsken i søjlen og  $g$  er tyngdaccelerationen. Når kapillarsugningen når ligevægt med tyngdekraften, kan undertrykket,  $p_u$ , sættes lig trykket under trykket under vandsøjlen  $p_{søjle}$ . Herved fås stigrørs højden udtrykt ved ligning 2.7.

$$h = \frac{2 \cdot \sigma}{\rho \cdot g \cdot r_k} \quad (2.7)$$

I ligningerne 2.5, 2.6 og 2.7, er der ikke taget højde for de nedadrettede friktionskræfter, der virker mellem vandet og porevæggen. Det ville vise sig i ligning 2.7 som et ekstra negativt led.

Hvis der i en væske er opløst klorider, kan kapillarsugning desuden fungere som en transportmekanisme for disse. Det er i denne forbindelse værd at bemærke, at kapillarsugning kan transportere saltene højere op end det omkringliggende vandspejl, hvor ilt er lettere tilgængeligt og dermed skabes der et mere korrosionsvenligt miljø. Dette er omtales nærmere i afsnit 2.4 Elektrokemisk korrosion

I forbindelse med betonkonstruktioner vil kapillarsugning og diffusion som oftest ses i kombination, da de begge er transportmekanismer, der virker i samme retning. De kan begge transportere vand og klorider ind i betonen. Af denne grund bruges udtrykket diffusion ofte som en samlet betegnelse for begge mekanismer [Herholdt et al., 1985].

## 2.3 Askens indhold af tungmetaller og salte

### Tungmetaller

Begrebet tungmetaller henviser umiddelbart til en gruppering af grundstoffer i forhold til deres densitet. En sådan gruppering er dog uhensigtsmæssig, da grupperingen vil indeholde grundstoffer med stor variation af egenskaber. Begrebet bliver stadig anvendt og i mange sammenhænge henvises der til bestemte metaller i modsætning til alle tunge metaller. Som udgangspunkt tænkes der på særligt skadelige metaller, når tungmetaller omtales. Definitionen er stadig uklar, da alle metallerne er skadelige hvis doserne er høje nok. Desuden er der forskel på, om det er giftighed for mennesker eller skade på miljøet, der bruges som målestok.

Problemerne i forbindelse med begrebet bliver gennemgået i [Duffus, 2002]. Når tungmetaller omtales i dette projekt, henvises til følgende grundstoffer.

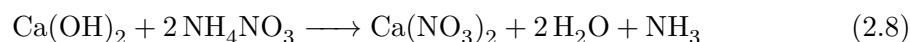
- Arsen
- Bly
- Cadmium
- Chrom
- Kobber
- Nikkel
- Zink

### Salte

Salte som sulfat, nitrat og klorid kan potentielt være farlige for beton samt armeret beton, nedenfor gennemgås hvorfor.

Hvis sulfationer findes i betonen, for eksempel fra tilsætning af asken, kan de reagere med produktet fra de hydratiserede klinkerminerale  $C_3S$  og  $C_2S$ : CH samt ettringit ( $C_6A\bar{S}_3H_32$ ) fra det aluminatholdige klinkermineral  $C_3A$ . Produkterne fra disse reaktioner, vil være ekspanderende, og dermed forårsage revnedannelser og afskalninger ved betonoverfladen [Hansen et al., 2008]. I [DS/EN 450-1, 2012] er der angivet, at maksimalt 3% af askens masse, må bestå af sulfationer.

Nitrationer vil i fællesskab amoniumioner reagere med calciumhydroxid i den hærkede beton og danne calciumnitrat jævnfør reaktion 2.8.



Ammoniak udslippes til luften og calciumnitraten udfældes sammen med vandet. [Poulsen, 1985] Da calciumhydroxid er med til at opretholde det basiske miljø i betonen, har nitrat negativ effekt på modstandsdygtigheden for korrosion i armeringsstålet. Denne reaktion sker, når betonen er begyndt at afbinde og hærde og dermed udskiller CH. Det vides ikke, om nitrat er farligt før afbinding og hærkning, hvilket er interessant, da det er meningen at slamasken skal iblandes den friske beton, og dermed vil nitrat være tilstede helt fra starten.

Klorider kan potentielt være farlige for holdbarheden af armeringsstål. En behandlings metode kan være at vaske asken, da anionerne vil opløses i vandet, og dermed blive trukket ud af asken.

## 2.4 Korrosion af armeringsstål

Beton har gode styrkeegenskaber i tryk, men er dårligere i træk. Betonens trækstyrke ligger som hovedregel på ca. 1/10 af trykstyrken. Derfor armeres størstedelen af den beton, der anvendes i dag med armeringsstål, der har en stor trækstyrke. Beton og stål har omtrent samme varmeudvidelsesegenskaber. Dette ses af længdeudvidelseskoefficienterne:  $8\text{--}12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  for beton og  $11\text{--}12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  for jern/stål [Gottfredsen og Nielsen, 2010]

I dette øjemed er det optimalt at kombinere de to materialer, da der ikke vil opstå spændinger i grænsefladerne mellem de to materialer ved temperaturændringer. Stål er en legering af jern, Fe, og karbon, C, og andre stoffer der kan tilsættes, så stålets egenskaber præges i en ønsket retning. Da jern er hovedbestanddelen i stål bruges, jern (Fe), i det følgende, som den kemiske betegnelse for stål, når der omtales korrosion.

### Hvorfor korroderer metal?

I naturen findes de uædle metaller ikke rent, men findes i forbindelser kaldet malm. F.eks. kan jern bl.a. findes på formen Hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  og aluminium på formen Bauxit  $\text{Al(OH)}_3$ . Fra malmene udvindes de rene metaller under tilføring af energi. Dermed øges metallernes energiniveau til et højere stadie. Fra det høje energiniveau vil metallerne, hvis omgivelserne tillader det, spontant søge tilbage til malmenes lavere energiniveau [Nielsen et al., 2012]. Det er som oftest denne tilbagevending til malmen, der anses som korrosion. Der findes flere forskellige typer for korrosion, som f.eks. mekanisk korrosion eller kemisk korrosion, men den form for korrosion, der behandles i forbindelse med dette projekt er den elektrokemiske korrosion.



### Elektrokemisk korrosion

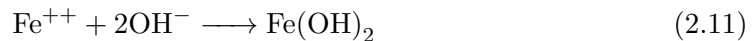
Når jern, udsættes for en elektrolyt, som typisk vil være vand, vil en del af jernet opløses i vandet som jernioner. Samtidig efterlades der frie elektroner i jernet. Processen er en anodisk proces og vil forløbe som vist i reaktion 2.9



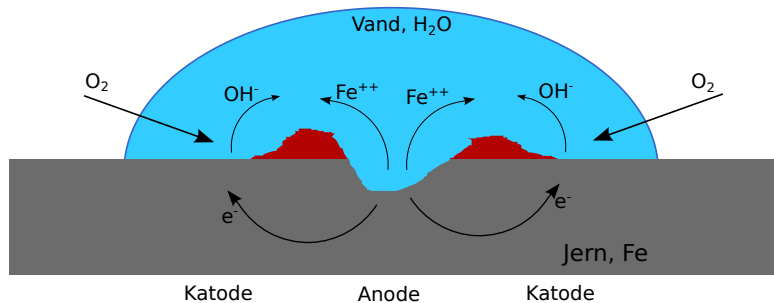
Der er grænser for hvor mange frie elektroner, der kan være i metallet før det er mættet. Når denne grænse nås vil processen stoppe. Er der en elektronacceptor tilstede vil processen dog fortsætte. Denne elektronacceptor kan f.eks. være ilt eller et mere ædelt metal. Ilden vil i samarbejde med vandet optage elektronerne fra jernet ved katodeprocessen i reaktion 2.10



Herefter vil jern-ionerne og oxygenhydroxid-ionerne reagere og danne rustprodukter, f.eks. som angivet i reaktion 2.11



Hele processen er illustreret på figur 2.5. Det er vigtigt, at der både er ilt og vand tilstede,



Figur 2.5: Korrosion af jern under en vanddråbe efter inspiration fra [Nielsen et al., 2012]

for at den elektrokemiske korrosion kan foregå. Derfor betegnes elektrokemisk korrosion også som væskekorrosion [Nielsen et al., 2012]. Det er disse produkter, der er kendt som rust. Der er to hovedårsager til, at disse rustprodukter ikke ønskes i armeret beton. Den første er, at korrosionsprocessen vil mindske tværsnittet på armeringsstangen, dette medfører mindre bæreevne, og dermed et muligt svigt i konstruktionen. Den anden er, at rustprodukterne har mere volumen per molekyle end stålet, som det er omdannet fra [Nielsen et al., 2012]. Dette betyder, at der kan fremkomme revner i betonen, eller hele afsprængninger af dæklaget. Som følge af revner eller afsprængninger, vil korrosionen kunne øges, da der er større adgang til vand og ilt. Resultatet er en cyklus, der i sidste ende kan resultere med et konstruktionssvigt.

### Oxidation og Passivlag

Rent metal oxideres, når det kommer i kontakt med ilt fra luften. Oxidationen starter ved overfladen, og arbejder sig ind af i metallet. Derfor omtales det oxiderede lag som en oxidhinde. Nogen metaller skaber en meget tæt oxidhinde, en hinde der er så tæt, at ilt-molekyler ikke længere kan trænge igennem til metallet og oxidationen stoppes. Metallet siges at være passiveret, derfor kaldes oxidlaget kaldes også et passivlag.

Aluminium er kendt for at danne en meget tæt oxidhinde, som dermed er meget modstandsdygtig overfor korrosion. Jern derimod danner i kontakt med atmosfærisk luft en meget porøs oxidhinde. Igennem denne hinde, kan ilten blive ved med at strømme, ved hjælp af diffusion, til det rene jern, og omdannelsen af Fe vil fortsætte til jernet er opbrugt [Nielsen et al., 2012]. Jern er dermed ikke et optimalt materiale at bruge, uden der benyttes en form for korrosionsbeskyttelse.

### Karbonatisering og pitting

Som det er nævnt tidligere, er en af fordelene ved at bruge armeringstål i beton, at beton i løbet af hærdning og afbinding udvikler et basisk miljø. I denne høje pH, er armeringsstålet korrosionsbeskyttet, da det i høj pH danner et meget tæt oxidlag, modsat i neutral pH. Oxidlaget er så tæt, at ilt ikke kan diffundere igennem. Dermed kan den elektrokemiske korrosion ikke foregå.

Der er primært to måder, hvorpå der kan skabes et korrosionsmiljø for armering i betonen. Først og fremmest kan korrosionsmiljøet skabes ved at sænke porevæskens pH. Dette kan ske ved karbonatisering. Ved karbonatisering reagerer calciumhydroxiden, fra cementgelen, med luften kuldioxid og danner calciumkarbonat. Det sænker betonens pH. Den anden mulighed for at skabe et korrosionsmiljø i betonen, er ved at skade passivlaget. Dette kan lade sig gøre ved pitting-korrosion. Denne korrosion foregår ved at kloridioner pitter, laver hul, i passivlaget. Når dette hul er fremkommet, vil det være muligt for både vand og ilt at komme i kontakt med armeringsstålet. Passivfilmen vil fremstå som et mere ædelt metal i forhold til selve armeringsstålet, og dermed kan den elektrokemiske korrosion forløbe med det nu ødelagt passivlag som elektronacceptor, [Nielsen et al., 2012].

Der er ikke fuldstændig enighed om, hvad der præcis sker mellem passivlaget og kloriderne ved pitting, på trods af omfattende forskning på området, [Makar og Tromans, 1996]. Det vides, at hvis der er en tilstrækkelig koncentration af klorider tilstede, vil der opstå huller i passivlaget. Dette problem håndteres i byggebranchen ved, at der i standarderne er angivet grænseværdier for kloridindhold. Fra [DS/EN 206-1, 2006] er det angivet, at der maksimalt må være 0,4 masse-% klorid i cement ved slap armering og 0,2 masse-% klorid i cement ved spændt armering, for at passivlaget ikke er i risiko for at nedbrydes ved pitting. For flyveaske er der i [DS/EN 450-1, 2012] angivet et maksimalt indhold af klorider på 0,10 vægt-% af flyveasken. Det er desuden vigtigt at være opmærksom på risiko for indtrængning af klorider, når nye projekter projekteres. F.eks. hvis konstruktionen er i direkte forbindelse saltvand, eller ligger tæt på en vej

hvor der vintersaltes, vil det være hensigtsmæssigt, at vælge en tættere beton end hvis konstruktionen står langt fra kloridkilder.

Det er vigtigt at bemærke, at karbonatisering og korrosionspitting, i sig selv, ikke er korrosionsprocessor, men måder at ændre forhold eller nedbryde oxidhinden på, så det er muligt for den elektrokemiske proces at foregå.

## 3 Eksperimentelt arbejde

Beskrivelser af forsøg der er foretaget tidligere hos DTU Byg eller andre institutter ligger i bilag B. I det følgende beskrives disse forsøg derfor kun i grove træk. Nye metoder og forsøg der er udviklet i forbindelse med dette projekt, er nøje beskrevet i dette afsnit. I forsøgene anvendt i dette projekt er der ikke anvendt beton men mørtel. På grund af betonens inhomogenitet vil der kunne opstå en stor spredning i de resultater der vil fremkomme, hvorved et stort antal forsøg skulle udføres for at få præcise resultater. Derfor er der valgt kun at arbejde med mørtel, hvis eneste forskel fra beton er kornstørrelsen af tilslaget. I forsøgene arbejdes der med kornstørrelser op til 4 mm. Dermed sænkes inhomogeniteten og antallet af nødvendige forsøg, for at kunne præstere præcise resultater.

### 3.1 Oversigt over forsøg

I projektet er gennemført følgende forsøg (grupperet efter type).

#### Oversigt over støbninger

##### Askekarakteristik

- pH i kaliumklorid-opslemning
- Vandindhold
- Glødetab
- Ledningsevne
- Vandopløselighed
- Tungmetalindhold ved oplukning af jordprøve
- Tungmetalindhold ved leaching
- Vandopløse anioner
- Kornstørrelse

##### Diffusion

##### Armeringsprøver

- Potentialemåling
- Visuel undersøgelse

**Materialeprøvning**

Trykprøvning

Tungmetalindhold ved udvaskning af mørtelprøver

**Porøsitet****Densitet****Kapillarsugning****3.2 Oversigt over støbninger**

Tabel 3.1: Støbeoversigt, støbebog ligger i bilag A

Prøve	Støbedato	Type	Forsøg	Vibratorbord
E1	1. juli	5%S	Diffusion	Stort
E4	1. juli	10%C	Diffusion	Stort
E7	1. juli	REF	Diffusion	Stort
1	5. september	REF	Trykstyrke og udvaskning af tungmetaller	Stort
2	5. september	5%S	Trykstyrke og udvaskning af tungmetaller	Stort
3	5. september	10%C	Trykstyrke og udvaskning af tungmetaller	Stort
A1	23. september	10%C	Indstøbt armering: Visuel undersøgelse	Lille
A2	23. september	10%C	Indstøbt armering: Potentialemåling	Lille
A3	23. september	REF	Indstøbt armering: Visuel undersøgelse	Lille
A4	23. september	REF	Indstøbt armering: Potentialemåling	Lille
7	7. oktober	REF	Kapillarsugning, Densitet & Porøsitet	Lille
8	7. oktober	5%S	Kapillarsugning, Densitet & Porøsitet	Lille
9	7. oktober	10%C	Kapillarsugning, Densitet & Porøsitet	Lille
10	10. oktober	REF	Kapillarsugning, Densitet & Porøsitet	Stort
11	10. oktober	5%S	Kapillarsugning, Densitet & Porøsitet	Stort
12	10. oktober	10%C	Kapillarsugning, Densitet & Porøsitet	Stort

### 3.3 Askekarakteristik

Der er i det følgende afsnit beskrevet de forskellige forsøg der er udført på slamasken. Forsøgene er alle udført på knust aske. Undersøgelserne drejer sig om egenskaber og indhold af forskellige stoffer, som er relevante at kende til inden iblanding i beton. Disse karakteristika vil, hvis de er særlig markante, kunne kræve, at der skal ske en form for bearbejdning af asken inden tilsætning til betonen.

#### Knusning af aske

Asken blev inden brug i forsøgene knust i ringknuser. Ringknuseren blev halvt fyldt med aske og knusningen blev foretaget over 20 sekunder ved 1100 rpm. Ringknuseren er vist på figur 3.1.



(a) Ringknuseren blev halvt fyldt med aske (b) Herefter blev asken knust i 20 sekunder

Figur 3.1: Knusning af aske i ringknuser

#### pH i kaliumklorid-opslemning

I forsøget måles pH-værdien i en opslemning af aske i kaliumklorid, KCl. Asken opslæmmes i kaliumklorid og stilles på rystebord. Efter bundfældning af asken måles pH i væskefasen.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.1.

#### Vandindhold

Vandindholdet i asken bestemmes, ved at asken vejes og sættes i varmeskab og udtørres, herefter vejes den tørre aske, og vandindholdet beregnes.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.2.

### **Glødetab**

Glødetabet bestemmes i overensstemmelse med [DS/EN 196-2, 2005]. Digler varmes i en muffelovn og afkøles i eksikator. Tør aske afvejes til diglerne. Diglerne genindsættes i muffelovn og afkøles igen i eksikator, og herefter findes vægten af asken. Glødetabet kan dermed beregnes. Da asken er tør, er det rimeligt at antage at glødetabet er lig indholdet af organisk stof.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.3.

### **Ledningsevne**

Ledningsevnen af tør knust aske iblandet destilleret vand måles med ledningsevнемåler.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.4.

### **Vandopløselighed**

Vandopløselighed måles ved at tilsætte destilleret vand til asken. Herefter hældes væsken igennem et filter nogle gange. Den sidste gang hældes både væske og aske op i filteret. Efter afdrypning stilles asken i varmeskab til udtørring. Vægttabet, og dermed andelen af asken der opløses i vand, kan herefter udregnes.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.5.

### **Tungmetalindhold ved oplukning af jordprøve**

Denne oplukningsmetode er lavet efter [DS 259, 2003]. Formålet med oplukningen er, at finde metalkoncentration for udvalgte metaller i asken. Til en prøve af asken tilsættes  $\text{HNO}_3$  og den samlede prøve sættes i autoklave og syrekoges, herefter føres prøven igennem et sugefilter. Den filtrerede væske blandes med destilleret vand og de sendes til ICP-OES måling. Herfra fås den totale koncentration af tungmetaller.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.8.

### **Tungmetalindhold ved leaching**

Formålet med leaching er at undersøge hvor nemt askens tungmetaller forlader asken. Dette giver, modsat oplukning, et mere reelt billede, af hvilke og hvor mange tungmetaller, der vil forlade asken. I forsøget blandes aske og destilleret vand, som rystes i 23 timer. Herefter undersøges tungmetalindholdet i væsken ved ICP-OES måling. Et mere optimalt forsøg, vil være at støbe prøver med aske og stille dem i vand i en længere periode, for derefter at undersøge tungmetalindholdet i væsken. Forsøgsperioden vil dog være alt for lang til dette projekt. Forsøget udført i dette projekt er derfor lidt groft, men resultatet giver stadig et billede af hvor let tungmetallerne slipper asken.

Forsøgsbeskrivelsen ligger i bilag B.9.

## Vandopløse anioner

Der ønskes at finde koncentrationen af potentielt skadelige salte.

Forsøgsbeskrivelse ligger i bilag B.10.

## Kornstørrelse

Kornstørrelsesfordelingen blev undersøgt, for at finde effekten af knusning ved brug af laserdiffraktometer. Prøverne blev forberedt ved at en 1/2 tsk aske blev fyldt i en plastikvial, herefter blev plastikvialen fyldt op med 0,005 M natriumpyrophosphat. Plastikvialerne blev rystet, således at væsken fremstod homogen, inden væsken blev fyldt i laserdefraktometeret med engangspipette.

## 3.4 Støbebeskrivelse

### Generelt

Støbeforsøgene er gennemført med hhv. referenceprøver, prøver hvor 10 % cement erstattes og prøver hvor 5 % sand erstattes. Blandeopskriften på mørtlerne fremgår af tabel 3.2.

Tabel 3.2: Blanderecepterne for mørtelprøverne. Referencen følger recepten fra DS/EN 196:2005

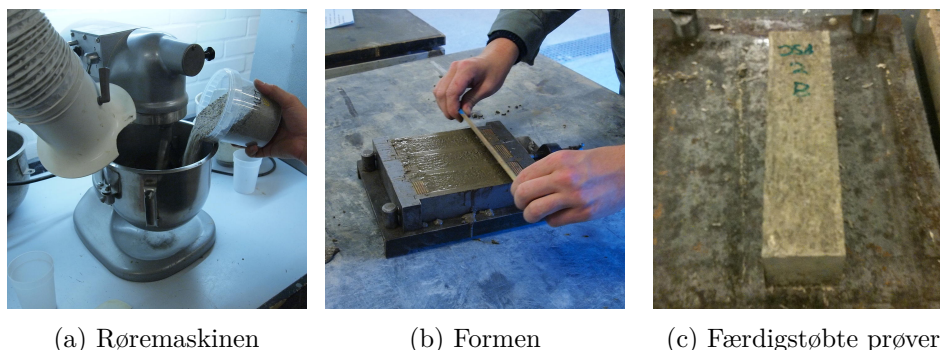
	Cement [g]	Aske [g]	Sand [g]	Vand [g]
Reference	450	0	1350	225
10 % cement	405	45	1350	225
5 % sand	450	67,5	1282,5	225

Ingredienserne blev blandet sammen i en røremaskine, som vist på figur 3.2a, og som beskrevet i detaljer i bilag A. Til støbningen af prøverne med armeringsjern, var det nødvendigt at sikre armeringsjernet blev i midten af prøverne. Dette blev løst, ved at holde armeringsjernet i midten af formen ved hjælp specialfremstillede træklodser. Efter ingredienserne var blandet sammen, blev den flydende mørtel hældt i formen på vibratorbord, som vist på figur 3.2b, og som ligeledes er beskrevet i detaljer i bilag A. Mørtlen blev fyldt i formen af 2 omgange, først halvt fyldt blev den vibreret i cirka 30 sekunder, herefter blev den fyldt helt op og vibreret i yderligere 30 sekunder, samtidig blev overskydende mørtel skrabet af.

### Problemer i forbindelse med vibrering på lille vibratorbord

I støberiet er der to vibratorborde til rådighed, et stort og et lille. Til prøverne med indstøbt armeringsstål blev det lille vibratorbord anvendt. I forbindelse med disse prøver, blev det bemærket, at vibreringen ikke virkede lige så konsistent som ved det store





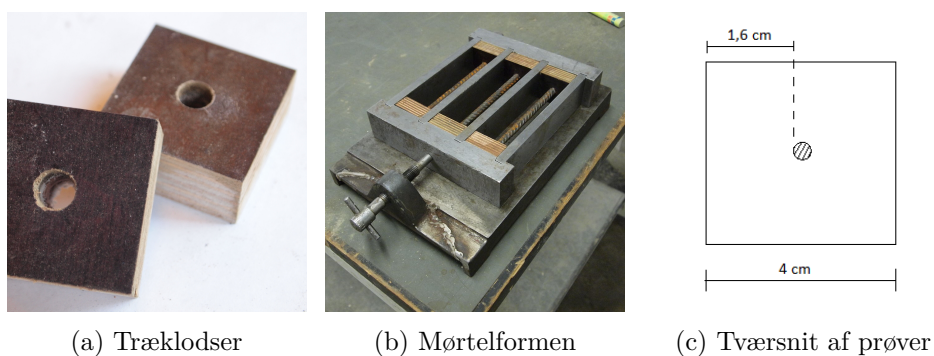
Figur 3.2: Støbning

vibratorbord. Det kunne tage lidt længere tid at få indstillet bordet til den rigtige hastighed, og til tider holdt formen tilsyneladende op med at vibrere i samme grad (den holdt op med at *hoppe* oven på bordet). For at få formen til igen at vibrere var det nødvendigt at slå på siden af formen. Dette gjorde generelt, at det var sværere at holde styr på tiden. Derfor blev der lavet dobbelt sæt af prøver til densitet, porøsitet og forsøgene, et sæt blev vibreret på det store og et sæt blev vibreret på det lille vibratorbord. Disse forsøg kan dermed bruges som en indikation på, om der er signifikante forskelle i vibreringen mellem de to borde.

24 timer efter støbningen blev prøverne afformet, og lagt i destileret vand til hærning. I støbebogen i bilag A er detaljerede oplysninger om de enkelte prøve angivet.

### Prøver med indstøbt armeringsjern

Til forsøgene med EKP-måling samt visuel undersøgelse er der i mørtelprøverne indstøbt 8 mm armeringsstål. De samme forme, som til mørtelprøverne uden armering, blev anvendt, men med trækklodser i begge ender, hvor der i midten er boret et 8,5 mm hul som holder armeringsstålet i midten af formen. Trækklodserne er vist på figur 3.3a. Tværsnitsdimensionerne kan ses på figur 3.3c.



Figur 3.3: Støbning af armeringsprøver

### 3.5 Belægning med epoxy

For at styre hvor kloridionerne kan trænge ind i mørtelprøverne, blev prøverne til diffusions forsøgene og prøverne med indstøbt armeringsjern belagt med epoxy.

Epoxyen blev blandet efter forholdet angivet på databladet i bilag J. Således at der blev blandet 55 g Conpox Harpiks EB 1040 Epoxy tyndfilmsmaling med 25 g Conpox Hærder EH 1011. Malingen blev blandet efter følgende fremgangsmåde:

1. Malingen og hærdere blev omrørt i mindst 3 minutter med træpind.
2. 55 g Conpox Harpiks EB 1040 Epoxy tyndfilmsmaling blev afvejet i engangsplastbøtte.
3. 25 g Conpox Hærder EH 1011 blev ligeledes afvejet over i samme engangsplastbøtte.
4. Blandingen blev omrørt i mindst 3 minutter.
5. Herefter blev prøverne malet.



(a) Omrøring af maling og hærdere

(b) Afvejning af hærdere

(c) Maling af prøve

Figur 3.4: Maling af prøver med epoxy

Prøverne var forinden klargjort således at steder, der ikke skulle males, var belagt med aluminiumstape. Prøverne var taget op af vandet således, at de akkurat var overfladetørre, da malingsarbejdet blev påbegyndt.

Prøverne til diffusionsforsøgene blev malet på langsiderne, derfor blev de stillet til tørre oprejst understøttet af stenklodser. Prøverne med indstøbt armeringsstål blev derimod malet i enderne, disse blev understøttet liggende af stenklodser. Malingsarbejdet blev gentaget 2-3 gange indtil belægningen blev vurderet at være tilpas tæt. Aluminiumstapen blev fjernet ved brug af en hobbykniv. Epoxy belægningen afskallede på flere

af prøverne, da belægningen, hærdet, var skør og med mindre god klæbeevne til betonen. Dette ses på figur 3.5c.



(a) Prøvernes opstilling imens malingen tørrede (b) Aluminiumstapen kunne fjernes med en hobbykniv (c) I forbindelse med fjernelsen af tapen afskallede malingen på nogen af prøverne.

Figur 3.5: Tørring og fjernelse af tape efter epoxy-maling

### 3.6 Diffusion

Kloridindtrængningen ved diffusion undersøges, ved at epoxy-belægge de fire langsider og derefter lægge prøverne i en 3%-saltvands-opløsning. Således kan kloriderne kun penetrere prøverne i enderne, da epoxy-belægningen er meget tæt. Kloridindholdet i prøverne undersøges efter 28 dage, 53 dage og efter 78 dage. Dermed kan prøvernes kloridindhold og hastigheden hvormed det trænger ind sammenlignes.



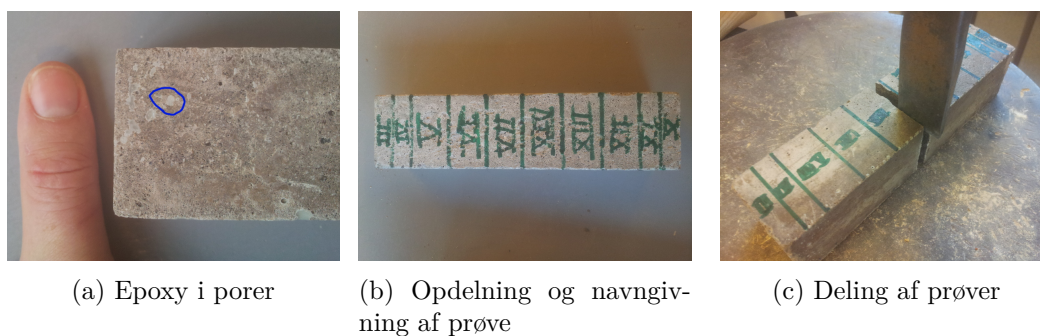
(a) Epoxy belægning

(b) Ende, uden epoxy

Figur 3.6: Epoxy belagte prøver

Efter at have hærdet i 83 dage i destilleret vand, blev prøverne malet med epoxy tre gange. Prøverne blev herefter lagt i destilleret vand i 3 timer. Dette blev gjort for at sikre prøverne var helt vandmættede inden de blev lagt i saltvand. Herefter blev prøverne lagt i destilleret vand tilsat 3 % natriumklorid. På denne måde blev det sikret, at kloridindtrængningen kun skyldes diffusion, og ikke yderligere transport som følge af trykforskellen mellem de tomme porer og det omkringliggende vand, samt kapillarsugning.

Efter prøverne blev taget op af saltvandet, blev epoxy belægningen fjernet. Dette kunne lade sig gøre ved brug af en hobbykniv, da epoxy belægningen gerne skallede af i større flige, når først kniven var inde under epoxyen. Det blev konstateret at epoxyen var trukket ind i større porer, denne epoxy var ikke mulig at fjerne, se figur 3.7a. Prøverne deltes i tværgående skiver ved brug af hammer og mejsel se figur 3.7b og figur 3.7c. Herefter blev hver skive delt i to, kun den ene halvdel blev anvendt til forsøget, den anden halvdel blev gemt i en pose tydeligt mærket med prøve nr. og placering på den oprindelige prøve. Prøverne blev groft findelt med hammer, vejret, og placeret i en petriskål. Petriskålene med prøverne blev placeret i ovn ved 105 C natten over. dagen efter blev de taget ud, vejret, og yderligere findelt. Til den sidste måling efter 78 dage blev der benyttet en ring knuser til findelingen af prøven. Dette blev gjort, for at undersøge, om der dermed kunne opnås mere nøjagtige målinger. Tanken var at den øgede findeling, vil gøre prøven mere repræsentativ. Ringknuseren gjorde prøverne mere nøjagtig, men er tilgængelig også mere tidskrævende, så det bør være en opvejelse af hvor nøjagtige resultater der ønskes.



Figur 3.7: Prøverne til diffusions forsøget efter epoxyen var fjernet

Oversigt over opdeling af prøverne findes i bilag D Diffusionsforsøg.

Efter findelingen blev prøverne oplukket ved brug af varmt vand og saltpetersyre, som beskrevet i bilag B.6 *Syreoplukning på hærdet beton*. Efter afkøling og filtrering blev prøverne titreret med sølvnitrat, som beskrevet i bilag B.7 *Bestemmelse af klorid ved titrering*.



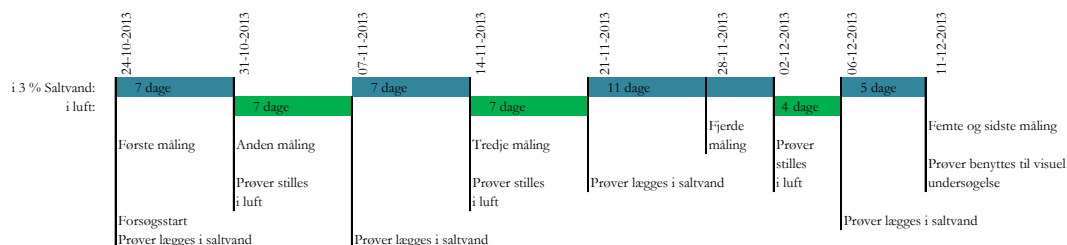
### 3.7 Armeringsprøver

Prøverne med indstøbt armeringsjern blev epoxybelagt i enderne af to omgange. Prøverne der skulle bruges til visuel undersøgelse blev epoxybelagt i begge ender, hvor prøverne der skulle anvendes til EKP-måling kun blev belagt i den ene ende, da det var nødvendigt at have adgang til armeringsstålet.



Figur 3.8: Prøver med armeringsstål, belagt med epoxy i enderne

Herefter blev alle prøverne placeret i en luft-saltvands cyklus således, at henover de følgende 2 måneder var prøverne hhv. 7 dage i saltvand (3 % NaCl) og 7 dage i fri luft. Se tidsplan i figur 3.9. Bemærk at der er afvigelser fra 7-dages-cyklussen henimod slutningen.



Figur 3.9: Tidsplan for armeringsprøveforsøget

### Potentialemåling

Prøverne til EKP-måling, blev placeret lodretstående i spande med saltvand. Den ende der var epoxybelagt vendte nedad i spanden, den anden ende rakte 1-2 cm op over saltvandet. Figur 3.10a viser prøverne i spanden, mens der foretages potentialemåling. I de perioder hvor prøverne stod i luft blev de ligeledes placeret opretstående som vist på figur 3.10b.



(a) Armeringsprøver i saltvand, under potentialemåling

(b) Armeringsprøver i luft

Figur 3.10: Opstilling af armeringsforsøg

### Visuel undersøgelse

Prøverne til visuel undersøgelse blev, fuldstændigt tilsvarende prøverne til potentialemåling, placeret i en luft-saltvandscyklus som ses på figur 3.10. Dog var disse prøver fuldstændigt dækket af vand. Ved afslutningen af testperioden på 47 dage, blev prøverne skåret over på tværs ved brug af vådskærere, figur 3.11a, desuden blev betonen banket af den ene halvdel, så armeringsstålet blev fritlagt, figur 3.11b.



(a) Vådskæring af prøver med indstøbt armeringsstål

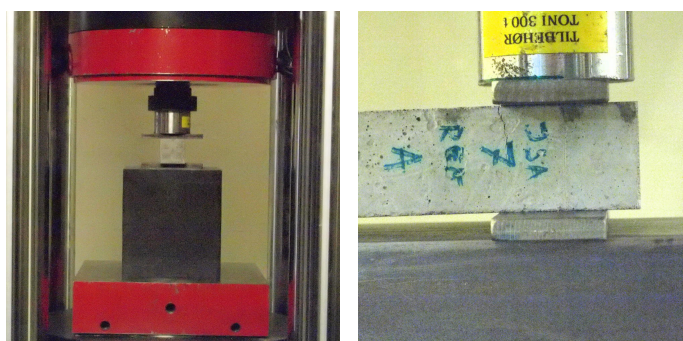
(b) Fritlagt armeringsstål efter betonen er banket af

Figur 3.11: Behandling af prøver til visuel undersøgelse

## 3.8 Materialeprøvning

### Trykprøvning

I forsøget bestemmes mørtelprøvernes trykstyrke, som prøverne til diffusionsforsøget havde, da de blev anbragt i saltopløsningen. Prøverne blev placeret som vist på figur 3.12. Dermed var det muligt at lave en dobbeltbestemmelse af trykstyrken for hver enkelt



(a) Trykprøvning af mørtelprøver - forfra (b) Trykprøvning af mørtelprøver - fra siden

Figur 3.12: Opstilling i trykprøvningsmaskinen

prøve ved først at trykke i den ene ende, for derefter at vende prøverne og trykke i den anden ende. Da hver type mørtel består af 3 prøveemner er det dermed muligt, at lave en 6-dobbelt bestemmelse af styrken.

### Tungmetalindhold ved udvaskning af mørtelprøver

Formålet med forsøget er at bestemme tungmetalindholdet i mørtlen. Mørtlen blev oplukket efter beskrivelsen i bilag B.6. Dog blev oplukningen afsluttet med at tilsætte destilleret vand til oplukningen i en målekolbe, da det totale væskeindhold skal bruges til at bestemme metalindholdet i  $\frac{\text{mg}}{\text{kg mørtel}}$ . Prøverne blev herefter sendt til ICP-OES-måling.

## 3.9 Porøsitet

Formålet med forsøget er at bestemme porøsitet af i de tre forskellige prøver, for at kunne se om tilsætning af aske har indvirkning på porøsiteten. Prøverne blev udtørret i ovn ved 50 °C, i stedet for 105 °C. Det blev gjort for at sikre et langsommere udtørningsforløb, således at udtørningsrevner undgås. Prøverne blev tørret indtil at vægtændringen pr. dag var mindre end 1 g.

Forsøgsbeskrivelser findes i bilag B.11.

### 3.10 Densitet

Densiteten af mørtelprøverne blev undersøgt, for at bestemme om iblandingen af aske har indflydelse. Prøverne blev udtørret på samme måde som ved porøsitetsforsøget, i ovn ved 50 °C.

Forsøgsbeskrivelser findes i bilag B.11.

### 3.11 Kapillarsugning

Kapillarsugningen ønskes undersøgt, for at kunne bestemme om tilsætningen af aske har en øgende eller bremsende effekt på kapillarsugningen. Prøverne blev udtørret på samme måde som nævnt i 3.9 og 3.10, i ovn ved 50 °C.

Forsøgsbeskrivelser findes i bilag B.11.



# 4 Resultater og diskussion

## 4.1 Askekarakteristik

I tabel 4.1 fremgår resultaterne af askekarakteristik forsøgene. Resultaterne fra tidligere projekter på DTU med aske fra lynetten, er medtaget i tabellen til sammenligning.

Tabel 4.1: Askens egenskaber

Forsøg	Enhed	Lynetten Ny-2	Lynetten Ny-1 <sup>1</sup>	Lynetten Depot-1 <sup>2</sup>
pH	—	12,6 ± 0,02	12,45	8,29
Vandindhold	%	3,70 ± 0,04	0,095	14,40
Glødetab	%	2,58 ± 0,01	0,25	0,16
Ledningsevne	$\frac{\text{ms}}{\text{cm}}$	10,54 ± 0,21	7,81	5,59
Vandopløselighed <sup>3</sup>	%	5,3 ; 5,3	5,12	0,83

<sup>1</sup> Data fra [Reiff og Meldgaard, 2013]

<sup>2</sup> Data fra [Carlsen og Petersen, 2013]

<sup>3</sup> To værdier er angivet, da forsøget er dobbeltbestemt

pH værdien er høj og en opløsning med asken er dermed basisk. Dette er en positiv egenskab for asken i forbindelse med korrosionsbeskyttelse af armeringsstålet. Hvis asken har en lavere pH, som det ses ved depot asken, kan det sænke pH'en i betonen og dermed forværre korrosionsmiljøet, således at jernet ikke længere danner det beskyttende passivlag. Vandindholdet på de nye aske ligger lavt i forhold til depot asken. Dette kan forklares med at asken, der har været i depot, har været udsat for regn, da det har ligget i depot udenfor. Det mindre vandindhold kan gøre det nemmere at bruge i beton, da v/c forholdet bliver nemmere at styre. Glødetabet ligger noget højere, end hvad de tidligere projekter har målt. Dette indikerer, at der skal tages højde for, hvilken aske der tilsættes. Selv fra samme rensningsanlæg, Lynetten, er der en væsentlig variation i mængden af organisk materiale i asken. I [DS/EN 450-1, 2012] er der angivet en grænseværdi for glødetab på flyveaske til 5,0 %. Denne værdi overholder slamasken dog fortsat, trods den højere værdi målt i batch 2. Glødetabet og vandindholdet kan håndteres ved yderligere bearbejdning af asken ved modtagelsen i form af opvarmning til høje temperatur (for

at afbrænde det sidste organiske materiale og fordampe vandet). Ledningsevnen ligger højere end de tidligere projekter. Dette indikerer, at asken er mere villig til at reagere, hvilket ikke er ønskeligt, da der kan ske uforudsete reaktioner. Vandopløseligheden er i overensstemmelse med, hvad der tidligere er målt for den nye aske fra lynetten. De nye asker er cirka 6 gange så vandopløselige som asken, der har ligget på depot. Hvilket kan skyldes, at depot asken, som før omtalt, har været i forbindelse med regnvand, og dermed er den del af asken, der er opløselig, blevet vasket ud inden asken er kommet til DTU.

Indholdet af tungmetaller i asken blev undersøgt ved ICP-OES-måling. ICP-OES-målingen blev udført på to sæt prøver fremstillet efter hhv. *Oplukning af jordprøve efter DS 259* i bilag B.8 og ved at følge forsøgsvejledning for *Leaching* i bilag B.9.

Indholdet af tungmetaller ved oplukning efter [DS 259, 2003] fremgår af tabel 4.2. Oplukningen giver en totalconcentration, og det kan dermed holdes op imod de i [BEK nr. 1662, 2010] angivne grænseværdier. Grænseværdierne i [BEK nr. 1662, 2010] er ind delt i tre kategorier, hvor kategori 1 indeholder jord og asker med lave miljømæssige konsekvenser, og kategori 3 indeholder de største. Disse grænseværdier er medtaget i tabellen til sammenligning. Dermed kan det ses, at asken falder i kategori 2. Dette stemmer overens med observationerne gjort i [Reiff og Meldgaard, 2013]. Placeringen i kategori 2 gør, at det kun er visse anlægsarbejder, hvori der må bruges beton med asker, uden der kræves en ansøgning om tilladelse, og det begrænser dermed anvendelsesmulighederne betragteligt.

Tabel 4.2: Totalconcentration af tungmetaller ved oplukning efter [DS 259, 2003] og ICP-OES

Metal	Lynetten Ny-2	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
<i>Faststofindhold i mg/kg</i>				
Arsen	3,8 ± 0,4	0 – 20	> 20	> 20
Bly	102 ± 2	0 – 40	> 40	> 40
Cadmium	2,2 ± 0,1	0 – 0,5	> 0,5	> 0,5
Krom	45,0 ± 0,5	0–500	> 500	> 500
Kobber	512 ± 4	0 – 500	> 500	> 500
Nikkel	38,9 ± 0,6	0 – 30	> 30	> 30
Zink	2.414 ± 10	0 – 500	> 500	> 500

Grænseværdier fra [BEK nr. 1662, 2010]

Indholdet af tungmetaller undersøgt ved leaching forsøget, giver modsat oplukning ikke totalconcentrationen, som anvendes til kategoriseringen efter [BEK nr. 1662, 2010], men giver et mere reelt billede af hvad der vil forlade betonen. Indholdet fremgår af

tabel 4.3. Tabellen viser at den største udvaskning i procentdel af total koncentration er

Tabel 4.3: Koncentration af udvaskede tungmetaller efter måling med ICP-OES

Metal	Lynetten Ny-2	%-del af total koncentration	Lynetten Ny-1 <sup>1</sup>	Lynetten Depot-1 <sup>2</sup>
<i>Faststofindhold i mg/kg</i>				
Arsen	0,0 ± 0,0	0,0 %	—	—
Bly	0,5 ± 0,5	0,5 %	0,4	0,1
Cadmium	0,0 ± 0,0	0 %	0,0	0,0
Krom	1,0 ± 2,1	2,1%	0	0,1
Kobber	0,0 ± 0,0	0,0 %	0,1	0,0
Nikkel	0,0 ± 0,0	0,0 %	0,0	0,0
Zink	0,2 ± 0,4	0,4 %	0,1	0,1

<sup>1</sup> Data fra [Reiff og Meldgaard, 2013]

<sup>2</sup> Data fra [Carlsen og Petersen, 2013]

2,1 % for krom, til denne værdi er der dog en stor spredning. Desuden ses, at omtrent 0,5 % af totalkoncentrationen af bly og zink er blevet udvasket ved forsøget. Udvasningen af krom er betydeligt større i denne aske end hvad der er fundet tidligere. Zink ligger også højere end tidligere. De resterende resultaterne stemmer overens med resultater fundet de tidligere år ved undersøgelser på Lynetten Ny-1 og Lynetten Depot-1. Dette resultat understreger dog, at der også er variation i askens indhold ligesom, det blev set med dens egenskaber.

Indholdet af aluminium, jern og fosfor blev også bestemt ved ICP. Resultaterne fremgår af tabel 4.4. Det ses, at indholdet af de tre stoffer er lavere end i Lynetten Ny-1, der blev undersøgt sidste år. Alle data fra ICP findes i bilag C.2.

Askens indhold af salte ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$ ) blev undersøgt ved IC-måling. Resultaterne fremgår af tabel 4.5. Det ses heraf, at klorid indholdet i Lynetten Ny-2 er højere end kloridindholdet i depot asken fra sidste år. Indholdet er 17 gange højere i Ny-2 end i Ny-1. Dette kan være potentielt farligt for armeringsstålet, da et højt kloridindhold kan nedbryde passivfilmen omkring armeringsstålet. Nitrat-indholdet viser ligeledes en stor afvigelse fra tidligere forsøg, og er omtrent 6 gange større end Lynetten Ny-1. Sulfat niveauet ligger lavere end begge projekter sidste år, men ændringen er ikke lige så markant, som ved klorid og nitrat. Igen viser dataene at asken kan have varierende egenskaber, selv fra samme spildevandsanlæg. Alle data fra IC findes i bilag C.4.

Resultaterne fra kornstørrelsesfordelingen, er sammenlignet med data fra to sideløbende projekter. Data for Lynetten Depot-2 er fra [Rem, 2014] og data for Avedøre Ny-2 er fra [Kurt, 2014].

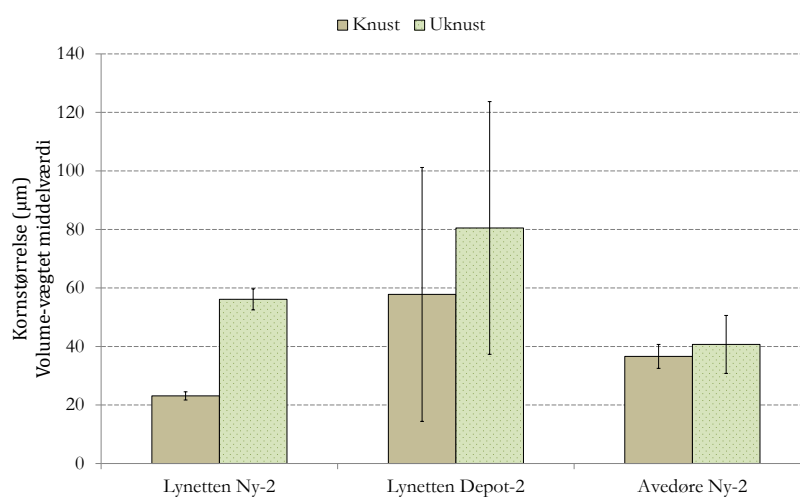
Tabel 4.4: Totalkoncentration af aluminium, jern og fosfor ved oplukning efter [DS 259, 2003] og ICP-OES

Metal	Lynetten Ny-2	Lynetten Ny-1 <sup>1</sup>	Lynetten Depot-1 <sup>2</sup>
<i>Faststofindhold i mg/kg</i>			
Aluminium	14.177 ± 2	21.150,6	19463,0
Jern	36.287 ± 92	44.034,0	—
Fosfor	72.457 ± 96	161.119,0	—

<sup>1</sup> Data fra [Reiff og Meldgaard, 2013]<sup>2</sup> Data fra [Carlsen og Petersen, 2013]

Tabel 4.5: Askens indhold af salte

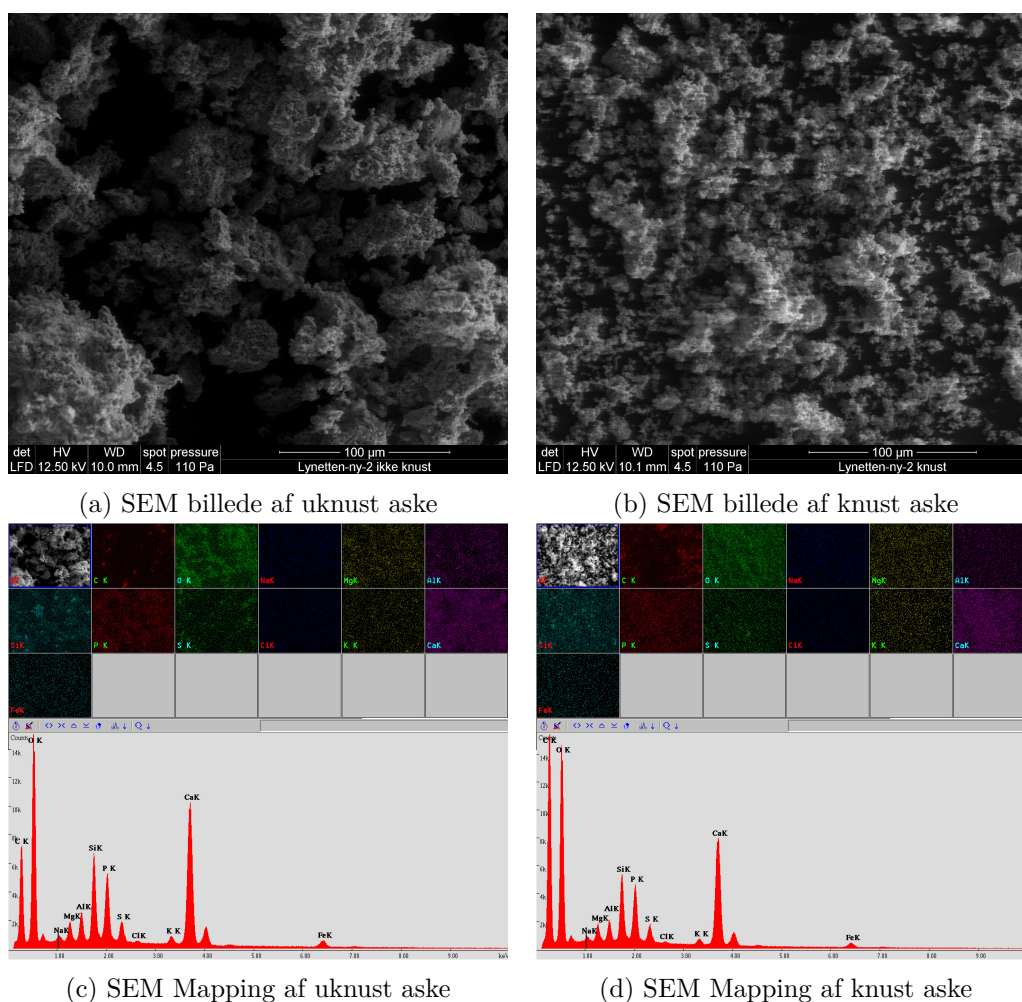
Salt	Lynetten Ny-2	Lynetten Ny-1 <sup>1</sup>	Lynetten Depot-1 <sup>2</sup>
<i>Faststofindhold i mg/kg</i>			
Klorid Cl <sup>-</sup>	1697 ± 21	96,5	1.332,0
Nitrat NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24 ± 1	3,7	98,4
Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8554 ± 142	10.232,4	12.962,2

<sup>1</sup> Data fra [Reiff og Meldgaard, 2013]<sup>2</sup> Data fra [Carlsen og Petersen, 2013]

Figur 4.1: Kornstørrelsesfordelingen, for knust og uknust aske

Lynetten Ny-2 ses, at være mere end halveret i partikel-størrelse ved knusningen. Anderledes ser det ud, med både Lynetten Depot-2, og Avedøre Ny-1. Asken fra Avedøre har en relativt lille kornstørrelse i udgangssituationen, og knusningen formår ikke, at yde den store effekt på denne aske. Dataudtrækket fra laserdefraktrometeret findes i bilag C.5

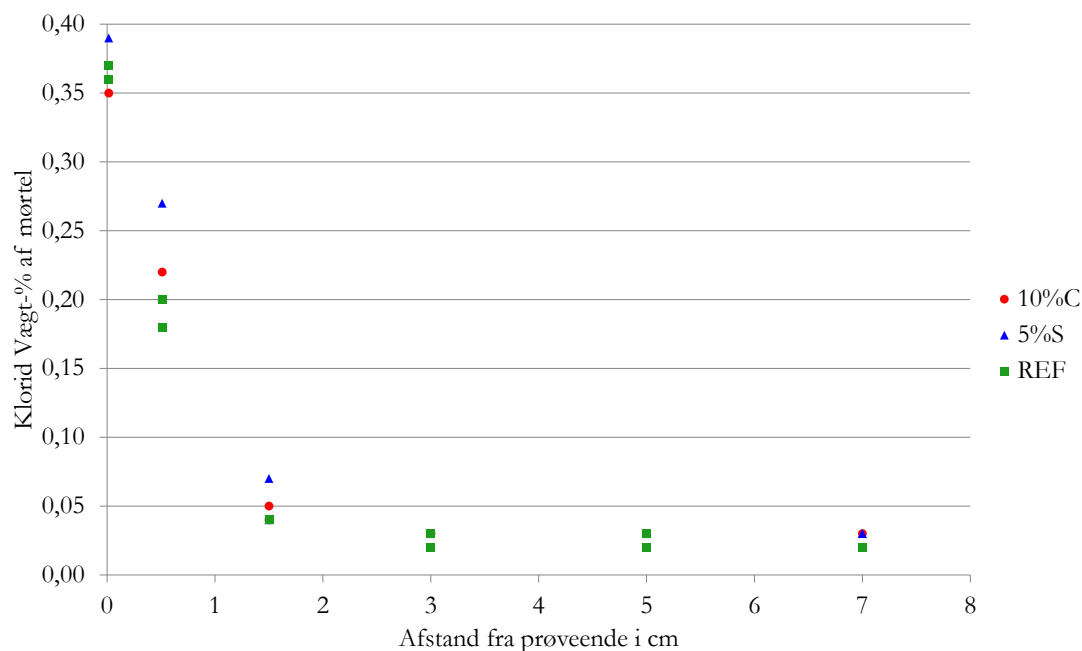
Billederne taget med SEM, figur 4.2 viser tydeligt effekten af knusningen ved at der ses mindre og mere ensartede partikler i figur 4.2b end i figur 4.2a. Desuden viser mappingen fra SEM, at indholdet af Ilt, Natrium, Magnesium, Aluminium etc. er jævnt fordelt udover prøven. Den eneste undtagelse er karbon, hvilket skyldes tapen som prøverne er fastgjort på i SEM-apparatet har et højt indhold af karbon.



Figur 4.2: Scanning Electron Microscope (SEM) billeder af hhv. uknust og knust aske

## 4.2 Transport af kloridioner ved diffusion

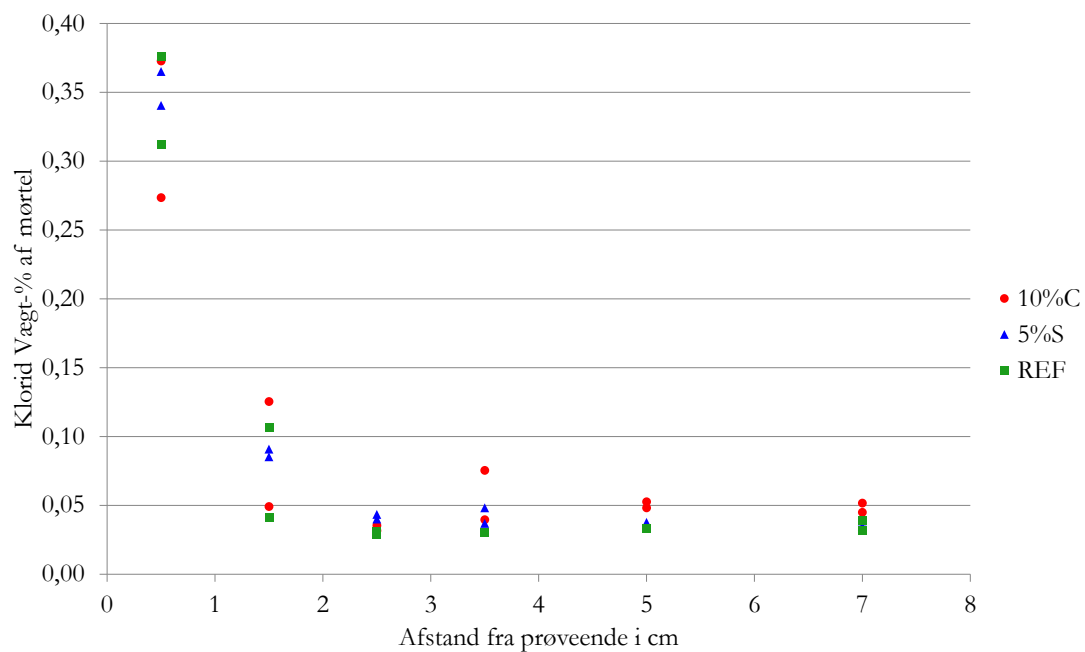
På figur 4.3, 4.4 og 4.5 ses kloridkoncentrationsprofilen i dybden. Der er lavet dobbeltbestemmelse på prøverne, således at klorid koncentrationen som funktion af dybden, er målt fra begge ender.



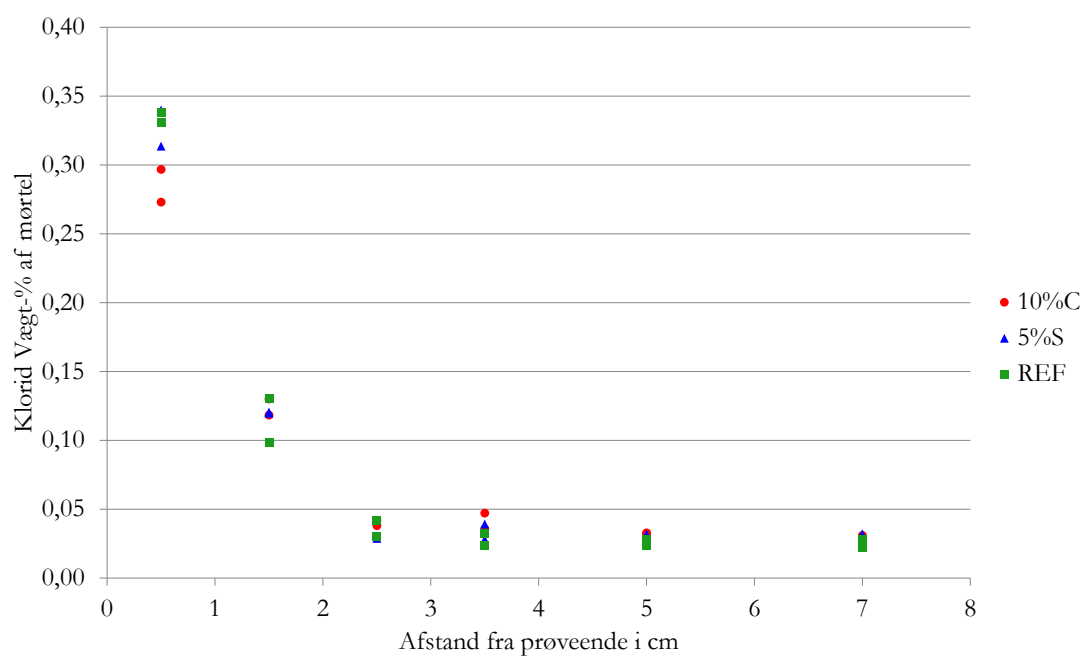
Figur 4.3: Kloridindtrængningen som funktion af dybden efter 28 dage

På figur 4.3 ses det, at de tre forskellige typer mørtelprøver ikke viser en afgørende forskel i kloridkoncentrationen henover dybden efter 28 dage. De mest divergerende værdier, ses ved de yderste målinger. Dette kan forklares ved, at begge prøver er meget små. Den yderste er 0,05 g og dermed er måleusikkerheden en væsentlig faktor. Desuden er koncentrationen af klorider stor i de første 2 cm af prøven. Dette understreger, at det er meget vigtigt at udvælge en repræsentativ prøve, så at vi kommer nærmere den sande middelværdi.

På figur 4.4, der viser kloridindtrængningen ved diffusion efter 53 dage, ses der umiddelbart heller ikke nogen signifikant forskel imellem reference prøverne og 5 % sand prøverne. På 10 % cement prøverne ser det ud til, at der er en tendens til et højere kloridindhold end de andre prøver ved 3,5 cm og 5 cm. Den samme tendens ses dog ikke på de første cm, hvor der også er en større variation imellem dobbeltbestemmelser.



Figur 4.4: Kloridindtrængningen som funktion af dybden efter 53 dage



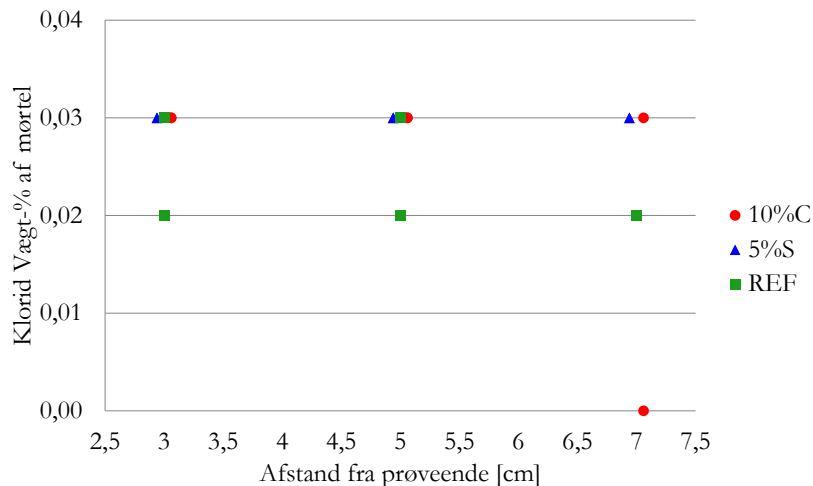
Figur 4.5: Kloridindtrængningen som funktion af dybden efter 78 dage

Efter 78 dage blev den sidste tredjedel af prøverne undersøgt, resultatet fremgår af figur 4.5. For at mindske variationen på dobbeltbestemmelserne, blev det forsøgt at knuse prøverne på ringknuser istedet for med hammer. Hvis figur 4.5 sammenlignes med figur 4.3 og 4.4, kan det ses, at variationen netop er mindsket. Dermed fås resultater der er mere præcise, og dermed bedre at konkludere ud fra. Til tiden 78 dage kan der, tilsvarende efter 28 dage og 53 dage, ikke ses nogen forskel mellem de tre typer prøver.

Samlet set er der ikke entydige tegn på, at de to prøver med aske viser højere eller lavere værdier end referenceprøverne. Der er variation i dobbeltbestemmelserne, men variationen kan snarere opfattes som et udtryk for prøverne inhomogenitet, end forskellen mellem de tre prøvers evne til at transportere stoffer ved diffusion. Det kan derfor konkluderes at iblanding af aske ikke påvirker hastigheden hvormed klorider diffunderer ind i mørtelen. Hvilket er tilfredsstillende, da asken således ikke vil medvirke til en yderligere korrosionsrisiko, som følge af øget diffusion.

#### Kloridkoncentration i udgangssituationen

Ved laboratorieforsøgene på asken blev det fundet, at asken anvendt i dette projekt har et højere indhold af klorider end ved tidligere undersøgte asker (Lynetten Ny-1 og Lynetten Depot-1). Derfor er det interessant at se, om den øgede mængde klorid i asken er stor nok til at have betydning i udgangssituationen. På figur 4.6 er kun vist den del af kloridkoncentrationsprofilen, hvor de opløste kloridioner ikke er trængt ind endnu. Det er området fra 2,5 cm til 7,5 cm fra figur 4.3 Der ses en mindre tendens, til at aske



Figur 4.6: Kloridkoncentration i mørtelprøverne efter 28 dage, det stabile område

prøverne har et højere kloridindhold i og med at dobbeltbestemmelser for både 5% sand og 10% cement prøverne ligger på 0,03 % ved både 3, 5 og 7 cm. Det er i kontrast til referenceprøverne, som ved 3 og 5 cm, i følge dobbeltbestemmelsen har et indhold på 0,02 % eller 0,03 %, og ved 7 cm på 0,02 %. Ses det i forhold til at der efter 28 dage i



saltvand er et kloridindhold på 0,2 % 0,5 cm fra enden og på 0,05 % 1,5 cm fra enden, se figur 4.3, er start-indholdet af klorid lavt. Forskellen i start-niveauet er i værste fald 0,01 %.

### 4.3 Prøver med indstøbt armeringsstål

Prøverne med indstøbt armeringsstål blev vibreret på det lille vibratorbord. Som det bliver omtalt i afsnit 4.4 Porøsitet udfører dette vibratorbord en ikke konsistent vibration. Dette kan have påvirket kloridindtrængningen i prøverne med indstøbt armeringsstål.

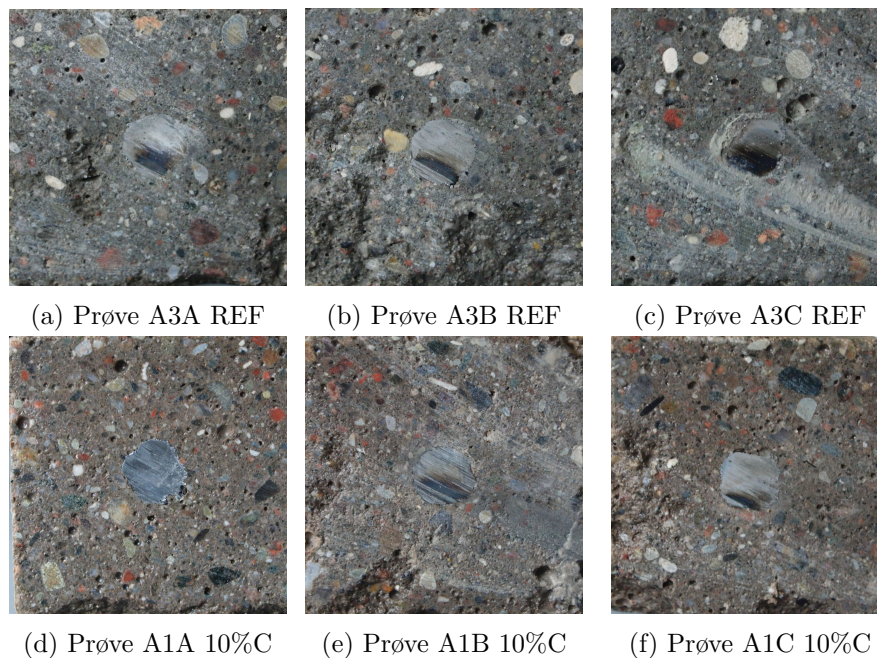
#### Visuel undersøgelse

Figur 4.7 og figur 4.8, på næste side, viser prøverne med indstøbt armeringsjern efter 48 dage i luft-saltvand cyklus. Figur 4.7 viser tværsnittet efter oversavning. Figur 4.8 viser de fritlagte armeringstænger, efter betonen er banket væk. Der blev ikke registreret nogen tegn på påbegyndt korrosion. Den eneste undtagelse er referenceprøven A3C på figur 4.8c som viser røde korrosionsprodukter efter betonen er banket løs. Dette skyldes formentlig, at epoxybelægningen ikke har været fuldstændig tæt, således at kloriderne har fundet en nemmere vej ind på denne prøve. Der blev heller ikke registreret korrosion på de andre referenceprøver.

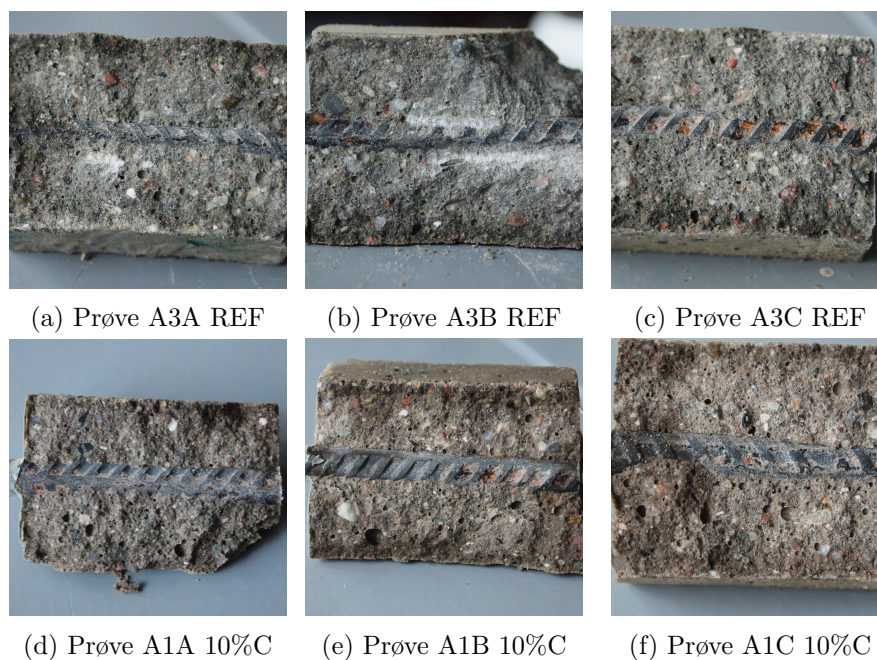
På baggrund af den visuelle undersøgelse må det konkluderes, at forsøget skal køre i længere tid, hvis det skal være muligt, at sige noget om askens indflydelse på korrosionen. Fra diffusionsforsøget efter 28 dage vides det, at kloriderne er trukket omkring 1,5 cm ind i prøverne. Afstanden fra betonoverfladen indtil armeringsstængerne er 1,6 cm jævnfør figur 3.3c. Armeringsprøverne har stået 30 dage i saltvand, da de blev skåret op. Det betyder, at kloriderne først er nået indtil armeringsstålet på det tidspunkt hvor de blev skåret op. Skal forsøget gentages, bør det derfor stå i længere tid end de 2 måneder i luft-saltvandscyklussen.

#### Potentiale-måling

Potentialemålingerne er lavet som tredobbelt bestemmelse og resultaterne er optegnet på figur 4.9. Ifølge [Klinghoffer, 1993] er der mere end 90 % sandsynlighed for, at der er korrosionsaktivitet hvis der måles et potentiale, der numerisk er større end 650 mV i forhold til en SHE-elektrode. Denne grænse er indtegnet på figuren som en vandret sort linje. Resultaterne viser at prøverne forholdsvis hurtigt bevæger sig op over grænsen, og det kan dermed med rimelighed antages, at korrosionsprocesser er igang i askeprøverne efter 7 dage og i referenceprøverne efter 15-20 dage. Reference prøverne og 10 % cement prøverne startede ud forskudt fra hinanden, hvor 10 % cement prøverne har et forspring i starten. Dette kan være på grund af det høje kloridindhold i asken, fundet ved askekaraktistikken. Efter 21 dage ses der ikke længere nogen signifikante forskelle imellem prøverne, hvor potentialet desuden kun stiger svagt testperioden ud. At der ikke blev set væsentlige tegn på korrosion ved de visuelle undersøgelser kan skyldes, at

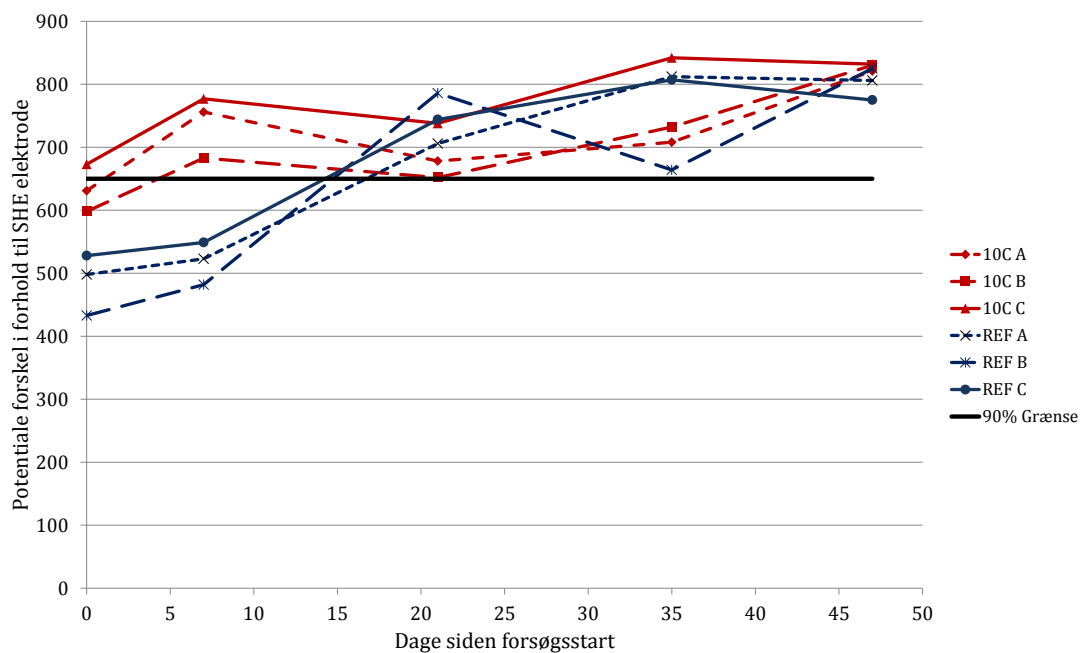


Figur 4.7: Tværsnit af armeringsprøver efter oversavning



Figur 4.8: Armeringsstænger efter at betonen er banket væk

selvom processerne er startet, har processerne ikke for alvor taget fat. Det er muligt hvis testperioden forlænges, at der kan ses en forskel imellem reference og askeprøverne, når korrosionsprocesserne får mere fat, og potentiallet rykker længere væk fra grænsen. Ved testperiodens afslutning, efter 47 dage, ses der ikke signifikant forskel på referenceprøverne og prøverne med 10 % cement erstatning.



Figur 4.9: Resultater fra potentiale målingen

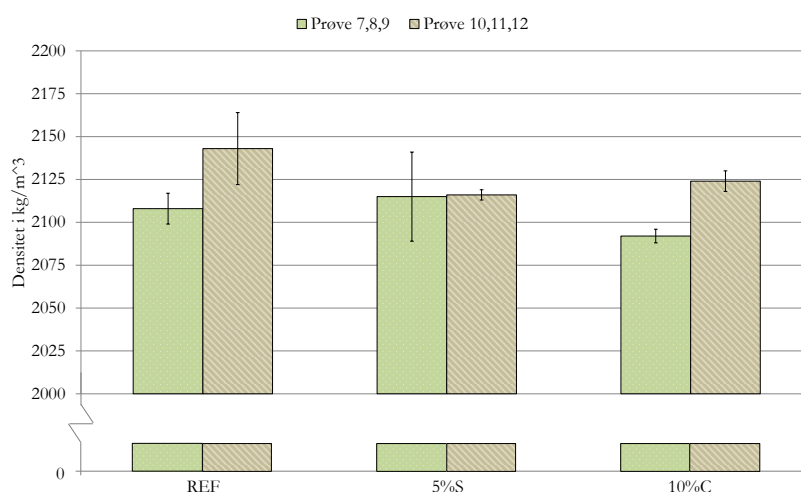
Der ses store udsving på den ene reference prøve (REF B) i forhold til de to andre referenceprøver hvor REF B både har det største og mindste potentiale i løbet af måleperioden. Der kan dog ikke på baggrund af disse data, gives en forklaring på disse udsving.

#### 4.4 Densitet og Porøsitet

Forsøgene for densitet og porøsitet blev gennemført med dobbelt sæt af prøver. Det drejer sig om prøve 7, 8, 9 og prøve 10, 11 og 12. Dette skyldes, at der under vibreringen blev sået tvivl om hvorvidt det lille vibratorbord, brugt til prøve 7, 8 og 9, vibrerede konsistent. Prøve 10, 11 og 12 vibreret på det store vibratorbord. Data fra densitet og porøsitets forsøgene kan findes i bilag G

## Densitet

Prøvernes densitet fremgår af figur 4.10. Tages måleusikkerhed og forskel i vibrering i betragtning ligger de forskellige prøver relativt jævnt indenfor  $2090\text{--}2150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Det tyder dermed ikke på at iblanding af aske ændrer mørtelens densitet betydeligt. Det noteres desuden, at prøvernes densitet ligger tæt op af tabelværdien på  $2100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  som er angivet i [Gottfredsen og Nielsen, 2010]. At forsøgene blev gennemført på to sæt prøver (prøve 7, 8 & 9 og prøve 10, 11 & 12) var for at vurdere kvaliteten af vibreringen på det lille vibratorbord. De mindre forskelle som figuren viser kan skyldes forskel i vibreringen, men forskellen er omtrent af samme størrelsesorden imellem reference og aske prøverne 7, 8 & 9 som forskellen er imellem prøverne 10, 11 & 12 der er vibreret på det store bord. Forsøget viser dermed ikke signifikante tegn på at vibreringen på det lille vibratorbord har været inkonsistent. En bedre vibrering vil medføre mindre luft i prøverne. Luftindholdet er i forvejen lavt, i forhold til faststoffet, så det må forventes, at densiteten ikke er den parameter, der er mest påvirkelig af forskelle i vibrering.



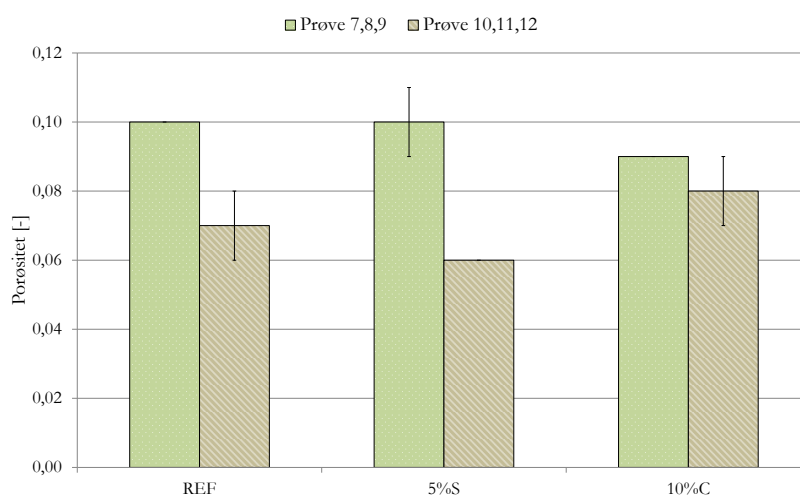
Figur 4.10: Densitet

## Porøsitet

Figur 4.11 viser porøsiteten. For prøverne 7, 8 og 9, ses en tendens til at porøsiteten falder med tilsætning af aske. Hvorimod prøverne 10, 11 og 12, der blev vibreret på det store vibratorbord, snarere viser den modsatte tendens, hvor porøsiteten er højest i 10 % cement. Det tyder derfor på at der er forskel på vibreringen, og da det store vibratorbord var forholdsvist enkelt at arbejde med, kan det pege på at prøver vibreret på det lille vibratorbord ikke er vibreret ens. I dette projekt påvirker det udelukkende forsøgene med indstøbt armeringsjern, da alle andre mørtelprøver er vibreret på det store bord.

Betragtes prøve 10, 11 og 12 særskilt, må det konkluderes at iblanding af asken ikke påvirker porøsiteten i større grad, omend der antydes en mindre tendens til at porøsiteten

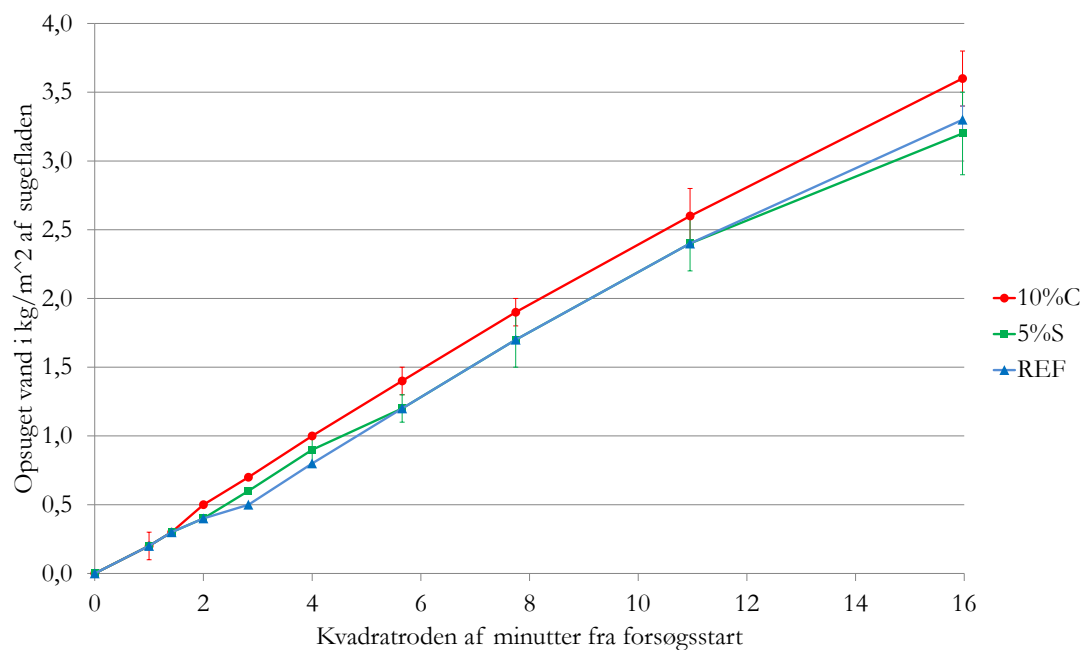
stiger når cement erstattes med aske. Den højere og lavere porøsitet i henholdsvis 10 % cement og 5 % sand, kan muligvis forklares ved at et lavere cement indhold giver højere porøsitet, da v/c-forholdet stiger. I 5 % sand er det sandet der er erstattet af asken. Asken har meget mindre korn hvilket kan udfylde porerne bedre, hvilket vil medføre en lille porøsitet. I dette afsnit og fremefter benyttes resultaterne fra prøverne 10, 11 og 12 til sammenligning og konklusion.



Figur 4.11: Porøsiteten i hhv. reference-, 5%S- og 10%C-prøverne

## 4.5 Kapillarsugning

På figur 4.12 vises der kapillarsugningen, som en funktion af kvadratroden af tiden. Det ses umiddelbart på grafen, at kapillarsugningen ikke er til endebragt, hvilket kunne vise sig ved at graferne for de tre prøver, vil gå mod hver deres vandrette asymptote. Dette betyder at prøverne er fuldt mættede, eller vægten af vandsøjlen i poren har nået ligevægt med undertrykket under menisken. For at nå dertil skal forsøget have en længere løbetid end de fire timer der var sat af. Det kan ses, at der tegner sig en tendens hvor 10 % Cement lægger sig højere end de to andre prøver, hvilket betyder at denne prøve suger vandet hurtigere. Der kan dog ikke siges noget tilsvarende om 5 % Sand. Den synes at ligge omkring referenceprøven. Grunden til 10 % cements afvigelse, kan findes i den filler-effekt der er konkluderet i [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013]. Som filler er asken med til at mindske pore størrelsen, hvilket vil medføre en større kapillarsugning, da der er omvendt proportionalitet imellem opsugt vand og pore størrelsen. Dette gælder så længe at porerne ikke bliver så små at friktionen bremser kapillarsugningen.

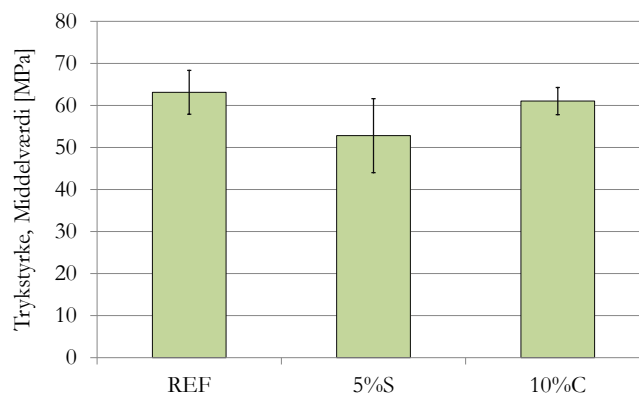


Figur 4.12: Resultater fra Kapillar forsøg, udført på prøve 10, 11 og 12. hhv. REF, 5%S og 10%C

## 4.6 Materialetest

### Trykprøvning

På figur 4.13 trykstyrken vist for mørtelprøverne, der har lagt til afbinding og hærdning i en tid tilsvarende, prøverne brugt til diffusion. Det vil sige i 83 dage.



Figur 4.13: Resultater fra trykforsøg, udført på prøve 1, 2 og 3. hhv. REF, 5%S og 10%C

Fra figur 4.13 ses det, at referenceprøven har den største trykstyrke, samt at 5 % sand har den laveste trykstyrke. 5 % sand prøven, er umiddelbart mindre end referencen. Men spredningen er forholdsvis stor, så usikkerheden på prøven er også stor. Sammenlignes referencen med 10 % cement, ses der ikke en forskel i trykstyrken. Dette taler for brugen af asken, da det ikke på denne baggrund forværrer styrken i mørtlen. Dette stemmer overens med resultater fundet ved tidligere projekter samlet i [Ottosen et al., 2013a], i de tilfælde hvor prøver med knuste asker omtales. Her konkluderes det, at prøven 5 % sand er meget tæt på reference prøven i trykstyrke, og det er sågar konstateret, at prøven 10 % cement har en højere trykstyrke end referenceprøven.

### Oplukning af mørtelprøver

I tabel 4.6 er resultaterne fra forsøget oplukning af mørtelprøver vist. Tabellen viser hvor

Tabel 4.6: Indhold af tungmetaller ved oplukning af mørtelprøve

Metal	REF	5 % sand	10 % cement
<i>Faststofindhold i mg/kg</i>			
Arsen, As	0,8 ± 0,7	1,8 ± 0,4	1,5 ± 0,4
Bly, Pb	5,1 ± 0,4	7,5 ± 0,7	6,1 ± 0,1
Cadmium, Cd	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0
Krom, Cr	10,4 ± 0,8	9,6 ± 0,9	8,7 ± 0,1
Kobber, Cu	18,6 ± 5,0	28,1 ± 3,3	25,1 ± 6,6
Nikkel, Ni	3,8 ± 0,2	1,8 ± 0,3	1,9 ± 0,1
Zink, Zn	35,2 ± 6,7	53,6 ± 4,0	43,8 ± 3,8

stort indhold af tungmetaller, der er tilbage i mørtelprøven efter afbinding og hældning i 83 dage. Generelt set er det højere indhold af tungmetaller i 10%C prøverne end i reference prøverne og det højeste indhold ses i 5%S prøverne. Dette er forventeligt, i og med, der er tilføjet mest aske i 5% sand prøverne. Især Arsen, Kobber og Zink viser store stigninger. Bly og Cadmium mindre, men resultaterne skal naturligvis vurderes i forhold til de enkelte stoffer farlighed. Værd at bemærke er det, at iblanding af aske tilsyneladende sænker indholdet af Nikkel og Krom.

## 4.7 Opsummering

For overblikkets skyld, er de væsentlige konklusioner i projektet, opsat i grove træk i Tabel 4.7

Tabel 4.7: Oversigt over væsentlige konklusioner fra de forskellige forsøg

Askekarakteristik	Asken har et højt indhold af tungmetaller og salte. Desuden varierer indholdet og egenskaber en del i forhold til tidligere udtag af asken.
Transport af kloridioner ved diffusion	Det tyder ikke på at iblanding af aske i mørtlen øger eller sænker kloridernes diffusions hastighed.
Prøver med indstøbt armeringsstål — Visuel	Efter ca. 2 måneder i luft-saltvandscyklus, blev der ikke set nogen korrosionsprodukter på hverken reference prøver eller prøve med iblandet aske. Der kan indenfor tidsrammen af dette projekt ikke siges noget om askeprøverne vil korrodere hurtigere eller langsommere end reference prøverne.
Prøver med indstøbt armeringsstål — Potenti-alemåling	I de første 20 dage af forsøget, havde prøverne, med aske iblandet, et højere potentiale end referenceprøverne. Herefter indhenter reference prøverne dog askeprøverne og der ses ikke længere en forskel mellem de to prøver.
Densitet og Porøsitet	Iblanding af aske påvirker ikke mørtlens densitet. Tilsyneladende påvirkes porøsiteten heller ikke, men der blev dog set en lille tendens til at porøsiteten stiger når cement erstattes med aske og at den falder når sandet erstattes.
Kapillarsugning	Erstatning af cement med aske øgede kapillarsugningen. Der blev ikke set nogen ændring når sand erstattes.
Trykstyrke	Der blev ikke set nogen signifikante ændringer af trykstyrken ved tilsætning af asken.

Der blev fundet et uheldigt højt indhold af tungmetaller i asken, således at asken karakteriseres som kategori 2 ifølge [BEK nr. 1662, 2010]. Det betyder, at asken ikke må anvendes som tilsætning i beton ved almindelige byggearbejder som husbyggeri, der er dog i [BEK nr. 1662, 2010], angivet en række forhold, hvor hvis disse overholdes må



asken bruges i anlægsarbejder, såfremt arbejdet anmeldes til kommunen. Dette må ses som et stort tab for asken, da husbyggeri er et stort marked for betonproducenterne. Der er på DTU Byg igangværende projekter, der undersøger forskellige metoder til at udtrække disse tungmetaller af asken. En sådan procedure kan være nødvendig at indføre inden asken bliver anvendt i byggeriet. Dette kunne f.eks. være et krav der blev stillet til forbrændingsanlæggene, således at de leverer et produkt, der er mere sympatisk i forhold til miljøhensyn.

Desuden er det fundet at asken, sammenlignet med tidligere projekter, på visse punkter er meget forskellige fra dette projekt. Det er vigtigt at forholde sig til disse problemstillinger. Vedrørende vandindhold og indhold af organisk stof, kan disse problemer udbedres, ved at effektivisere forbrændingen så det sidste vandindhold og organiske stof bliver fjernet fra asken inden levering.

Det er klart, at sådanne processer helst ikke skal påføre miljøet yderligere påvirkninger, og slet ikke til et niveau, der er mere kritisk end hvis asken ikke blev brugt i beton. En livscyklusanalyse (LCA) ville være interessant, hvis aske i beton bliver en normal procedure i betonbranchen.

Et af de større emner i dette projekt, har været at undersøge, om der er yderligere risiko for klorid-initieret korrosion. Der blev fundet et større indhold af klorider i asken, end hvad der er fundet i tidligere projekter på Lynetten Ny-1 og Depot-1. Denne større koncentration af klorider kan potentielt være farligt for nedbrydningen af passivlaget, og sammenlignes dette med resultaterne fra EKP-målingen (figur 4.9), bekræfter de første 7 dage af undersøgelsen, at prøven, hvor der er erstattet 10 % cement, vil være i større risiko for korrosion. Det ses dog også, at der efter 21 dage, og fremefter, ikke kan konkluderes nogen afgørende forskel mellem de to typer prøver i figur 4.9. Dette stemmer overens med figur 4.6, hvor der indikeres en lille forskel mellem de to askeprøver og referenceprøven, som kan gøre, at 10 % cement prøven ville initiere korrosionen hurtigere end ved referenceprøven. Denne forskel synes dog ikke alvorlig, hvis der ses over alle forsøg. Den visuelle undersøgelse af armeringsjernene i luft-saltvandscyklussen, viste ingen tegn på korrosion efter forsøgsperioden var slut. Dermed kan det ikke konkluderes ud fra forsøgene med indstøbt armeringsstål, hvorvidt der er større risiko for korrosion ved iblanding af aske. Det bemærkes dog at EKP-målingerne viste at askeprøverne var længere tid i korrosionsområdet, så det er muligt at hvis forsøget kørte over længere tid at askeprøverne ville korrodere først.

Forsøgene der undersøgte, hvorledes iblanding af asken påvirkede transporten af klorider ved diffusion, viste ikke nogen betydelige forskelle imellem prøverne. Ud fra disse forsøg tyder det dermed på, at asken ikke påvirker diffusionsegenskaberne. Det blev bemærket ved resultaterne fra disse forsøg at kloridindhold i % af den oprindelige mørtel var 0,01 % højere i askeprøverne end i referencen i startsituationen.

Samlet set, er der ikke på basis af disse undersøgelser, fundet bevis for at iblandingen af aske øger korrosionsrisikoen betydeligt. Askekaraktistikken viste til gengæld variationen imellem dette udtag af asken og tidligere på bl.a. vandindhold, indhold af organisk stof og kloridindhold. Variationen er naturligvis nød til at håndteres. Ligeledes

blev der fundet en koncentration af tungmetaller der er så stor at det ikke er muligt at bruge asken til alle typer betonarbejder. Eventuelle procedure der kan rette op på dette bør overvejes.

### **Fremtidige undersøgelser**

Det ville være spændende at lave diffusionsforsøget, EKP-målingen og den visuelle undersøgelse, på tre sideløbende forsøg så der kan måles kloridindholdet samt potentialet til den begyndende korrosion.

Et af de store problemstillinger i forhold til holdbarheds undersøgelser, er at løbetiderne på forsøgene er nød til at være meget lange, for at kunne opnå valide resultater. En måde at komme uden dette, er ved at lave accelererede forsøg, hvor klorider trækkes ind i mørtelprøver med strøm dette er undersøgt i et sideløbende kandidatprojekt [Kurt, 2014].

Det kunne undersøges hvor meget klorid der trækkes op ved hjælp af kapillarsugning, analogt til diffusionsforsøgene i dette projekt, ved at placere prøverne i forsøget over en saltvandsopløsning.

Det vil være relevant at undersøge, hvorledes indholdet af sulfater og nitrater i asken påvirker betonens holdbarhed.

En helt naturlig udvidelse af disse projekter vil på et tidspunkt være at relevante forsøg skal laves med større og rigtige betonprøver, fremfor mørtel. For at simulere en virkelig konstruktion. Disse forsøg kan dog kræve en forsøgstid på nogen år.

Forskellene mellem asken fra spildevandsanlæggene rundt om i Danmark kan fastlægges. således at der kan opstilles krav og anmodninger til bearbejdning af asken inden modtagelse ved cementproducenten. Samtidig bør sæsonvariationen i askens egenskaber og indhold også kortlægges.

Hvordan skal beton med slammaske håndteres når den engang skal bortskaffes, da der kan være problemstillinger i forbindelse med indhold af f.eks. tungmetaller.

## 5 Konklusion

Askekaraktistikken viste, at der var betydelige afvigelser i dens indhold af salte, sammenlignet med asker fra samme anlæg fra tidligere år. Der blev i asken fundet 17 gange mere klorid end i hvad der blev fundet i et tilsvarende projekt sidste år. Det er dog ikke her bestemt, om koncentrationen er stor nok til at initiere en korrosionsproces.

Indholdet af tungmetaller har et niveau, så asken karakteriseres som kategori 2 i følge [BEK nr. 1662, 2010]. Dette begrænser brug af asken til bestemte anlægsarbejder efter ansøgning om tilladelse. Alternativt skal der ske en forarbejdning af asken så indholdet af de sundheds- og miljøskadelige tungmetaller nedsættes. Det blev dog fastslået, at den andel der blev udvasket af totalkoncentrationen, var under 2,1 % på de enkelte metaller.

Tilsvarende var der andre afvigelser i askens egenskaber. Heriblandt afveg vandindholdet mellem Lynetten Ny-2 og Lynetten Ny-1 med en faktor 40. Glødetabet var også markant højere med en faktor 10, hvilket indikerer en højere mængde organisk materiale. Dette kan håndteres ved krav om yderligere bearbejdning af asken ved forbrændingsanlægget.

På baggrund af ovenstående konklusioner, synes asken ikke umiddelbart anvendelig som udbredt tilsætning til beton i sin rå tilstand. Før asken kan anvendes bør forbrændingen effektiviseres og procedurer, der fjerner tungmetallerne fra asken, bør indføres. Der bør udføres stikprøvekontrol der kontrollerer om variationen mellem de forskellige udtag kan accepteres, evt. uden yderligere bearbejdning.

Ved den visuelle undersøgelse, af prøverne med indstøbte armeringsjern, blev der ikke registreret nogen tegn på korrosionsprodukter. Hverken på reference eller 10 % cement prøverne.

Potentialemålingen viste at der i løbet af de første 15 dage, var en forskel mellem prøven hvor cement var erstattet med aske og referenceprøven. Askeprøverne lå højere end referenceprøverne. Askeprøverne nåede et potentialeniveau, hvor der med 90 % sandsynlighed er korrosionsaktivitet, cirka 2 uger før referenceprøverne. Herefter har det ikke været muligt, at se en signifikant forskel på prøverne. Det er muligt, at der ville kunne ses en forskel hvis forsøget havde kørt i længere tid, og korrosionsprocesserne havde fået mere fat.

Fra diffusions forsøgene er der ikke fundet signifikante forskelle mellem reference prøverne og de to prøver hvor aske er tilsat. Dermed synes tilsætningen af asken i beton

ikke at øge risikoen for korrosion forårsaget af kloridindtrængning ved diffusion.

Fra forsøgene med kapillarsugning blev det fundet, at prøven med 10 % cement viste en større evne til at transportere væske ved kapillarsugning.

Det er fundet, at densiteten ikke ændrer sig signifikant med tilsætning af aske. Porøsiteten ændrer sig ligeledes ikke signifikant, men antyder en lille tendens til at stige ved 10 % cement og falde ved 5 % sand.

Fra trykprøvningen er det fundet at 10 % cement og reference prøverne har stort set samme trykstyrke, hvorimod styrken i 5 % sand er lavere.

Ved oplukning af mørtelprøven og efterfølgende ICP-måling blev der fundet store stigninger i indholdet af Arsen, Kobber og Zink, foruden mindre stigninger i indholdet af Bly og Cadmium. Tilsyneladende sænkede tilsætningen af aske indholdet af Nikkel og Krom.

På grundlag af resultater fra forsøg gennemført i forbindelse med dette projekt, må det konkluderes, at asken ikke tilfører en nævneværdig risiko for korrosion, når asken tilsættes til beton. Det er dog konkluderet, at der er et uhensigtsmæssigt højt indhold af tungmetaller i asken, der begrænser brugen betydeligt til udvalgte anlægsarbejder. Det er også fundet, at askens egenskaber og bestanddele varierer betydeligt imellem forskellige udtag af asken. Dette skal håndteres inden kommerciel anvendelse i betonindustrien. Håndteres dette bør det være muligt, at anvende asken og dermed reducere CO<sub>2</sub> forbruget og skaffe spildevandsanlæggene af med et affaldsprodukt.

# Litteratur

- [BEK nr. 1662, 2010] BEK nr. 1662 (2010). Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurennet bygge- og anlægsaffald. {<http://retsinformation.dk>}. I skrivende stund den gældende bekendtgørelse. Offentliggjort af miljøministeriet d. 24. december 2010. Bekendtgørelsen downloadet 12. november 2013.
- [Carlsen og Petersen, 2013] Carlsen, A. B. og Petersen, S. R. (2013). Slammaske i beton - undersøgelse af anvendelsesmuligheder. Bachelorprojekt, Institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet.
- [De Forenede Nationer, 2012] De Forenede Nationer (2012). World population prospects: The 2012 revision. {<http://esa.un.org/unpd/wpp/>}. Data hentet 7. oktober 2013.
- [Donatello et al., 2009] Donatello, S., Freeman-Pask, A., Tyrer, M. og Cheeseman, C. R. (2009). Effect of milling and acid washing on the pozzolanic activity of incinerator sewage sludge ash. *Cement & Concrete Composites*, 32:54-61.
- [DS 259, 2003] DS 259 (2003). Vandundersøgelse - bestemmelse af metaller i vand, jord, slam og sedimenter – almene principper og retningslinjer for bestemmelse ved atomabsorptionsspektrofotometri i. *Dansk Standard*.
- [DS/EN 196-2, 2005] DS/EN 196-2 (2005). Metoder til prøvning af cement - del 2: Kemisk analyse af cement. *Dansk Standard*.
- [DS/EN 206-1, 2006] DS/EN 206-1 (2006). Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse. *Dansk Standard*.
- [DS/EN 450-1, 2012] DS/EN 450-1 (2012). Flyveaske til beton - del 1: Definition, specifikationer og overensstemmelseskriterier. *Dansk Standard*.
- [Duffus, 2002] Duffus, J. H. (2002). "HEAVY METALS" — A MEANINGLESS TERM? *Pure Applied Chemistry*, 74(5):703-807.
- [Gottfredsen og Nielsen, 2010] Gottfredsen, F. R. og Nielsen, A. (2010). *Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber*. 6. Polyteknisk Forlag, 1. udgave.

- [Hansen et al., 2008] Hansen, K. K., Linnet, E., Nielsen, A., Geiker, M. og Hoffmeyer, P. (2008). *Bygningsingeniørens materialer - uddrag af Materialebogen*. 1. Nyt Teknisk Forlag, 1. udgave.
- [Herholdt et al., 1985] Herholdt, A. D., Justensen, C. F. P., Nepper-Christensen, P. og Nielsen, A. (1985). *Beton-Bogen*. Aalborg Portland, 2. udgave.
- [IEA og WBCSD, 2009] IEA og WBCSD (2009). Cement Technology Roadmap 2009. *International Energy Agency and World Business Council for Sustainable Development*.
- [Klinghoffer, 1993] Klinghoffer, O. (1993). Overvågning af korrosionsrelevante parametre og katodisk beskyttelse. *DSM Materialenyt*, 4:28-39.
- [Kurt, 2014] Kurt, G. (2014). Aske i beton - korrosionsrisiko. Sideløbende kandidatspeciale, titlen er en foreløbig titel.
- [Makar og Tromans, 1996] Makar, G. og Tromans, D. (1996). Pitting corrosion of iron in weakly alkaline chloride solutions. *Corrosion*, 52(4):250-261.
- [Nielsen et al., 2012] Nielsen, A., Eeg, R. og Sørensen, H. (2012). *Bygningsmaterialer - Metallære*. 4. Polyteknisk Forlag, 1. udgave.
- [Nielsen, 2013] Nielsen, J. S. (2013). Vor nye atmosfære: 400 ppm CO<sub>2</sub>. *Information*.
- [Ottosen et al., 2013a] Ottosen, L. M., Jensen, P. E., Golterman, P. og Kirkelund, G. (2013a). Sewage sludge ash as cement replacement after simple pretreatment. Sammenfatning og opsummering af tidligere projekter udført ved DTU Byg.
- [Ottosen et al., 2013b] Ottosen, L. M., Kirkelund, G. M. og Jensen, P. E. (2013b). Extracting phosphorous from incinerated sewage sludge ash rich in iron or aluminium. *Chemosphere*, 91:963-969.
- [Pan et al., 2003] Pan, S.-C., Tseng, D.-H., Lee, C.-C. og Lee, C. (2003). Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. *Cement and Concrete Research*, 33:1749-1754.
- [Poulsen, 1985] Poulsen, E. (1985). *Beton 4: 13 betonsygdomme, hvordan opstår de, forløber og forebygges*. Statens Byggeforskningsinstitut.
- [Reiff og Meldgaard, 2013] Reiff, M. og Meldgaard, M. G. (2013). Slamaske i beton - effekt af knusning og syrevask af slamaske. Bachelorprojekt, Institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet.
- [Rem, 2014] Rem, C. (2014). Use of sewage sludge ash in reinforced concrete - risk of corrosion. Sideløbende kandidatspeciale ved DTU, titlen er en foreløbig.
- [Werther og Ogada, 1999] Werther, J. og Ogada, T. (1999). Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25:55-116.

- [Yen et al., 2012] Yen, C.-L., Tseng, D.-H. og Wu, Y.-Z. (2012). Properties of cement mortar produced from mixed waste materials with pozzolanic characteristics. *ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE*, 29(7):638-645.

# Bilag

<b>A Støbebog, Støbebeskrivelse og tidsplan</b>	<b>53</b>
<b>B Forsøgsvejledninger</b>	<b>57</b>
B.1 pH i 1 M KCl opslemning. Jord-væske forhold 1:2,5 . . . . .	57
B.2 Vandindhold i jord . . . . .	60
B.3 Glødetab i jord . . . . .	63
B.4 Måling af ledningsevne i jord . . . . .	66
B.5 Vandopløselighed . . . . .	69
B.6 Syreoplukning på hærdet beton . . . . .	71
B.7 Bestemmelse af klorid ved titrering . . . . .	73
B.8 Oplukning af jordprøve efter DS 259 . . . . .	76
B.9 Leaching . . . . .	80
B.10 Vandopløse anioner . . . . .	82
B.11 Porøsitet, Densitet og Kapillarsugning . . . . .	84
<b>C Data fra Askekarakteristik</b>	<b>97</b>
C.1 Data for laboratorieforsøg . . . . .	97
C.2 Data fra ICP-måling ved oplukning af askeprøve . . . . .	99
C.3 Data fra ICP-måling på leaching af askeprøve. . . . .	101
C.4 Data fra IC-måling til bestemmelse af vandopløselige anioner . . . . .	103
C.5 Data fra kornstørrelsesfordelingen . . . . .	105
C.6 Billeder fra Scanning Electron Microscope . . . . .	122
<b>D Diffusionsforsøg</b>	<b>125</b>
D.1 Data for diffusionsforsøg . . . . .	125
D.2 Kloridindtrængning over tid. . . . .	131
<b>E Data fra Kapillarsugning forsøgene</b>	<b>133</b>
<b>F Data fra potentialemålinger</b>	<b>135</b>



<i>LITTERATUR</i>	53
<b>G Data fra Densitet og Porøsitet målingerne</b>	<b>137</b>
<b>H Data fra trykforsøgene</b>	<b>139</b>
H.1 Billeder af brudformer . . . . .	141
<b>I Data fra ICP-måling efter oplukning af mørtelprøve</b>	<b>143</b>
<b>J Epoxy vejledning og datablade</b>	<b>145</b>
<b>K Poster</b>	<b>161</b>

## Bilag A

# Støbebog, Støbebeskrivelse og tidsplan

Støbebog						
Prøve	Type	Formål	Støbedato	Afformet	Vibr. Bord	Støbenoter
Ebba 1	5 % S	Diffusion	01-07-2013	02-07-2013	Stort	
Ebba 4	10% C	Diffusion	01-07-2013	02-07-2013	Stort	
Ebba 7	REF	Diffusion	01-07-2013	02-07-2013	Stort	
1	REF	Styrkeprøve	05-09-2013	06-09-2013	Stort	
2	5 % S	Styrkeprøve	05-09-2013	06-09-2013	Stort	Lunke i overflade på størelse med en tommelfinger negl A = Klump / Lunke i overflade ABC=Mange små huller i overflade (3-5 mm)
3	10 % C	Styrkeprøve	05-09-2013	06-09-2013	Stort	Mer flydende end prøve 1 og 2
A1	10 % C	Visuel undersøgelse	23-09-2013	24-09-2013	Lille	Det lille vibratorbord blev brugt, hvilket gør at vibreringen ikke bliver helt ens, og især ikke tilstrækkelig. Formen skulle stå på midten, og endda hjælpes lidt på vej med hånden.
A2	10 % C	Potentialemåling	23-09-2013	24-09-2013	Lille	"--  --"
A3	REF	Visuel undersøgelse	23-09-2013	24-09-2013	Lille	"--  --"
A4	REF	Potentialemåling	23-09-2013	24-09-2013	Lille	"--  --"
7	REF	Kapilar sugning	07-10-2013	08-10-2013	Lille	Vibratorbord længe om at starte. Usikkerhed om vibrering - har muligvis fået længere vibr. Bearbejdelighed udemærket
8	5 % S	Kapilar sugning	07-10-2013	08-10-2013	Lille	Mindre bearbejdelig end prøve 7
9	10 % C	Kapilar sugning	07-10-2013	08-10-2013	Lille	Bedre bearbejdelig end prøve 7
10	REF	Kapilar sugning	10-10-2013	11-10-2013	Stort	Vibr. På det store bord => bedre vibrering
11	5 % S	Kapilar sugning	10-10-2013	11-10-2013	Stort	"--  --"
12	10 % C	Kapilar sugning	10-10-2013	11-10-2013	Stort	"--  --"

REF	5%S	10%C
Cement	450	405
Sand	1350	1350
Aske	0	45
Vand	225	225

Alle mål i g

### **Blande Procedure**

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

### **Vibratorbordet:**

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



## Bilag B

# Forsøgsvejledninger

B.1 pH i 1 M KCl opslemning. Jord-væske forhold 1:2,5

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

### **A Princip**

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

### **B Specielt apparatur**

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

### **C Kemikalie sikkerhed**

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

**Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.**

### **D Reagenser**

#### **1) Kaliumchlorid 1 M KCl:**

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

#### **2) Bufferopløsning, pH 4,01:**

Radiometer pH 4.

#### **3) Bufferopløsning, pH 7,00:**

Radiometer pH 7.

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

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

**2) Målingens udførelse**

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

**F** **Beregning af resultat**

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

**G** **Affaldshåndtering**

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

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



## **B.2 Vandindhold i jord**

## 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.

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

**E** **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

### **B.3 Glødetab i jord**

## Glødetab i jord

### A Princip

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

### B Specielt apparatur

Til analysen benyttes et muffelovn.

### C Analysens udførelse

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

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

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

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

### D Beregning af resultat

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

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

**E Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

## **B.4 Måling af ledningsevne i jord**

## Måling af ledningsevne i jord

### A Princip

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

### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes ledningsevнемåler.

### C Analysens udførelse

10,00 g tør knust jord afvejes på teknisk vægt til en 50 mL plastikflaske. Der tilsættes 25,00 mL destilleret vand med fuld pipette. Plastikflaskerne stilles ca. 1/2 time på rysteapparat, hvorefter jorden bundfældes i ca. 20 minutter, indtil en væskefase har udskilt sig over jorden.

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

### D Beregning af resultat

På baggrund af ledningsevнемålingen beregnes jordens ionindhold i jordvæsken.

Det samlede ionindhold i jordvæsken:

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



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

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

### **E** **Affaldshåndtering**

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

## **B.5 Vandopløselighed**

## Vandopløselighed

### Analyse:

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

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

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

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

Hele prøven hældes over i filteret og stilles til afdrypning.

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

Asken og filteret vejes og vægten noteres.

## **B.6 Syreoplukning på hærdet beton**

## Syreoplukning på hærdet beton

### Fremgangsmåde (TI-B 9 (85)):

5 g tørret (105 °C) knust prøve afvejes på teknisk vægt til en konisk kolbe.

Der tilsættes ca. 50 mL varmt destilleret vand og det blandes. Derefter tilsættes der langsomt 10 mL konc.  $\text{HNO}_3$  til opslemningen som derefter blandes godt og stilles til afkøling til stuetemperatur.

Der tilsættes ca. 1 mL  $\text{HNO}_3$  for at kontrollere at alt materiale er opløst (ingen luftudvikling). Fortsæt med at tilsætte  $\text{HNO}_3$  indtil der ikke er mere luftudvikling.

Filtrer opløsningen gennem alm filter ned i et bægerglas. Skyl filtreret med 1%  $\text{HNO}_3$ . Tilsæt destilleret vand til ca. 100 mL volumen.

Titreer prøven.

### Sikkerhed:

Alt arbejde med syre foregår i stinkskab med briller og engangshandsker.

---

### In English (sort of..) ☺

5 g dried sample is weighed and placed in a conically shaped flask

Add app. 50 ml hot (50 C) distilled water.

Slowly add 10 ml concentrated  $\text{HNO}_3$  to the flask, mix well and leave to cool.

Add 1 ml  $\text{HNO}_3$  to check if all of the material is dissolved (= no air bubbles) .

If not, continue to add  $\text{HNO}_3$ .

Filter the solution into a beaker, rinse filter with 1%  $\text{HNO}_3$ . Add distilled water to app. 100 ml.

Continue to titration of sample.

**Safety:** When working with acid, use safety goggles and gloves. Work in fume cupboard.

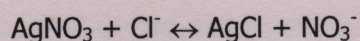
## **B.7 Bestemmelse af klorid ved titrering**



## Bestemmelse af chlorid ved titrering

### Baggrund:

Sølvnitrat titreres med den chloridholdige væske og udfælder som sølvchlorid (hvidt) efter reaktionen:



Metoden kan bruges på vandprøver, oplukkede prøver eller prøver som er udrustet med vand (husk L/S forhold ved udregning).

### Udstyr:

- Titrator 716 DMS Titrino
- 5ml brun burette enhed
- $\text{AgNO}_3$  elektrode (6.0430.100)
- Måleglas 50 mL
- Bægerglas 100 – 150 mL
- Magnetstave til omrøring

### Reagenser:

- 0,1N  $\text{AgNO}_3$  fremstillet af Bie og Berntsen
- Destilleret vand

### Opstart:

1. Tjek at  $\text{AgNO}_3$  elektroden (6.0430.100) sidder i input 1
2. Tryk på ON bag på titratoren.
3. Flyt buretteslangen til spiddunken
4. Hold DOS inde for at tømme buretten.
5. Tryk på Stop/Fill for at fylde buretten.
6. Pkt. 4 og 5 gentages 3 gange
7. Sæt buretteslangen og  $\text{AgNO}_3$  elektroden i holderen. Tjek højden



**Beregning af  $\text{AgNO}_3$  koncentrationen:**

$$\text{mol / L AgNO}_3 = \frac{\text{mL}(\text{NaCl}) \times 0,1 \text{ mol / L}}{\text{mL}(\text{AgNO}_3)}$$

**Beregning af prøver i %:**

$$\% \text{Cl} = \frac{\text{mL}(\text{AgNO}_3) \times \text{mol / L}(\text{AgNO}_3) \times \text{g / mol}(\text{Cl}) \times 100}{\text{g}(\text{prøve}) \times 1000 \text{ mL / L}}$$

mL  $\text{AgNO}_3$  = den mængde der er brugt til titreringen  
mol/L  $\text{AgNO}_3$  = beregnet koncentration af  $\text{AgNO}_3$   
g/mol Cl = 35,45  
g prøve (den afvejede mængde prøve til syreoplukning)



## **B.8 Oplukning af jordprøve efter DS 259**

## Oplukning af jordprøve efter DS 259

### A Princip

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

### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes et atomabsorptionspektrofotometer (AAS).

### C Kemikalie sikkerhed

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

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

**Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.**

### D Reagenser

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

500 mL koncentreret HNO<sub>3</sub> overføres med måleglas til en 1000,00 mL målekolbe som er ½ fyldt med destilleret vand. Der blandes godt og tilsættes vand til mærket. Efter blanding overføres opløsningen til en plastikflaske og mærkes.

**E** **Analysens udførelse**

1,00 g tør, knust jord afvejes på teknisk vægt i et pyrex-glas med skruelåg (autoklaveglas) og der tilsættes 20,00 mL halvkoncentreret 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.** Autoklaveflasken skylles med 3 gange destilleret vand. Filtreret skal suge tør mellem hvert skyl.

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

**F** **Bestemmelse af metaller**

Ekstraktens indhold af metaller måles ved AAS under benyttelse af de standarder som hører til de enkelte metaller.

**G** **Beregning af resultat**

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

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

hvor

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

**H** **Affaldshåndtering**

Salpetersyre hældes i affaldsdunke mærket X 4.18.

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinkskabet.

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

## **B.9 Leaching**

**Leaching:**

10,00 g tørret aske afvejes på teknisk vægt til en 50mL plastikflaske. Der tilsættes 20mL med fuld pipette.

Prøven stilles på rystebord i præcis 23 timer. Derefter henstilles den i 15 minutter hvorefter der måles pH.

Prøven filtreres med sug gennem et 45µm filter og overføres til en 20mL plastikvial til måling på ICP.

## **B.10 Vandopløse anioner**

## Vandopløselige anioner

### **Analyse:**

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

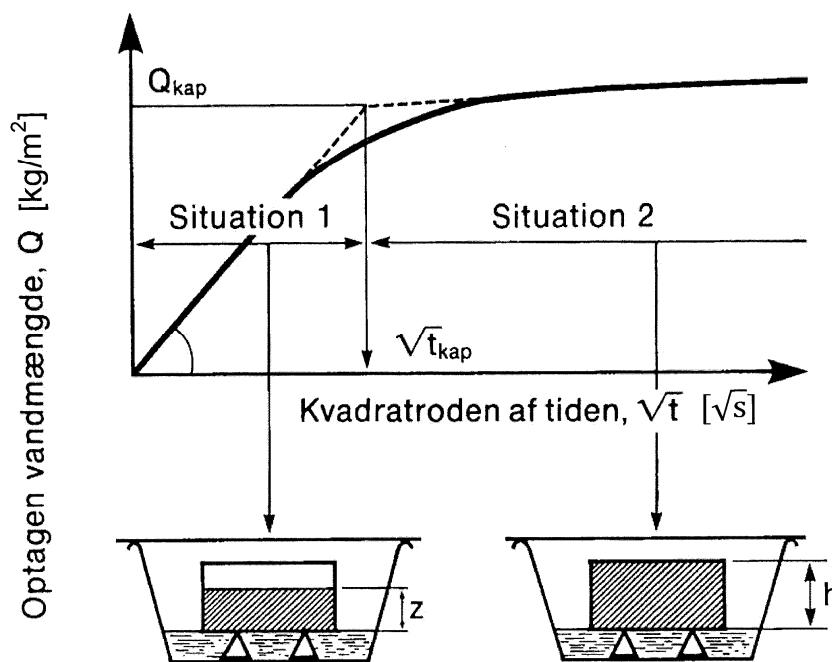
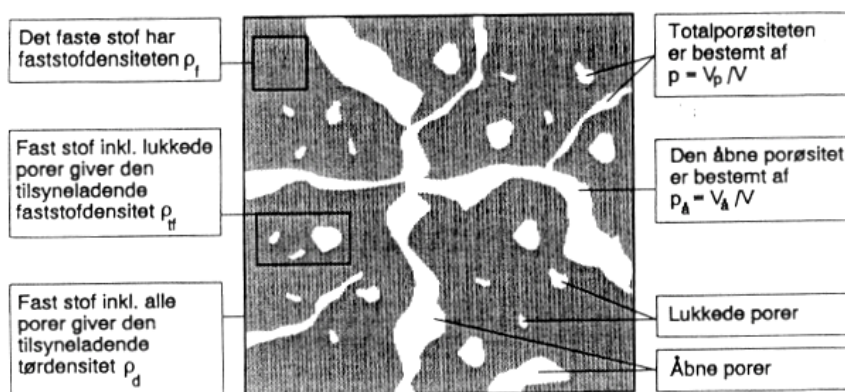
Prøven stilles på rystebord natten over.

Prøven filtreres med sprøjtefilter og prøven gemmes til ionchromotograf og AAS



## **B.11 Porøsitet, Densitet og Kapillarsugning**

# PORØSITET, DENSITET OG KAPILLARSUGNING



---

## Indholdsfortegnelse

<b>1. FORMÅL</b> .....	<b>3</b>
<b>2. OMFANG</b> .....	<b>3</b>
<b>3. BAGGRUND</b> .....	<b>4</b>
3.1. GENERELT .....	4
3.2. PORØSITET OG DENSITET .....	4
3.3. KAPILLARSUGNING .....	5
<b>4. EKSPERIMENTER</b> .....	<b>8</b>
4.1. PORØSITET OG DENSITET .....	8
4.2. KAPILLARSUGNING I MURSTEN .....	8
<b>5. RAPPORTERING</b> .....	<b>9</b>
<b>6. LITTERATUR</b> .....	<b>9</b>
<b>BILAG 1: SKEMA 1 – PORØSITET OG DENSITET</b> .....	<b>10</b>
<b>BILAG 2: SKEMA 2 – KAPILLARSUGNING I</b> .....	<b>11</b>
<b>BILAG 3: SKEMA 3 – KAPILLARSUGNING II</b> .....	<b>12</b>

*Forside:*

Øverst: *Skitse af et porøst materiale med forskellige materialeparametre defineret.*

Nederst: *Illustration af opsugningsforsøg.*

## 1. Formål

Øvelsens formål er dels at måle porøsitet og densitet for et eller flere byggematerialer, dels at måle et eller flere byggematerialers kapillarsugningsevne. De anvendte byggematerialer oplyses på forsøgsdagen.

## 2. Omfang

*Indledning:* Øvelsen indledes med en fælles orientering om det apparatur, der skal anvendes.

*Gruppearbejde:* Herefter arbejder grupperne med hver deres prøvelegemer.

*Afslutning:* Øvelsen slutes med, at

**alle grupper indtaster måleresultater på Campusnet til brug ved rapporteringen.  
Manglende resultater fra en gruppe medfører nedsat karakter i den endelige bedømmelse!**

### 3. Baggrund

#### 3.1. Generelt

En bygningskonstruktions egenskaber afhænger af hvilket materiale den bygges af. Disse egenskaber kan fx være bæreevnen eller isolansen. Mange af byggematerialernes egenskaber påvirkes af hvor våde de er. Det gælder fx træ som vil angribes af svamp hvis der er et højt fugtindhold i det. Anbringes træet tæt sammen med våd beton vil svamp således angribe træet, ligesom styrken af træet vil mindskes med et øget fugtindhold.

#### 3.2. Porøsitet og densitet

Et materiales porøsitet er afgørende for mange af dets egenskaber. En generel regel er at jo mindre porøst et materiale er, jo stærkere er det, og jo mere porøst det er, jo bedre isolerer det. Et materiales densitet kan bestemmes som massen divideret med rumfanget. Dog kan materialet indeholde en ukendt mængde vand, og den bestemte densitet er derfor en dårligt anvendelig størrelse, hvis masseandelen som vand udgør er ukendt. Derfor arbejdes ofte med følgende fire densitetsbegreber:

faststoffdensitet	$\rho_f$
tilsyneladende faststoffdensitet	$\rho_{if}$
tørdensitet	$\rho_d$
densitet i vandmættet, overfladetør tilstand	$\rho_{ssd}$

og de dermed sammenhørende parametre til karakterisering af porøsitetsforholdene

total porøsitet	$p$
åben porøsitet	$p_a$
absorption	$w_a$

Størrelserne  $\rho_f$  og  $\rho_{if}$  anvendes dog temmelig sjældent. Fig. 1 illustrerer de tre rumfangsdefinitioner.

I det følgende gives en mere udførlig forklaring på anvendte begreber til karakterisering af porøse eller kornede materialer.

*Faststoffdensiteten* defineres som materialets masse i tør tilstand divideret med faststoffrumfanget, der er vist på figur 1. Faststoffrumfanget er selve det faste materiale uden nogen form for porer. Faststoffdensiteten kan bestemmes ved pulverisering af prøven.

Den *tilsyneladende faststoffdensitet* defineres som materialets masse i tør tilstand divideret med det tilsyneladende faststoffrumfang. Det

tilsyneladende faststoffrumfang betegner rumfanget af det der set udefra fremtræder som faststof, dvs. faststof inklusiv lukkede porer.

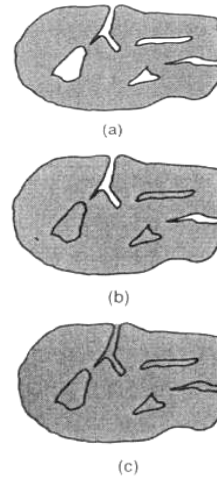


Fig. 1. Rumfangsdefinitioner. (a) absolut faststoffrumfang (faststof), (b) tilsyneladende faststoffrumfang (faststof + lukkede porer), (c) kornrumfang (faststof + lukkede porer + åbne porer).

*Tørdensiteten* defineres som materialets masse i tør tilstand divideret med prøvelegemets rumfang. Prøvelegemets rumfang betegner det rumfang, faststoffet beslaglægger hvor alle typer porer medtages. Det er altså det ydre rumfang.

*Densiteten i vandmættet, overfladetør tilstand, v.o.t.* (engelsk: saturated surface dry, s.s.d.) defineres som prøvelegemets masse i s.s.d.-tilstanden divideret med prøvelegemets ydre rumfang. Vandmættet tilstand kan opnås ved vakuumvandmætning af prøvelegemet.

*Lukkede porer* betegner porer der ikke er tilgængelige for vand fra materialets overflade.

*Åbne porer* betegner porer der er tilgængelige for vand fra materialets overflade.

*Totalporøsiteten* er forholdet mellem porerumfang (lukkede + åbne porer) og prøvelegemets ydre rumfang. Udtrykt ved de tidligere definerede densiteter haves porøsiteten som

$$p = p_a = \frac{\rho_f - \rho_d}{\rho_f} \quad (1)$$

## Porøsitet, densitet og kapillarsugning

DTU Byg

I de fleste porøse materialer er poresystemet åbent, og derfor vil den åbne porøsitet være lig med totalporøsiteten.

*Absorptionen* er betegnelsen for massen af det vand der kan optages i de åbne porer via kapillarsugning divideret med massen af det tørre materiale. Den hænger sammen med de to tidligere omtalte densiteter ved følgende ligning.

$$w_a = \frac{\rho_{ssd} - \rho_d}{\rho_d} \quad (2)$$

*Vandindholdet* er vand-tørstofforholdet defineres som massetabet af en prøve der tørres ved 105 °C, udtrykt i % af prøvens masse efter tørringen.

Fugtoptagelsen der foregår i de åbne porer, vil være afhængig af porøsiteten. Hvis der ingen hulrum er, dvs. porøsiteten er nul, vil der ikke kunne optages vand. Hvis der derimod haves en stor porøsitet i et materiale, samtidig med poreradius er mellem  $10^{-7} \text{ m} < r < 10^{-4} \text{ m}$ , er der mulighed for at binde meget vand i det givne materiale. Dette er fx tilfældet med teglsten.

### 3.2.1. Bestemmelse af porøsitet og densitet

Ved den såkaldte veje-dyppe-veje metode kan densiteten og porøsiteten for et materiale findes. Metoden udnytter Archimedes lov der siger at opdriften på et legeme i en væske er lig tyngdekraften på det fortrængte væskevolumen. Dette betyder altså at vægten af prøvelegemet under vand  $m_u$  har en opdrift som gør, at prøvelegemet ikke vejer lige så meget under vand, som det gør over vand. Forskellen på vægten under vand og vægten over vand er lig vægten af den væske som prøvelegemet fortrænger.

Volumen af prøvelegemet nedsænket i vand kan bestemmes ud fra nedenstående formel.

$$V = \frac{m_{ov} - m_u}{\rho_w} \quad (3)$$

hvor

$V$  er prøvelegemets volumen [ $m^3$ ]  
 $m_{ov}$  er massen i luft af prøvelegemet i vacuumvandmættet, overfladetør tilstand [ $kg$ ]  
 $m_u$  er det målte masse af prøvelegemet neddyppet i vand [ $kg$ ]  
 $\rho_w$  er vands densitet [ $kg/m^3$ ]

Massen  $m_{ov}$  angiver hvor meget prøvelegemet vejer, når det er fyldt med vand i de åbne porer. Massen af prøvelegemet under vand,  $m_u$  er mindre end  $m_{ov}$  som følge af opdriften beskrevet ved Archimedes Lov.

Voluminet af de åbne porer i prøvelegemet findes efter formelen:

$$V_{\dot{a}} = \frac{m_{ov} - m_0}{\rho_w} \quad (4)$$

hvor

$V_{\dot{a}}$  er voluminet af de åbne porer [ $m^3$ ]  
 $m_0$  er tørrmassen af prøvelegemet [ $kg$ ]

Tørrmassen er den målte masse efter ovntørring ved 105 °C, hvorved alt vand i det åbne poresystem fordampes. Ud fra det åbne porevolumen kan den åbne porøsitet beregnes ved (5).

$$p_{\dot{a}} = \frac{V_{\dot{a}}}{V} = \frac{m_{ov} - m_0}{m_{ov} - m_u} \quad (5)$$

hvor

$p_{\dot{a}}$  er den åbne porøsitet [-]

Endvidere kan tørdensiteten af materialet bestemmes ved (6) ud fra den fundne tørrmasse og det totale volumen.

$$\rho_d = \frac{m_0}{V} \quad (6)$$

hvor

$\rho_d$  er materialets tørdensitet [ $kg/m^3$ ]

Som tidligere nævnt har de fleste porøse materialer et åbent poresystem. Derfor vil faststoffdensiteten være lig med den tilsyneladende faststoffdensitet, der bestemmes af sammenhængen

$$\rho_f = \rho_{tf} = \frac{m_0}{m_0 - m_u} \cdot \rho_w \quad (7)$$

hvor

$\rho_f$  er materialets faststoffdensitet [ $kg/m^3$ ]

Densiteten af prøvelegemet i vandmættet, overfladetør tilstand bestemmes ved (8).

$$\rho_{ssd} = \frac{m_{ov}}{V} \quad (8)$$

hvor

$\rho_{ssd}$  er materialets densitet i vacuumvandmættet, overfladetør tilstand [ $kg/m^3$ ]

### 3.3. Kapillarsugning

En vandoverflade i en delvis vandfyldt pore – en menisk – vil altid være krum. I små porer

med lille diameter kan denne krumning være betydelig, hvorimod den for meget store diametre – fx i en kop – er uden praktisk relevans. Det hydrostatiske undertryk i vandet umiddelbart under menisken er afgørende for et af de vigtigste transportfænomener i mange porøse materialer – kapillarsugning.

Figur 2 viser stighøjden i et kapillarrør, der ækvivalerer en delvis vandfyldt pore. Som det ses danner menisken kontakt til kapillarrørets inderside en vinkel med overfladen af kapillarrøret, kaldet kontaktvinklen. Desuden virker en overfladespænding i vandet som vist.

I tilfældet med små diametre er overfladespændingen afgørende for vandtransporten, idet den resulterer i en opadrettet kraft der overstiger tyngdekraften og friktionen med rørvæggen og trækker vandet op i røret.

Hastigheden hvormed vandet bevæger sig op i røret vil aftage med tiden, idet friktionen mellem væg og vand vil stige når vandet dækker et større indre areal i røret. Endvidere øges tyngdekraften med vægten af vandet i røret.

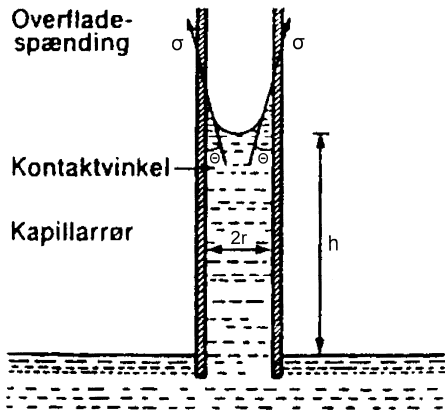


Fig. 2. Stighøjde i et kapillarrør.

Hvis porerne er meget små, vil der være en betydelig modstand mod vandtransporten, der derfor vil foregå meget langsomt. Samtidig vil der være en meget stor kraft idet krumningen på menisken er stor. En væskesøjle kan således i teorien blive flere kilometer høj i meget tynde rør. Dette vil dog tage lang tid at opbygge, samtidig med at det kræver at der ikke er nogen luftbobler i væskesøjlen, idet disse vil bryde kapillarvirkningen. Det kan nævnes, at kapillartransport indgår, når et træ får transporteret vand fra rødderne og op til bladene.

Af nedenstående formel (9) ses hvor stort det hydrostatiske undertryk under menisken bliver:

$$p_h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (9)$$

hvor

$p_h$  er det hydrostatiske undertryk [Pa]

$\sigma$  er overfladespændingen [N/m]

$\theta$  er kontaktvinklen [°]

$r$  er radius i menisken [m]

Som det fremgår af (9) bliver undertrykket stort når radius mindskes. I porer over en vis størrelse vil der ikke forekomme kapillartransport, idet det hydrostatiske undertryk ikke vil resultere i en tilstrækkelig stor kraft til at flytte vandet. Derfor er det ikke alle åbne hulrum som kan fyldes ved kapillartransport af vand.

Når et materiale anbringes i kontakt med vand, vil der ved kapillarsugning transporteres vand op igennem materialet. Dette vil foregå ved aftagende hastighed når vandoverfladen har nået toppen af prøvelegemet, eller der er ligevægt mellem kapillarkræfterne på vandet og de modsatrettede kræfter hidrørende fra friktion og tyngdekraft. Ved et kapillarsugningsforsøg anbringes et materiale med kendt overfladeareal i kontakt med en fri vandoverflade, og der foretages en vejning af prøven til forskellige tidspunkter. Resultaterne fra et sådan forsøg ses i figur 3.

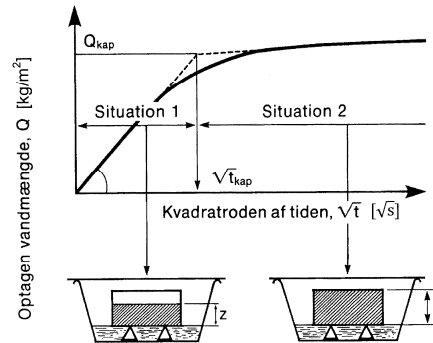


Fig. 3. Illustration af kapillarsugningsforsøg.

Den stiplede linje viser det ideelle forhold, hvor den optagne vandmængde pr. areal,  $Q$  som funktion af  $t^{1/2}$  afbilder en ret linje, indtil vandmængden svarende til  $Q_{kap}$  er opsuget jf. situation 1 i figur 3. Herefter optages teoretisk set ikke mere vand, og hældningen af kurven er derfor nul, jf. situation 2 i figur 3. I virkeligheden vil en kurve se ud som vist ved den fuldt optrukne linje, fordi alle porerne ikke fyldes lige hurtigt. Ligeledes vil der for nogle materialer være en svagt stigende tendens efter vandoverfladen har nået toppen af prøvelegemet; dette skyldes at fyldningen af de mindste porer i materialet tager lang tid.

På figur 3 ses skæringspunktet mellem de to stiplede linjer. Dette skæringspunkt ( $t_{kap}^{1/2}$ ,  $Q_{kap}$ ) findes ud fra tangenter til den krummede kurve. Ud fra koordinaterne til punktet kan

### Porøsitet, densitet og kapillarsugning

DTU Byg

kapillaritetstallet,  $k$  ( $kg/(m^2 \cdot s^{1/2})$ ) udregnes. Denne parameter angiver hældningen af den første kurve som vist i (10).

$$k = \frac{Q_{kap}}{\sqrt{t_{kap}}} \quad (10)$$

Det skal bemærkes, at det ikke er nødvendigt at finde skæringspunktet for at beregne kapillaritetstallet; det er tilstrækkeligt at kende hældningen på den første del af kurven.

Et stort kapillaritetstal betyder at opsugningen foregår hurtigt, mens et lavt omvendt angiver at opsugningen foregår langsomt. Dette har fx betydning for hvor meget vand en mursten når at opsuge i regnvejr, og hvor meget vand en mursten når at opsuge fra mørtelfugen under opmuring.

#### 3.3.1. Bestemmelse af opsugningsparametre

Ved et opsugningsforsøg kan en række materialeegenskaber bestemmes. I første omgang skal den opsugede masse pr. areal bestemmes ud fra (11).

$$Q = \frac{m_t - m_0}{A} \quad (11)$$

hvor

$Q$  er den opsugede masse pr. opsugningsareal [ $kg/m^2$ ]  
 $m_t$  er massen af prøvelegemet til tiden  $t$  [ $kg$ ]  
 $m_0$  er tørmassen af prøvelegemet [ $kg$ ]  
 $A$  er opsugningsarealet [ $m^2$ ]

Massen af det forkonditionerede prøvelegeme,  $m_0$  henviser til en vedtagen standardtilstand som prøvelegemet skal være i ved forsøgets start. Prøvelegemet har ved denne øvelse været udtørret ved en temperatur på 105 °C i to døgn og efterfølgende afkølet til rumtemperatur inden forsøgets start.

Når  $t_{kap}$  er bestemt som tidligere beskrevet kan modstandstallet  $M$  beregnes af (12). Dette siger noget om den indre modstand i materialet der påvirker opsugningshastigheden.

$$M = \frac{t_{kap}}{h^2} \quad (12)$$

hvor

$M$  er modstandstallet [ $s/m^2$ ]  
 $h$  er højden på prøvelegemet [ $m$ ]

Som tidligere beskrevet kunne den åbne porøsitet bestemmes ud fra veje-dyppe-veje metoden, der benytter sig af Archimedes lov. Ved opsugningsforsøg kan denne porøsitet ligeledes bestemmes ved (13).

$$p_{\dot{a}} = \frac{(m_{slut} - m_0)}{h \cdot A \cdot \rho_w} \quad (13)$$

hvor

$p_{\dot{a}}$  er den åbne porøsitet [-]  
 $m_{slut}$  er massen af prøvelegemet til tiden  $t_{slut}$  [ $kg$ ]



## 4. Eksperimenter

### 4.1. Porøsitet og densitet

#### 4.1.1. Apparatur og materialer

- 1 stk. ¼ mursten
- Ekssikator til opbevaring af prøvelegeme under vakuumvandmætning
- Vægt med nøjagtighed på 0,1 %
- Kontrollod
- Udstyr til vejning af prøvelegeme under vand
- Demineraliseret, afluftet vand
- Termometer med inddeling på 0,1 °C
- Vakuumpumpe
- Klude til aftørring af prøvelegeme
- Varmeskab til forkonditionering af prøvelegeme

#### 4.1.2. Fremgangsmåde

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

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

Hanen på eksikatoren åbnes, og der ledes luft ind i eksikatoren. Prøverne henstår i vandet ved atmosfæretryk i 5 min. De vakuumvandsmættede prøver vejes ( $m_u$ ) under vandet, og værdien noteres. Hvorledes der vejes under vand vises af vejlederen. Prøvelegemerne aftørres med en hårdt opvredet klud, og vejes ( $m_{ov}$ ) i luft. Alle omtalte værdier noteres i skema 1, se bilag 1.

### 4.2. Kapillarsugning i mursten

#### 4.2.1. Apparatur og materialer

- 1 stk. ¼ mursten

- Eksikator med silicagel til opbevaring af prøvelegeme under afkøling.
- Vægt med nøjagtighed på 0,1 %
- Kontrollod
- Fotobakke med afstandsholder
- Demineraliseret vand
- Termometer med inddeling på 0,1 °C
- Stopur
- Klude til aftørring af prøvelegeme

#### 4.2.2. Fremgangsmåde

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

Eksikatoren er en lufttæt plast- eller glasbeholder. Silicagelen er et tørremiddel som sørger for, at der ikke er fugt i luften inde i eksikatoren. Der benyttes kontrollod til sikring af at vægten vejer korrekt både før og efter forsøget. Prøvelegemet vejes i modtagelsessituationen ( $m_0$ ), og dets dimensioner opmåles; højde ( $h$ ) og sugeflades længde ( $l$ ) og bredde ( $b$ ) noteres i skema 2, se bilag 2.

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

Temperaturen i lokalet måles ( $\theta_{rum}$ ) og noteres, mens temperaturen af vandet i fotobakken skal være  $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ , hvilket måles ( $\theta_{vand}$ ). Ved forsøg over længere tid bør fotobakken overdækkes for at udgå fordampning. Med passende tidsintervaller regnet fra starttidspunktet tages prøvelegemet op, aftørres med en hårdt opvredet klud og vejes ( $m_t$ ). Stopuret stoppes ikke når prøvelegemet ikke er i kontakt med vandet i fotobakken. Der foretages målinger efter 1, 2, 4, 8, 16, 32, 60, 120, evt. 240 minutter fra starttidspunktet. Til sidst kontrolles vægten ved en kontrolvejning og værdien noteres. Vejerresultaterne noteres i skema 3, se bilag 3.

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

## 5. Rapportering

På rapportform sammenfattes fremgangsmåde, forsøgsresultater, diskussion og konklusion i et omfang af **max. 4 sider**. Dersom sideantallet overskrides, trækker det ned i bedømmelsen!

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

### Hvad skal rapporten indeholde af resultater?

Porøsitet og densitet

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

Kapillarsugning

- Egen graf over opsugningsforsøget.
- Tabel over  $Q_{kap}$  og  $t_{kap}$  for alle grupperes resultater. Anfør endvidere porøsiteten for hver enkelt prøvelegeme.
- Tabel over kapillaritetstal og modstandstal for alle grupperes resultater.
- Grafisk afbildning af sammenhæng mellem målte porøsiteter og tilhørende kapillaritetstal.

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

## 6. Litteratur

- [1] Gottfredsen F.R. og Nielsen A. (2006): *Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber*. Polyteknisk Forlag.

Porøsitet, densitet og kapillarsugning

DTU Byg

## Bilag 1: Skema 1 – Porøsitet og densitet

Materiale:					
<b>Målinger</b>					
Temperatur	$\theta_{rum} =$	°C	$\theta_{vand} =$	°C	$\rho_w =$ 998 kg/m <sup>3</sup>
Kontrollod	$m_{for} =$	kg			
Prøvelegeme Masse	$m_0 =$	kg	$m_u =$	kg	$m_{ov} =$ kg
<b>Beregninger</b>					
Volumen og densitet	$V =$	m <sup>3</sup>	$V_{\bar{a}} =$	m <sup>3</sup>	$p_{\bar{a}} =$
	$\rho_d =$	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_f =$	kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{ssd} =$ kg/m <sup>3</sup>
Bemærkninger:					
Gruppenr. Dato					

Porøsitet, densitet og kapillarsugning

DTU Byg

## Bilag 2: Skema 2 – Kapillarsugning I

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

Porøsitet, densitet og kapillarsugning

DTU Byg

## Bilag 3: Skema 3 – Kapillarsugning II

Materiale					
Kontrollod		$m_{\text{før}} =$	kg	$m_{\text{efter}} =$	kg
Prøvelegeme					
$t$ [min]	$t^{1/2}$ [s <sup>1/2</sup> ]	$m_t$ [kg]	$Q$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Bemærkninger	
0					
1					
2					
4					
8					
16					
32					
60					
120					
240					
Bemærkninger:					
Gruppenr. Dato					

## Bilag C

# Data fra Askekarakteristik

### C.1 Data for laboratorieforsøg

**Forsøg: Vandindhold i Jord**

Startdato 9/10/13

Slutdato 9/11/13

Prøve	Glas [g]	Glas+Aske [g]	Sat i varmeskab	Udtaget af varmeskab	Tørretid [timer]	Glas+Tør Aske [g]	Fordampning [g]	Fordampning [% af tør aske]
1	98.75	188.87	10/09/13 09:50	11/09/13 08:30	22	185.49	3.38	3.75
2	108.16	201.65	10/09/13 09:50	11/09/13 08:30	22	198.24	3.41	3.65
3	110.61	220.83	10/09/13 09:50	11/09/13 08:30	22	216.74	4.09	3.71
Gennemsnit							3.63	3.70
Spredning							0.33	0.04

Målenøjagtighed

Vægt 0,01 g

**Forsøg: Vandopløselighed**

Dato Prøve 1 9/10/13

Dato Prøve 2 9/17/13

Prøve	Tør aske før [g]	Filter [g]	Petriskål [g]	Petri+Filter+Prøve [g]	Petri+Filter+Prøve efter [g]	Tør aske efter [g]	Vandopløselighed [%]
1	96.30	10.05	111.90	311.05	213.19	91.24	5.3
2	96.30	10.00	230.60	452.56	331.78	91.18	5.3

Målenøjagtighed

Vægt 0,01 g

**Forsøg: Glødetab**

Dato 9/16/13

Prøve	digle [g]	aske [g]	digle+tør aske [g]	Tør aske [g]	Glødetab [g]	Glødetab [%-opr-vægt]
A	13.7062	2.5069	16.1484	2.4422	0.0647	2.58
G	14.0153	2.5062	16.4566	2.4413	0.0649	2.59
D	13.8057	2.5066	16.2477	2.4420	0.0646	2.58
Gennemsnit						2.58
Spredning						0.01

Målenøjagtighed

Vægt 0,0001 g

**Forsøg: Ledningsevne og pH**

Dato 9/16/13

Prøve	Opslemmet i	Væske [mL]	Aske [g]	pH [-]	Ledningsevne [ms/cm]
A	H2O	12.5	5	12.6	10.25
B	H2O	12.5	5	12.6	10.73
C	H2O	12.5	5	12.6	10.65
A	KCl	12.5	5	12.5 -	
B	KCl	12.5	5	12.6 -	
C	KCl	12.5	5	12.5 -	
Gennemsnit				12.6	10.54
Spredning				0.02	0.21

Målenøjagtighed

Ledningsevнемåler

0.1

pH-måler

0.01

## **C.2 Data fra ICP-måling ved oplukning af askeprøve**



## Data fra ICP ved oplukning af asken

Afvejet  
mL målekolbe1,00 g  
100 mL

$$\text{Faststofsindhold i mg/kg} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot \frac{V_{\text{målekolbe}}}{m_{\text{afvejet}}}$$

		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gennemsnit	Spredning
<i>Grundstof</i>	<i>mg/L</i>	<i>Målt</i>				
	<i>mg/kg</i>	<i>Beregnet</i>				
Aluminium (Al)	mg/L	141,778	141,744	141,790		
	mg/kg	14178	14174	14179	14177	2
Arsen (As)	mg/L	0,032	0,041	0,040		
	mg/kg	3,2	4,1	4,0	3,8	0,4
Barium (Ba)	mg/L	5,050	5,204	5,228		
	mg/kg	505	520	523	516	8
Cadmium (Cd)	mg/L	0,022	0,022	0,023		
	mg/kg	2,2	2,2	2,3	2,2	0,1
Krom (Cr)	mg/L	0,444	0,448	0,457		
	mg/kg	44,4	44,8	45,7	45,0	0,5
Kobber (Cu)	mg/L	5,091	5,097	5,178		
	mg/kg	509	510	518	512	4
Nikkel (Ni)	mg/L	0,381	0,396	0,390		
	mg/kg	38,1	39,6	39,0	38,9	0,6
Bly (Pb)	mg/L	0,992	1,052	1,017		
	mg/kg	99	105	102	102	2
Zink (Zn)	mg/L	24,284	24,073	24,068		
	mg/kg	2428	2407	2407	2414	10
Natrium (Na)	mg/L	44,295	45,487	45,713		
	mg/kg	4429	4549	4571	4516	62
Jern (Fe)	mg/L	363,476	361,563	363,564		
	mg/kg	36348	36156	36356	36287	92
Kalium (K)	mg/L	94,591	96,741	98,159		
	mg/kg	9459	9674	9816	9650	147
Kalcium (Ca)	mg/L	2326,450	2357,820	2285,210		
	mg/kg	232645	235782	228521	232316	2973
Fosfor (P)	mg/L	725,899	724,185	723,634		
	mg/kg	72590	72419	72363	72457	96
Magnesium (Mg)	mg/L	154,203	155,374	153,578		
	mg/kg	15420	15537	15358	15439	74
Mangan (Mn)	mg/L	3,835	3,909	3,897		
	mg/kg	384	391	390	388	3
Vanadium (V)	mg/L	0,535	0,543	0,550		
	mg/kg	53,5	54,3	55,0	54,3	0,6

### **C.3 Data fra ICP-måling på leaching af askeprøve**

## Data fra ICP ved Leaching

Afvejet  
mL målekolbe10,00 g  
20 mL

$$\text{Faststofsindhold i mg/kg} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot \frac{V_{\text{målekolbe}}}{m_{\text{afvejet}}}$$

		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gennemsnit	Spredning
<i>Grundstof</i>	<i>mg/L</i>	<i>Målt</i>				
	<i>mg/kg</i>	<i>Beregnet</i>				
Aluminium	mg/L	0,2	0,1	0,1		
	mg/kg	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
Arsen	mg/L	0,0	0,0	0,0		
	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cadmium	mg/L	0,0	0,0	0,0		
	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Krom	mg/L	0,5	0,5	0,5		
	mg/kg	1,0	0,9	0,9	0,9	0,0
Kobber	mg/L	0,0	0,0	0,0		
	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nikkel	mg/L	0,0	0,0	0,0		
	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bly	mg/L	0,1	0,2	0,5		
	mg/kg	0,2	0,4	1,0	0,5	0,4
Zink	mg/L	0,0	0,1	0,1		
	mg/kg	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1
Natrium	mg/L	127,4	127,9	129,0		
	mg/kg	254,7	255,8	258,0	256	2
Jern	mg/L	0,0	0,0	0,0		
	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalium	mg/L	1016,8	1022,1	1065,4		
	mg/kg	2033,7	2044,2	2130,8	2070	53
Calcium	mg/L	942,3	952,4	1051,0		
	mg/kg	1884,6	1904,8	2102,1	1964	120
Fosfor	mg/L	0,9	0,4	0,6		
	mg/kg	1,8	0,9	1,3	1,3	0,4
Magnesium	mg/L	0,0	0,0	0,1		
	mg/kg	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1

#### **C.4 Data fra IC-måling til bestemmelse af vandopløselige anioner**

## Ionchromotograf på aske (Lynetten Ny-1)

Dato:

Udført af:

Prøve	afvejet tilsat	mg/L Cl	mg/kg Cl	mg/l NO3	mg/kg NO3	mg/L SO4	mg/kg SO4	
JSA- anion lyn-ny A	10	50	335	1674	5	25	1680	8400
JSA- anion lyn-ny B	10	50	340	1702	5	25	1736	8680
JSA- anion lyn-ny C	10	50	343	1715	5	24	1716	8580
Gennemsnit			339	1697	4,9	24	1711	8554
Spredning			4	21	0,2	1	28	142

## C.5 Data fra kornstørrelsesfordelingen

Apparatet anvendt til kornstørrelsesfordelingen laver en tripel bestemmelse for hver prøve. Da denne tripel bestemmelse bliver foretaget på samme prøve er den ikke uafhængig. Derfor blev der kørt to prøver med knust aske og to prøver med ikke behandlet aske. Det følgende er outputtet fra apparatet.

De første 3 sider står der under *Sample Name*: LSA\_NY\_KNUST1, det er resultatet af apparatets 3 bestemmelser på den første knuste prøve. Side 4 er *Sample Name*: LSA\_NY\_KNUST1\_average, det er gennemsnittet for de tripel bestemmelserne på den første knuste prøve. Systemet gentages således med den anden knuste prøve LSA\_NY\_KNUST2 og de ikke behandlede prøver: LSA\_NY\_RAA1 og LSA\_NY\_RAA2.

Data anvendt til figuren i rapportens resultat afsnit er *Vol. Weighted Mean*.



# MASTERSIZER



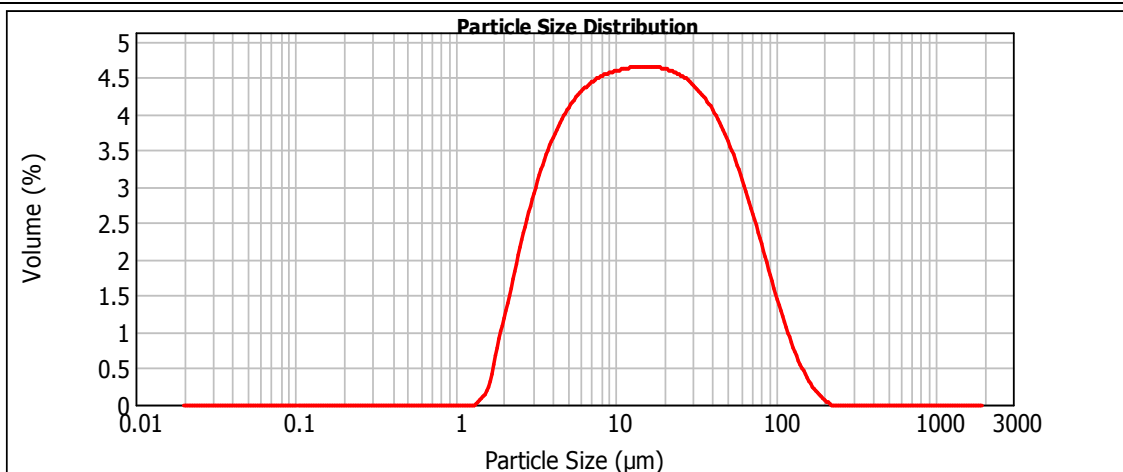
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_KNUST1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:40:55
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:40:56
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 15.62 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.478 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0173 %Vol	<b>Span :</b> 4.016	<b>Uniformity:</b> 1.25	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.681 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 8.812 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 25.241 um	

**d(0.1): 3.534 um                      d(0.5): 14.626 um                      d(0.9): 62.272 um**



— LSA\_NY\_KNUST1, 18. november 2013 09:40:55

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	7.096	3.37	50.238	2.62	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	3.41	56.368	2.39	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.01	8.934	3.45	63.246	2.13	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.01	10.024	3.47	70.963	1.85	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.11	11.247	3.49	79.621	1.56	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.35	12.619	3.50	89.337	1.27	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.75	14.159	3.50	100.237	0.99	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.09	15.887	3.50	112.468	0.73	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.47	17.825	3.49	126.191	0.51	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.82	20.000	3.47	141.589	0.33	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.14	22.440	3.44	158.866	0.19	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	2.41	25.179	3.39	178.250	0.09	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.65	28.251	3.32	200.000	0.02	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	2.84	31.698	3.24	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	3.00	35.566	3.13	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	3.13	39.905	2.99	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	3.24	44.774	2.82	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	3.31	50.238	2.82	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



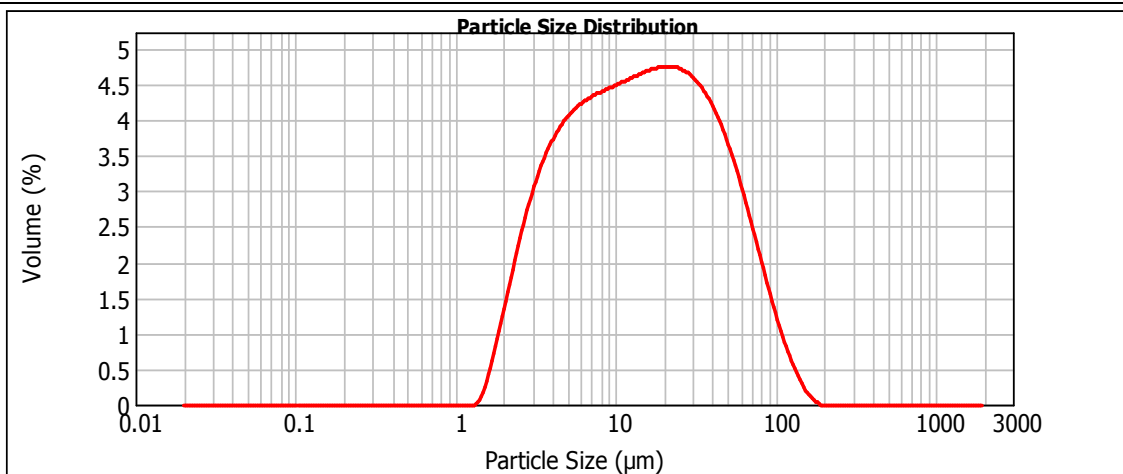
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_KNUST1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:41:34
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:41:35
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 15.72 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.537 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0167 %Vol	<b>Span :</b> 3.780	<b>Uniformity:</b> 1.18	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.705 m²/g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 8.515 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 23.777 um	

**d(0.1): 3.392 um                      d(0.5): 14.416 um                      d(0.9): 57.882 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	7.096	3.28	50.238	2.63	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	3.32	56.368	2.35	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	3.36	63.246	2.04	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.18	10.024	3.40	70.963	1.72	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.49	11.247	3.44	79.621	1.40	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.85	12.619	3.48	89.337	1.09	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.60	14.159	3.52	100.237	0.80	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	2.26	15.887	3.55	112.468	0.55	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	2.85	17.825	3.57	126.191	0.35	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	3.38	20.000	3.58	141.589	0.20	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	3.85	22.440	3.57	158.866	0.17	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	4.29	25.179	3.53	178.250	0.10	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	4.68	28.251	3.47	200.000	0.07	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	5.03	31.698	3.38	224.404	0.05	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	5.34	35.566	3.25	251.785	0.04	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	5.61	39.905	3.08	282.508	0.03	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	5.85	44.774	2.87	316.979	0.02		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	6.13	50.238	2.87	355.656	0.01		

Operator notes:





# MASTERSIZER



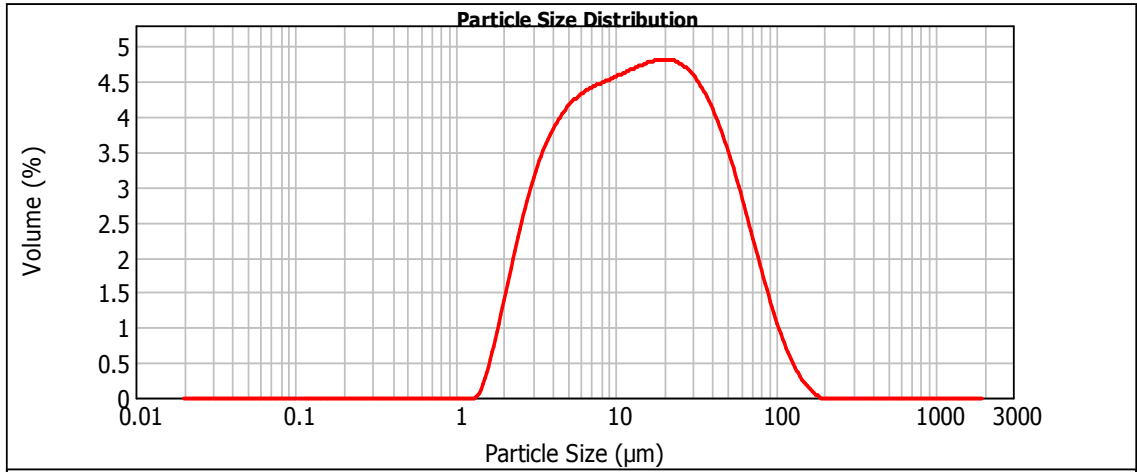
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_KNUST1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:42:13
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:42:14
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 15.71 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.558 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0163 %Vol	<b>Span :</b> 3.737	<b>Uniformity:</b> 1.17	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.719 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 8.342 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 22.889 um	

**d(0.1): 3.348 um                      d(0.5): 13.910 um                      d(0.9): 55.331 um**



— LSA\_NY\_KNUST1, 18. november 2013 09:42:13

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	7.096	3.35	50.238	2.50	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	3.39	56.368	2.21	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	3.42	63.246	1.89	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.19	10.024	3.46	70.963	1.57	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.51	11.247	3.50	79.621	1.26	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.87	12.619	3.54	89.337	0.96	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.65	14.159	3.57	100.237	0.70	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	2.57	15.887	3.60	112.468	0.48	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	3.07	17.825	3.62	126.191	0.31	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	3.17	20.000	3.62	141.589	0.16	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.57	22.440	3.60	158.866	0.08	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	2.78	25.179	3.55	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.94	28.251	3.47	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	3.07	31.698	3.35	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	3.25	35.566	3.19	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	3.30	39.905	3.00	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	3.30	44.774	2.77	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	3.30	50.238	2.77	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
LSA\_NY\_KNUST1 - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Flyveaskeaske våd

**Measured by:**  
f-user

**Result Source:**  
Averaged

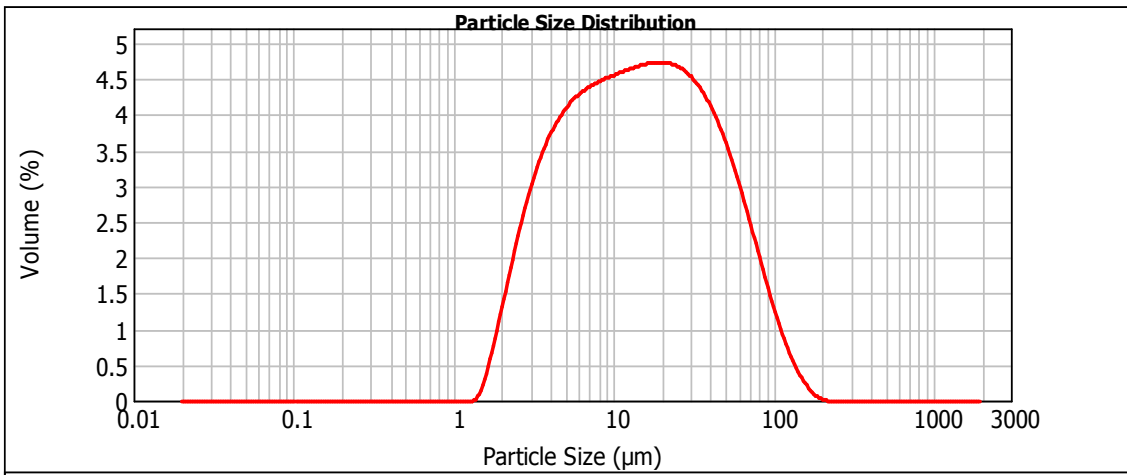
**Measured:**  
18. november 2013 09:40:55

**Analysed:**  
18. november 2013 09:40:56

<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> 15.68 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.524 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0168 %Vol	<b>Span :</b> 3.844	<b>Uniformity:</b> 1.2	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.702 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 8.552 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 23.969 um	

**d(0.1): 3.422 um                      d(0.5): 14.312 um                      d(0.9): 58.434 um**



— LSA\_NY\_KNUST1 - Average, 18. november 2013 09:40:55

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	7.096	3.33	50.238	2.58	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	3.37	56.368	2.32	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	3.41	63.246	2.02	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.16	10.024	3.44	70.963	1.72	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.46	11.247	3.47	79.621	1.41	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.82	12.619	3.51	89.337	1.11	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.57	14.159	3.55	100.237	0.83	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	2.50	15.887	3.53	112.468	0.59	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	3.57	17.825	3.56	126.191	0.38	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	4.82	20.000	3.56	141.589	0.23	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	6.37	22.440	3.53	158.866	0.11	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	8.34	25.179	3.49	178.250	0.04	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	10.82	28.251	3.42	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	13.82	31.698	3.32	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	17.37	35.566	3.19	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	21.50	39.905	3.02	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	26.22	44.774	2.82	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	31.55	50.238	2.58	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



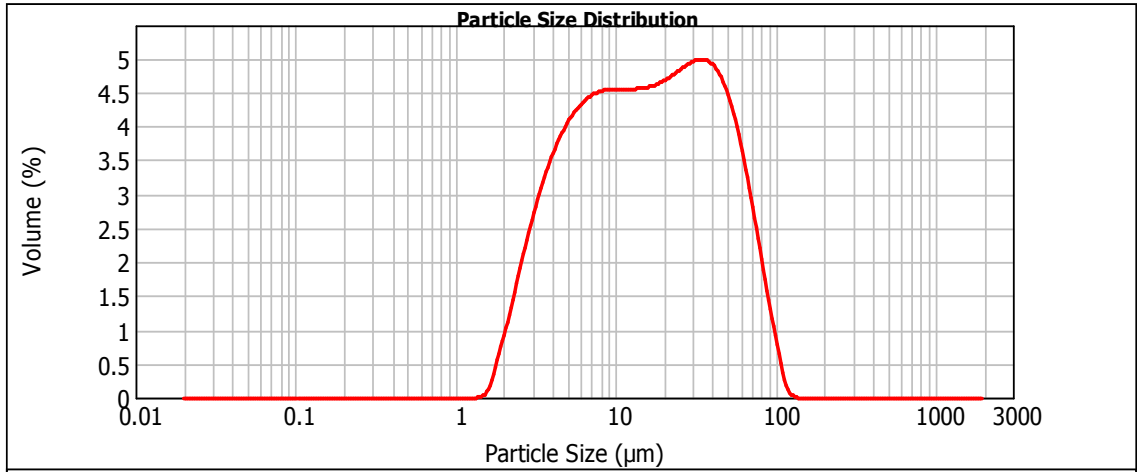
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_KNUST2	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:47:04
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:47:05
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 16.90 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 1.019 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0201 %Vol	<b>Span :</b> 3.389	<b>Uniformity:</b> 1.05	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.649 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 9.244 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 23.529 um	

**d(0.1): 3.744 um                      d(0.5): 15.435 um                      d(0.9): 56.054 um**



— LSA\_NY\_KNUST2, 18. november 2013 09:47:04

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	7.096	3.38	50.238	3.21	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	3.41	56.368	2.84	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	3.42	63.246	2.39	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	3.42	70.963	1.89	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.04	11.247	3.42	79.621	1.36	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.55	12.619	3.42	89.337	0.87	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.26	14.159	3.43	100.237	0.42	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.88	15.887	3.45	112.468	0.07	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.64	17.825	3.49	126.191	0.01	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.99	20.000	3.54	141.589	0.00	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.30	22.440	3.60	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	2.58	25.179	3.67	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.80	28.251	3.72	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	2.99	31.698	3.75	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	3.14	35.566	3.73	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	3.25	39.905	3.65	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	3.33	44.774	3.48	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	3.33	50.238	3.48	355.656	0.00		

Operator notes:







# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
LSA\_NY\_KNUST2 - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Flyveaskeaske våd

**Measured by:**  
f-user

**Result Source:**  
Averaged

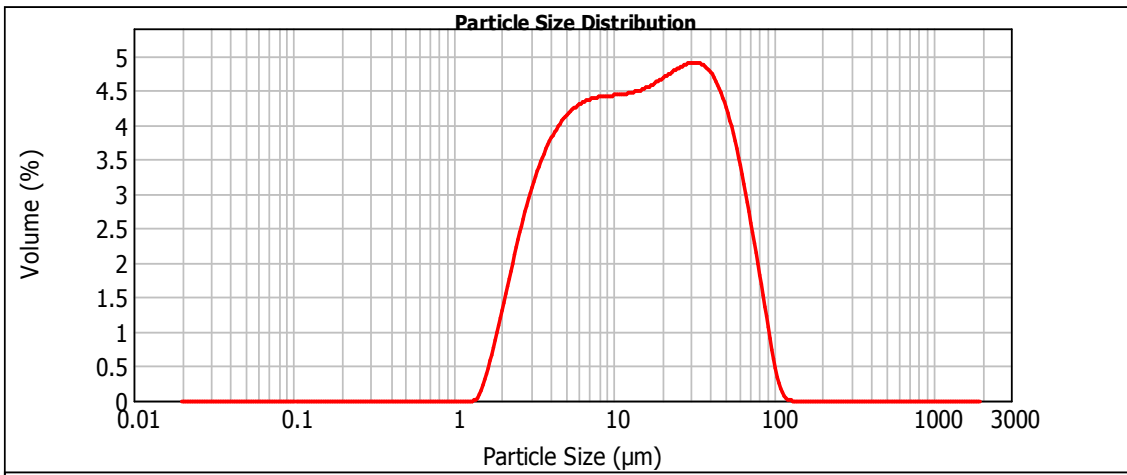
**Measured:**  
18. november 2013 09:47:04

**Analysed:**  
18. november 2013 09:47:05

<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> 17.05 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 1.818 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0184 %Vol	<b>Span :</b> 3.464	<b>Uniformity:</b> 1.07	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.704 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 8.521 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 22.275 um	

**d(0.1): 3.408 um                      d(0.5): 14.492 um                      d(0.9): 53.612 um**



— LSA\_NY\_KNUST2 - Average, 18. november 2013 09:47:04

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	7.096	3.30	50.238	3.04	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	3.31	56.368	2.67	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	3.32	63.246	2.22	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	3.33	70.963	1.72	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.15	11.247	3.34	79.621	1.21	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.45	12.619	3.36	89.337	0.66	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.81	14.159	3.39	100.237	0.20	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.20	15.887	3.43	112.468	0.03	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.59	17.825	3.48	126.191	0.00	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.27	20.000	3.54	141.589	0.00	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.54	22.440	3.60	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	2.76	25.179	3.65	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.92	28.251	3.68	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	3.06	31.698	3.68	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	3.15	35.566	3.63	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	3.22	39.905	3.52	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	3.27	44.774	3.32	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	3.27	50.238	3.32	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



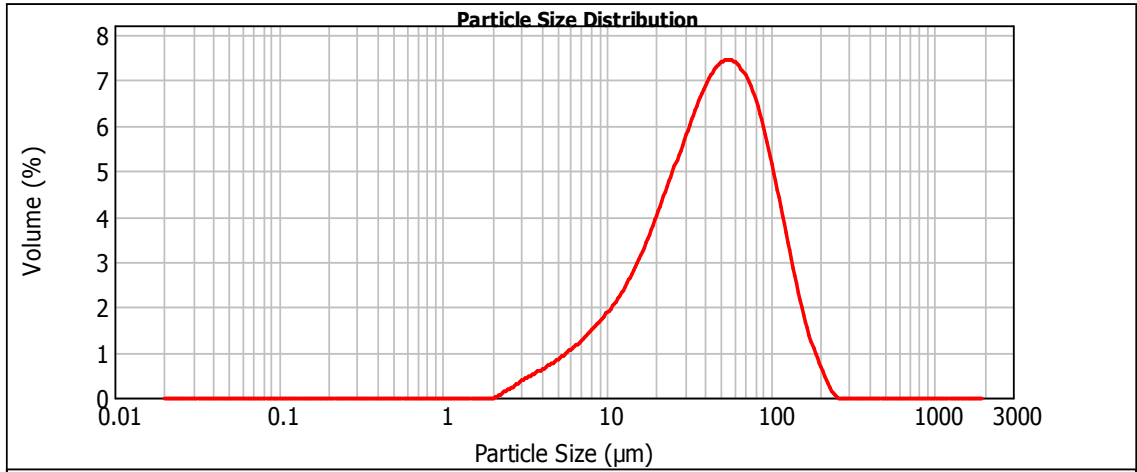
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_RAA1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:52:11
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:52:12
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 15.11 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.486 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0541 %Vol	<b>Span :</b> 2.232	<b>Uniformity:</b> 0.692	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.239 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 25.098 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 53.793 um	

**d(0.1): 11.450 um                      d(0.5): 44.101 um                      d(0.9): 109.864 um**



— LSA\_NY\_RAA1, 18. november 2013 09:52:11

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.02	50.238	5.61	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.16	56.368	5.59	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.31	63.246	5.45	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.49	70.963	5.17	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.69	79.621	4.77	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.92	89.337	4.25	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	2.18	100.237	3.65	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	2.47	112.468	2.99	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.10	17.825	2.80	126.191	2.33	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.17	20.000	3.15	141.589	1.70	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.27	22.440	3.53	158.866	1.15	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.34	25.179	3.92	178.250	0.69	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.42	28.251	4.31	200.000	0.37	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.50	31.698	4.68	224.404	0.07	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.59	35.566	5.02	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.68	39.905	5.30	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.79	44.774	5.50	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.90	50.238	5.50	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



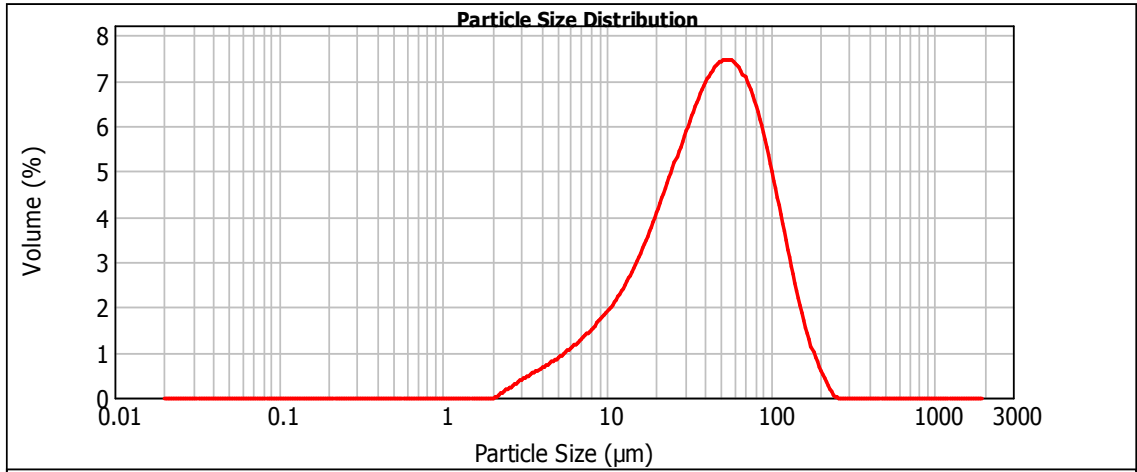
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_RAA1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:52:50
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:52:51
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 15.01 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.484 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0524 %Vol	<b>Span :</b> 2.234	<b>Uniformity:</b> 0.692	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.244 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 24.567 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 52.774 um	

**d(0.1): 11.192 um                      d(0.5): 43.241 um                      d(0.9): 107.798 um**



— LSA\_NY\_RAA1, 18. november 2013 09:52:50

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	7.096	1.04	50.238	5.62	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.18	56.368	5.58	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.33	63.246	5.41	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.51	70.963	5.11	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.72	79.621	4.68	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.95	89.337	4.14	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	2.22	100.237	2.87	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	2.52	112.468	3.53	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.12	17.825	2.85	126.191	4.68	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.19	20.000	3.21	141.589	6.32	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.29	22.440	3.59	158.866	8.93	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.36	25.179	3.98	178.250	12.61	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.45	28.251	4.37	200.000	17.82	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.53	31.698	4.75	224.404	24.40	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.62	35.566	5.08	251.785	31.69	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.71	39.905	5.35	282.508	44.77	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.81	44.774	5.53	316.979	50.23		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.92	50.238	5.53	355.656	50.23		

Operator notes:







# MASTERSIZER



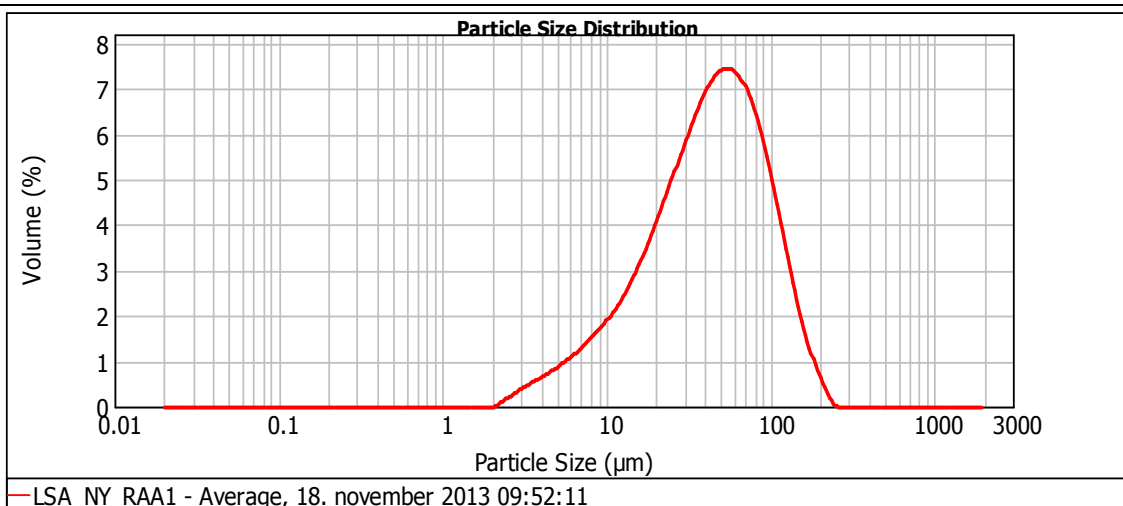
## Result Analysis Report

**Sample Name:** LSA\_NY\_RAA1 - Average  
**Sample Source & type:** Paris  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**SOP Name:** Flyveaskeaske våd  
**Measured by:** f-user  
**Result Source:** Averaged  
**Measured:** 18. november 2013 09:52:11  
**Analysed:** 18. november 2013 09:52:12

**Particle Name:** aske  
**Particle RI:** 1.500  
**Dispersant Name:** Water  
**Accessory Name:** Hydro 2000SM (A)  
**Absorption:** 0  
**Dispersant RI:** 1.330  
**Analysis model:** General purpose  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Weighted Residual:** 0.483 %  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Obscuration:** 15.02 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0525 %Vol  
**Specific Surface Area:** 0.244 m<sup>2</sup>/g  
**Span :** 2.238  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 24.587 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 52.848 um  
**Uniformity:** 0.693  
**Result units:** Volume

**d(0.1): 11.194 um      d(0.5): 43.255 um      d(0.9): 108.015 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	7.096	1.04	50.238	5.60	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.18	56.368	5.57	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.34	63.246	5.40	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.52	70.963	5.10	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.72	79.621	4.68	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.96	89.337	4.14	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	2.22	100.237	3.53	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	2.52	112.468	2.87	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.11	17.825	2.85	126.191	2.22	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.19	20.000	3.21	141.589	1.61	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.28	22.440	3.59	158.866	1.08	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.36	25.179	3.98	178.250	0.64	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.44	28.251	4.37	200.000	0.34	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.53	31.698	4.74	224.404	0.07	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.62	35.566	5.07	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.71	39.905	5.34	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.81	44.774	5.52	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.92	50.238		355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



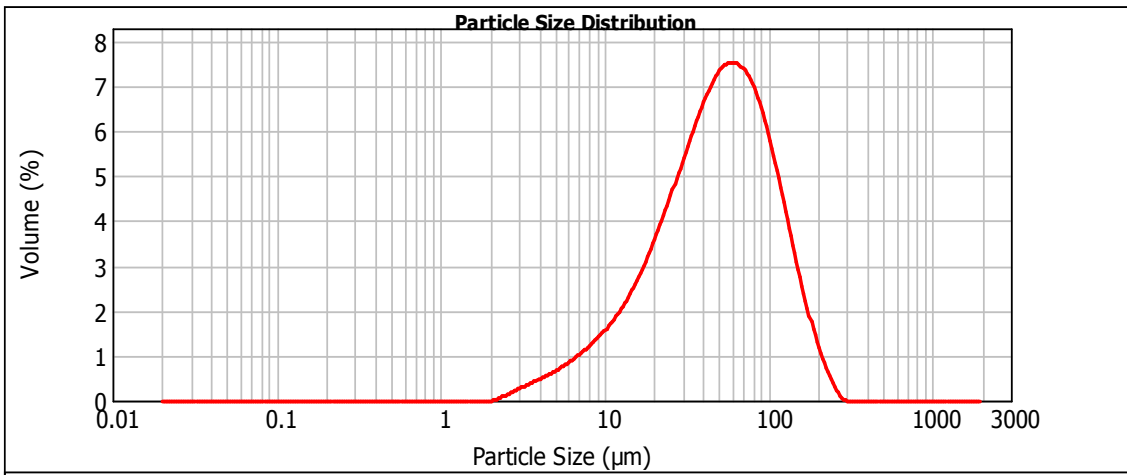
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_RAA2	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:57:29
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:57:30
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 17.54 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.447 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0723 %Vol	<b>Span :</b> 2.227	<b>Uniformity:</b> 0.688	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.212 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 28.296 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 60.276 um	

**d(0.1): 13.244 um                      d(0.5): 49.223 um                      d(0.9): 122.877 um**



— LSA\_NY\_RAA2, 18. november 2013 09:57:29

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.84	50.238	5.59	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.96	56.368	5.66	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.10	63.246	5.61	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.26	70.963	5.61	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.44	79.621	5.43	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.65	89.337	4.68	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	1.85	100.237	4.16	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	2.17	112.468	3.55	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.07	17.825	2.49	126.191	2.92	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.12	20.000	2.83	141.589	2.28	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.20	22.440	3.21	158.866	1.68	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.26	25.179	3.61	178.250	1.15	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.32	28.251	4.02	200.000	0.71	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.39	31.698	4.42	224.404	0.38	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.46	35.566	4.80	251.785	0.12	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.54	39.905	5.14	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.63	44.774	5.41	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.73	50.238	5.41	355.656	0.00		

Operator notes:





# MASTERSIZER



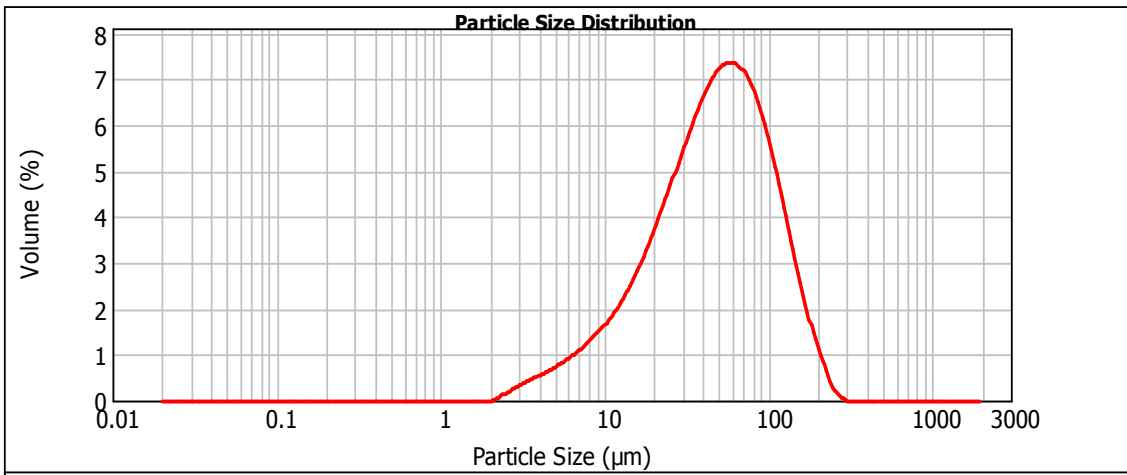
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> LSA_NY_RAA2	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske våd	<b>Measured:</b> 18. november 2013 09:58:47
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 18. november 2013 09:58:48
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<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> 17.51 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.459 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0683 %Vol	<b>Span :</b> 2.271	<b>Uniformity:</b> 0.703	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.223 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 26.916 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 58.540 um	

**d(0.1): 12.496 um                      d(0.5): 47.466 um                      d(0.9): 120.310 um**



— LSA\_NY\_RAA2, 18. november 2013 09:58:47

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	7.096	0.89	50.238	5.51	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.02	56.368	5.55	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.16	63.246	5.47	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.33	70.963	5.27	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.52	79.621	4.95	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.74	89.337	4.52	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	2.00	100.237	4.00	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	2.28	112.468	3.40	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.10	17.825	2.61	126.191	2.78	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.16	20.000	2.95	141.589	2.16	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.24	22.440	3.33	158.866	1.59	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.30	25.179	3.71	178.250	1.07	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.38	28.251	4.10	200.000	0.67	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.45	31.698	4.48	224.404	0.28	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.52	35.566	4.83	251.785	0.11	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.60	39.905	5.13	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.69	44.774	5.36	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.78	50.238	5.36	355.656	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
LSA\_NY\_RAA2 - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Flyveaskeaske våd

**Measured by:**  
f-user

**Result Source:**  
Averaged

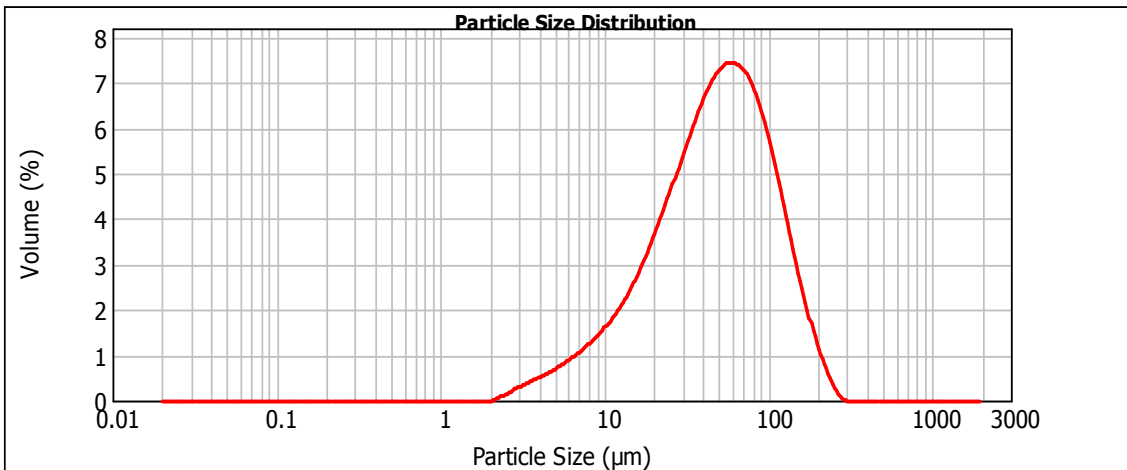
**Measured:**  
18. november 2013 09:57:29

**Analysed:**  
18. november 2013 09:57:30

<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> 17.53 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.453 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0702 %Vol	<b>Span :</b> 2.249	<b>Uniformity:</b> 0.696	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.218 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 27.544 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 59.334 um	

**d(0.1): 12.848 um                      d(0.5): 48.275 um                      d(0.9): 121.421 um**



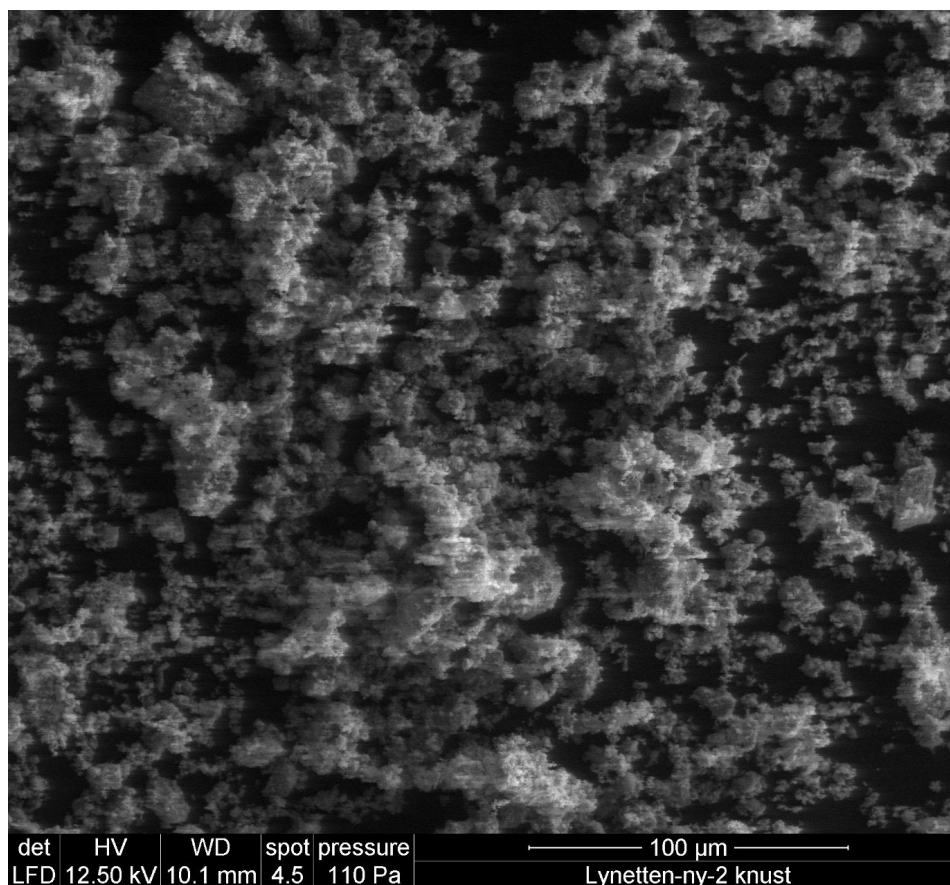
— LSA\_NY\_RAA2 - Average, 18. november 2013 09:57:29

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.86	50.238	5.55	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.99	56.368	5.61	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.13	63.246	5.54	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.29	70.963	5.35	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.48	79.621	5.03	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.70	89.337	4.59	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	1.95	100.237	4.06	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.01	15.887	2.23	112.468	3.46	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.08	17.825	2.55	126.191	2.84	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.14	20.000	2.89	141.589	2.21	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.22	22.440	3.27	158.866	1.63	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.28	25.179	3.66	178.250	1.11	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.35	28.251	4.07	200.000	0.68	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.42	31.698	4.46	224.404	0.35	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.49	35.566	4.82	251.785	0.10	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.57	39.905	5.14	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.66	44.774	5.39	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.76	50.238		355.656	0.00		

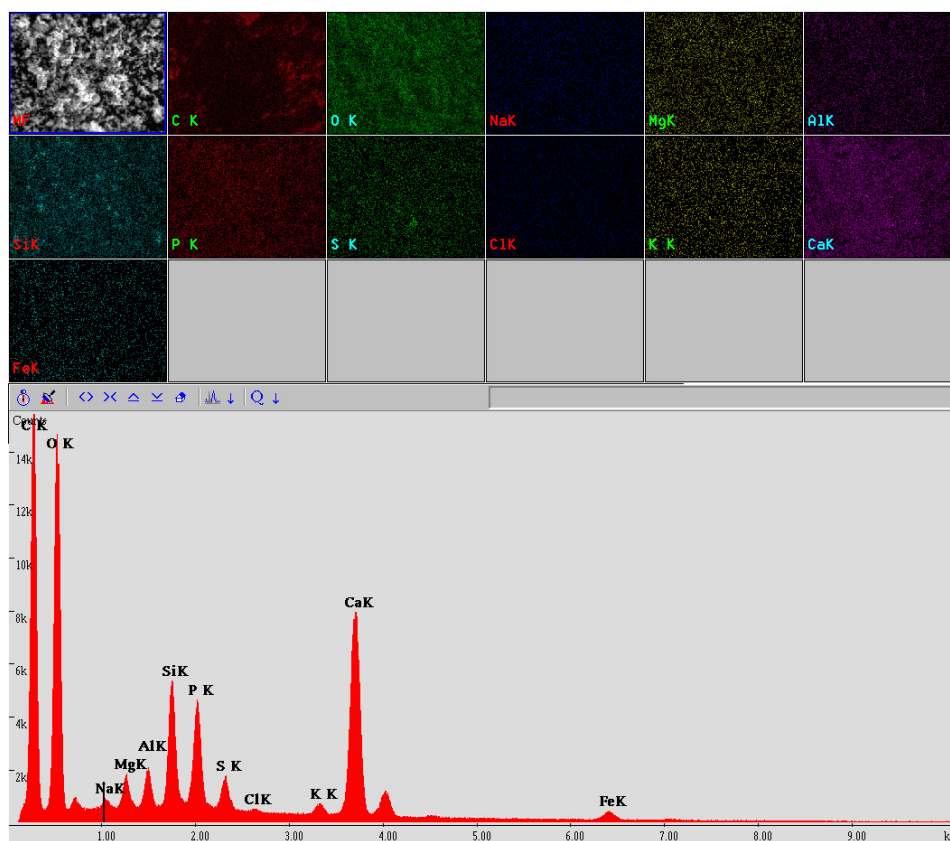
Operator notes:

## **C.6 Billeder fra Scanning Electron Microscope**



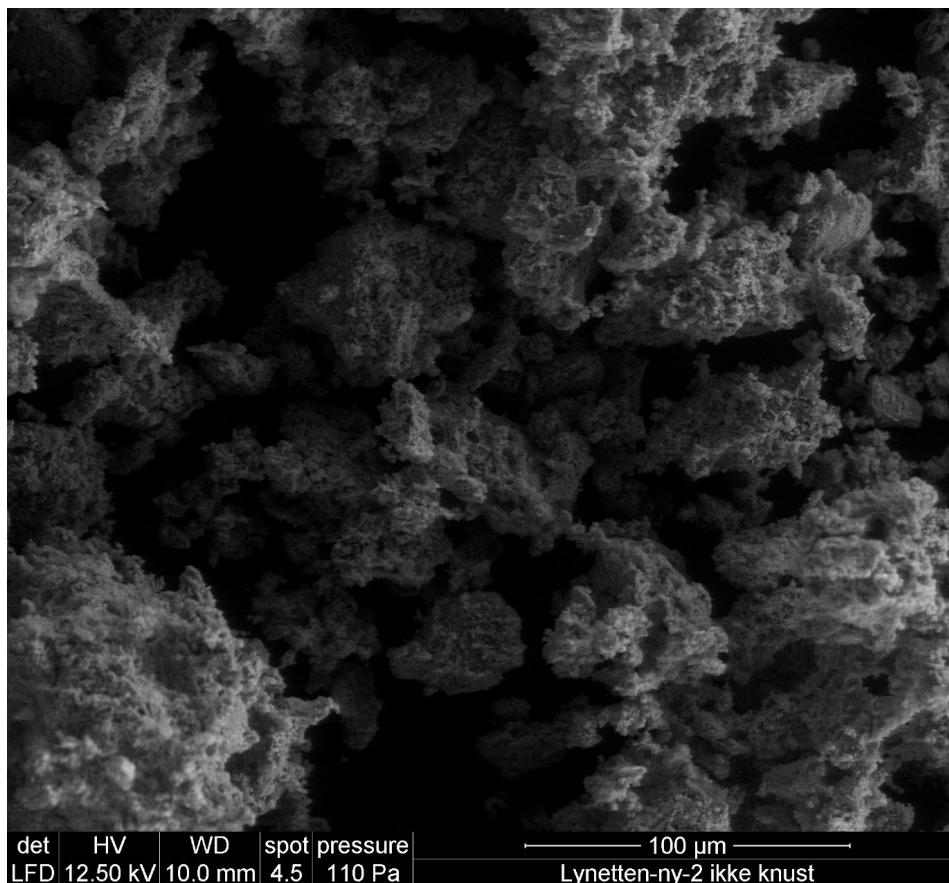


Figur C.1: SEM billede af den knuste aske fra Lynetten Ny-1

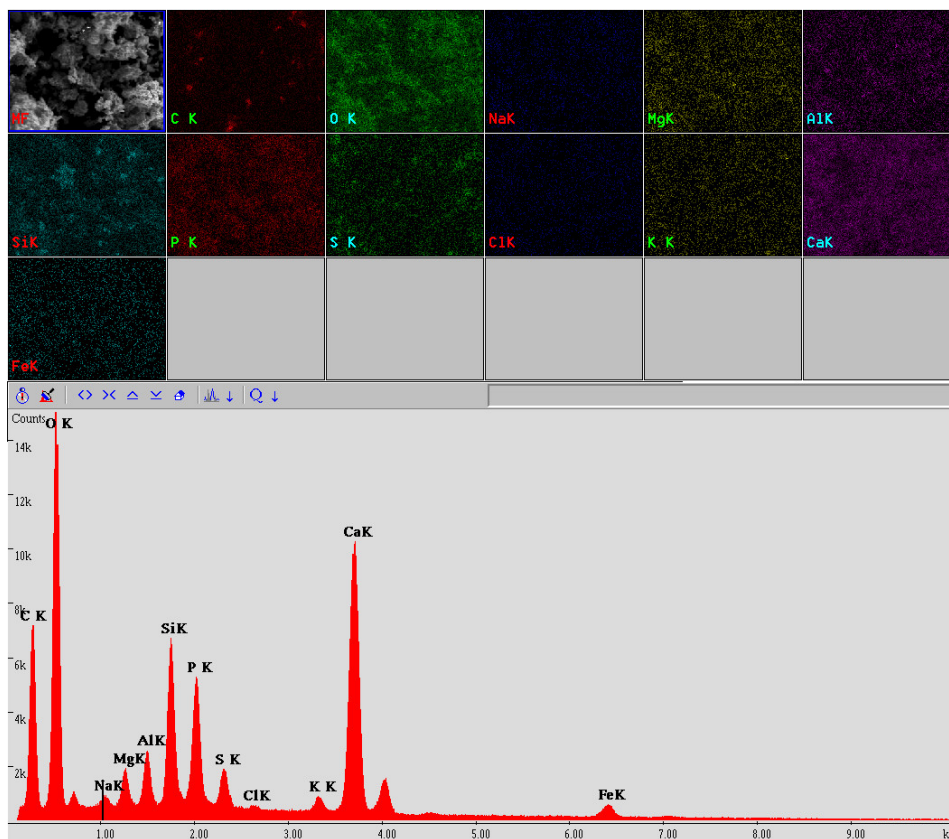


Figur C.2: SEM mapping af den knuste aske fra Lynetten Ny-1





Figur C.3: SEM billede af den ikke-knuste aske fra Lynetten Ny-1



Figur C.4: SEM mapping af den ikke-knuste aske fra Lynetten Ny-1

## Bilag D

# Diffusionsforsøg

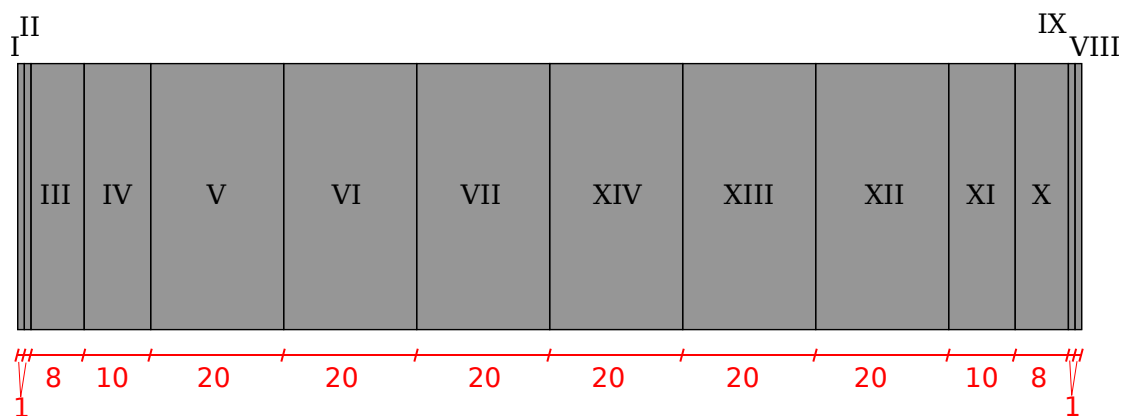
I dette bilag gennemgås de opsamlede data og databehandlingen for diffusionsforsøgene. Fremgangsmåden for forsøgene er beskrevet i rapportens afsnit 3.6. Desuden er inkluderet grafer for kloridindtrængningen til tre tidspunkter ordnet efter prøvetype.

### D.1 Data for diffusionsforsøg

Tabel D.1: Oversigt

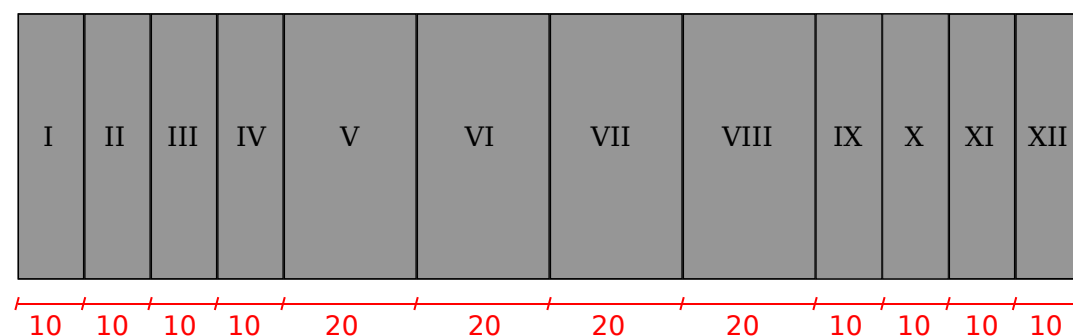
Prøver	Dage i saltvand	Knusnings metoder
1A, 4A og 7A	28 dage	Hammer
1B, 4B og 7B	53 dage	Hammer
1C, 4C og 7C	84 dage	Ringknuser

På figur D.1 fremgår prøvernes opdeling ved første måling efter 28 dage.



Figur D.1: Oversigt over navngivning og størrelse af skiver ved 28 dages målingen.

På grund af stor usikkerhed på de yderste målinger (I, II, VIII og IX) blev opdelingen ændret ved de følgende forsøg således at de fulgte opdelingen vist på figur D.2



Figur D.2: Oversigt over navngivning og størrelse af skiver ved 53 og 84 dages målingen.



(a) Mørtelprøver efter knusning med hammer (b) Mørtelprøve efter knusning i ringknuser

Figur D.3: Mørtelprøverne efter findeling

Prøvernes blev vejet før og efter tørring, dermed kan vandindholdet,  $w$ , i % beregnes efter formel D.1

$$w = \frac{m_{\text{prøve}} - m_{\text{prøve efter tørring}}}{m_{\text{prøve}}} \quad (\text{D.1})$$

Klorid koncentrationen,  $c$ , i % blev ved data fra titrering udregnet efter formel D.2.

$$c_{\text{Cl-}\%} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \cdot c_{\text{AgNO}_3} \cdot M_{\text{Cl}}}{m_{\text{prøve}}} \cdot 100 \% \quad (\text{D.2})$$

hvor

- $V_{\text{AgNO}_3}$  Den mængde sølvnitrat der er anvendt til titreringen
- $c_{\text{AgNO}_3}$  Den beregnede koncentration af sølvnitrat efter formel D.3
- $M_{\text{Cl}}$  Den molære masse af klorid ( $35,34 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ )
- $m_{\text{prøve}}$  massen af prøven.

Koncentrationen af sølvnitrat beregnes efter kalibrering af titreringsapparatet efter følgende formel.

$$c_{\text{AgNO}_3} = \frac{V_{\text{NaCl}} \cdot 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{V_{\text{AgNO}_3}} \quad (\text{D.3})$$

Hvor

- $V_{\text{NaCl}}$  er den mængde natriumklorid der bruges til kalibreringen
- $V_{\text{AgNO}_3}$  er den mængde sølvnitrat som titreringsapparatet tilfører uden kalibreringen

## Diffusion

Mørtelprøve	"Klorid prøve"	Type	Afstand fra prøveende start	Afstand fra prøveende slut	Vandindhold	Dato sat i ovn	Vægt af petri	Vægt af petri + prøve	Dato taget ud af ovn	Vægt af petri + prøve efter tørring	Vandindhold i %	Titring	Dato for titring	mol/L AgNO3	g (prøve)	mL (AgNO3)	% Cl
Ebba 1A	I	5%S	0,00	0,01		21-10-2013	46,87	46,93	22-10-2013	46,93	<b>0,00</b>	Titring	24-10-2013	9,94E-02	0,05	0,18	<b>1,29</b>
	II		0,01	0,02			46,35	54,13		53,68	<b>5,78</b>			9,94E-02	5,00	5,50	<b>0,39</b>
	III		0,02	1,00			55,75	75,89		74,40	<b>7,40</b>			9,94E-02	5,00	2,86	<b>0,20</b>
	IV		1,00	2,00			41,45	61,25		59,88	<b>6,92</b>			9,94E-02	5,00	0,57	<b>0,04</b>
	V		2,00	4,00			43,38	56,33		55,38	<b>7,34</b>			9,94E-02	5,00	0,41	<b>0,03</b>
	VI		4,00	6,00			47,40	65,90		64,58	<b>7,14</b>			9,94E-02	5,00	0,46	<b>0,03</b>
	VII		6,00	8,00			43,60	55,83		54,93	<b>7,36</b>			9,94E-02	5,00	0,43	<b>0,03</b>
	VIII		0,00	0,01			55,03	55,09		55,08	<b>16,67</b>			9,94E-02	—	—	—
	IX		0,01	0,02			42,91	49,01		48,68	<b>5,41</b>			9,94E-02	5,00	5,86	<b>0,41</b>
	X		0,02	1,00			44,75	54,26		53,61	<b>6,83</b>			9,94E-02	5,00	3,88	<b>0,27</b>
	XI		1,00	2,00			46,83	64,67		63,46	<b>6,78</b>			9,94E-02	5,00	1,03	<b>0,07</b>
	XII		2,00	4,00			40,57	53,94		52,93	<b>7,55</b>			9,94E-02	5,00	0,41	<b>0,03</b>
	XIII		4,00	6,00			48,05	67,87		66,42	<b>7,32</b>			9,94E-02	5,00	0,42	<b>0,03</b>
	XIV		6,00	8,00			46,69	65,38		64,01	<b>7,33</b>			9,94E-02	5,00	0,40	<b>0,03</b>
Ebba 7A	I	REF	0,00	0,01		21-10-2013	47,43	47,54	22-10-2013	47,52	<b>18,18</b>	Titring	25-10-2013	9,95E-02	0,05	0,08	<b>0,54</b>
	II		0,01	0,02			44,12	56,02		55,38	<b>5,38</b>			9,95E-02	5,00	5,21	<b>0,37</b>
	III		0,02	1,00			47,11	58,09		57,39	<b>6,38</b>			9,95E-02	5,00	2,56	<b>0,18</b>
	IV		1,00	2,00			46,37	54,52		54,12	<b>4,91</b>			9,95E-02	5,00	0,58	<b>0,04</b>
	V		2,00	4,00			41,41	58,13		57,05	<b>6,46</b>			9,95E-02	5,00	0,38	<b>0,03</b>
	VI		4,00	6,00			45,60	61,26		60,22	<b>6,64</b>			9,95E-02	5,00	0,36	<b>0,03</b>
	VII		6,00	8,00			23,10	36,56		35,68	<b>6,54</b>			9,95E-02	5,00	0,34	<b>0,02</b>
	VIII		0,00	0,01			22,75	22,88		22,87	<b>7,69</b>			9,95E-02	0,06	0,07	<b>0,42</b>
	IX		0,01	0,02			46,79	55,00		54,62	<b>4,63</b>			9,95E-02	5,00	5,08	<b>0,36</b>
	X		0,02	1,00			41,70	51,12		50,55	<b>6,05</b>			9,95E-02	5,00	2,84	<b>0,20</b>
	XI		1,00	2,00			44,32	56,94		56,18	<b>6,02</b>			9,95E-02	5,00	0,63	<b>0,04</b>
	XII		2,00	4,00			44,91	66,13		64,75	<b>6,50</b>			9,95E-02	5,00	0,33	<b>0,02</b>
	XIII		4,00	6,00			45,69	56,38		55,72	<b>6,17</b>			9,95E-02	5,00	0,32	<b>0,02</b>
	XIV		6,00	8,00			45,62	63,91		62,76	<b>6,29</b>			9,95E-02	5,00	0,34	<b>0,02</b>
Ebba 4A	I	10%C	0,00	0,01		21-10-2013	48,34	48,43	22-10-2013	48,42	<b>11,11</b>	Titring	24-10-2013	9,94E-02	—	—	—
	II		0,01	0,02			50,23	62,65		61,95	<b>5,64</b>			9,94E-02	5,00	5,00	<b>0,35</b>
	III		0,02	1,00			43,44	51,26		50,78	<b>6,14</b>			9,94E-02	5,00	2,89	<b>0,20</b>
	IV		1,00	2,00			23,25	43,54		42,12	<b>7,00</b>			9,94E-02	5,00	0,71	<b>0,05</b>
	V		2,00	4,00			42,71	56,14		55,17	<b>7,22</b>			9,94E-02	5,00	0,40	<b>0,03</b>
	VI		4,00	6,00			48,51	58,35		57,67	<b>6,91</b>			9,94E-02	5,00	0,38	<b>0,03</b>
	VII		6,00	8,00			45,53	57,82		56,98	<b>6,83</b>			9,94E-02	5,00	0,37	<b>0,03</b>
	VIII		0,00	0,01			21,21	21,28		21,29	<b>-14,29</b>			9,94E-02	—	—	—
	IX		0,01	0,02			21,95	29,27		28,93	<b>4,64</b>			9,94E-02	5,00	5,11	<b>0,36</b>
	X		0,02	1,00			23,21	35,81		34,99	<b>6,51</b>			9,94E-02	5,00	3,08	<b>0,22</b>
	XI		1,00	2,00			43,32	62,05		60,73	<b>7,05</b>			9,94E-02	5,00	0,59	<b>0,04</b>
	XII		2,00	4,00			27,98	43,94		42,78	<b>7,27</b>			9,94E-02	5,00	0,40	<b>0,03</b>
	XIII		4,00	6,00			23,79	41,85		40,53	<b>7,31</b>			9,94E-02	5,00	0,40	<b>0,03</b>
	XIV		6,00	8,00			28,29	44,87		43,67	<b>7,24</b>			9,94E-02	—	—	—
I	0,00	1,00		—	—	—	—	—	—	—	—	9,83E-02	5,00	4,89	<b>0,34</b>		
II	1,00	2,00		—	—	—	—	—	—	—	—	9,83E-02	5,00	1,22	<b>0,09</b>		

## Diffusion

Mørtelprøve	"Klorid prøve"	Type	Afstand fra prøveende start	Afstand fra prøveende slut	Vandindhold	Dato sat i ovn	Vægt af petri	Vægt af petri + prøve	Dato taget ud af ovn	Vægt af petri + prøve efter tørring	Vandindhold i %	Titring	Dato for titring	mol/L AgNO3	g (prøve)	mL (AgNO3)	% Cl				
Ebba 1B	III	5%S	2,00	3,00		15-11-2013	-	-		-	-		19-11-2013	9,83E-02	5,00	0,62	<b>0,04</b>				
	IV		3,00	4,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,53	<b>0,04</b>				
	V		4,00	6,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,49	<b>0,03</b>				
	VI		6,00	8,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,55	<b>0,04</b>				
	VII		6,00	8,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,50	<b>0,03</b>				
	VIII		4,00	6,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,54	<b>0,04</b>				
	IX		3,00	4,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,69	<b>0,05</b>				
	X		2,00	3,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,57	<b>0,04</b>				
	XI		1,00	2,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	1,30	<b>0,09</b>				
	XII		0,00	1,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	5,24	<b>0,37</b>				
	Ebba 7B		I	REF	0,00		1,00		15-11-2013	-	-			-	-		18-11-2013	1,02E-01	5,00	5,19	<b>0,38</b>
			II		1,00		2,00			-	-			-	-			1,02E-01	5,00	1,47	<b>0,11</b>
III		2,00	3,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,43	<b>0,03</b>					
IV		3,00	4,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,42	<b>0,03</b>					
V		4,00	6,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,46	<b>0,03</b>					
VI		6,00	8,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,44	<b>0,03</b>					
VII		6,00	8,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,53	<b>0,04</b>					
VIII		4,00	6,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,45	<b>0,03</b>					
IX		3,00	4,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,42	<b>0,03</b>					
X		2,00	3,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,39	<b>0,03</b>					
XI		1,00	2,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	0,57	<b>0,04</b>					
XII		0,00	1,00			-	-			-	-		1,02E-01	5,00	4,31	<b>0,31</b>					
Ebba 4B	I	10%C	0,00	1,00		15-11-2013	-	-		-	-		19-11-2013	9,83E-02	5,00	5,35	<b>0,37</b>				
	II		1,00	2,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	1,80	<b>0,13</b>				
	III		2,00	3,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,51	<b>0,04</b>				
	IV		3,00	4,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	1,08	<b>0,08</b>				
	V		4,00	6,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,75	<b>0,05</b>				
	VI		6,00	8,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,64	<b>0,04</b>				
	VII		6,00	8,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,74	<b>0,05</b>				
	VIII		4,00	6,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,69	<b>0,05</b>				
	IX		3,00	4,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,57	<b>0,04</b>				
	X		2,00	3,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,45	<b>0,03</b>				
	XI		1,00	2,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	0,71	<b>0,05</b>				
	XII		0,00	1,00			-	-		-	-			9,83E-02	5,00	3,93	<b>0,27</b>				
Ebba 1C	I	5%S	0,00	1,00		10-12-2013	-	-		-	-		10-12-2013	1,00E-01	5,00	4,41	<b>0,31</b>				
	II		1,00	2,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	1,69	<b>0,12</b>				
	III		2,00	3,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,40	<b>0,03</b>				
	IV		3,00	4,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,55	<b>0,04</b>				
	V		4,00	6,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,40	<b>0,03</b>				
	VI		6,00	8,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,35	<b>0,02</b>				
	VII		6,00	8,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,45	<b>0,03</b>				
	VIII		4,00	6,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,45	<b>0,03</b>				
	IX		3,00	4,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,39	<b>0,03</b>				
	X		2,00	3,00			-	-		-	-			1,00E-01	5,00	0,59	<b>0,04</b>				

## Diffusion

Mørtelprøve	"Klorid prøve"	Type	Afstand fra prøveende start	Afstand fra prøveende slut	Vandindhold	Dato sat i ovn	Vægt af petri	Vægt af petri + prøve	Dato taget ud af ovn	Vægt af petri + prøve efter tørring	Vandindhold i %	Titring	Dato for titrering	mol/L AgNO3	g (prøve)	mL (AgNO3)	% Cl
	XI		1,00	2,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	4,77	<b>0,12</b>
	XII		0,00	1,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	1,68	<b>0,34</b>
Ebba 7C	I	REF	0,00	1,00		10-12-2013	—	—		—	—		10-12-2013	1,00E-01	5,00	4,74	<b>0,34</b>
	II		1,00	2,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	1,83	<b>0,13</b>
	III		2,00	3,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,59	<b>0,04</b>
	IV		3,00	4,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,45	<b>0,03</b>
	V		4,00	6,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,39	<b>0,03</b>
	VI		6,00	8,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,40	<b>0,03</b>
	VII		6,00	8,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,31	<b>0,02</b>
	VIII		4,00	6,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,33	<b>0,02</b>
	IX		3,00	4,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,33	<b>0,02</b>
	X		2,00	3,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,42	<b>0,03</b>
	XI		1,00	2,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	1,38	<b>0,10</b>
	XII		0,00	1,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	4,64	<b>0,33</b>
Ebba 4C	I	10%C	0,00	1,00		10-12-2013	—	—		—	—		10-12-2013	1,00E-01	5,00	3,83	<b>0,27</b>
	II		1,00	2,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	1,66	<b>0,12</b>
	III		2,00	3,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,53	<b>0,04</b>
	IV		3,00	4,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,66	<b>0,05</b>
	V		4,00	6,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,46	<b>0,03</b>
	VI		6,00	8,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,40	<b>0,03</b>
	VII		6,00	8,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,43	<b>0,03</b>
	VIII		4,00	6,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,44	<b>0,03</b>
	IX		3,00	4,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,50	<b>0,04</b>
	X		2,00	3,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	0,59	<b>0,04</b>
	XI		1,00	2,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	1,83	<b>0,13</b>
	XII		0,00	1,00			—	—		—	—			1,00E-01	5,00	4,17	<b>0,30</b>

**Noter**

Vandindhold blev kun målt på første sæt prøver, da prøverne efter 28 dage i saltvand havde samme vandindhold hele vejen igennem

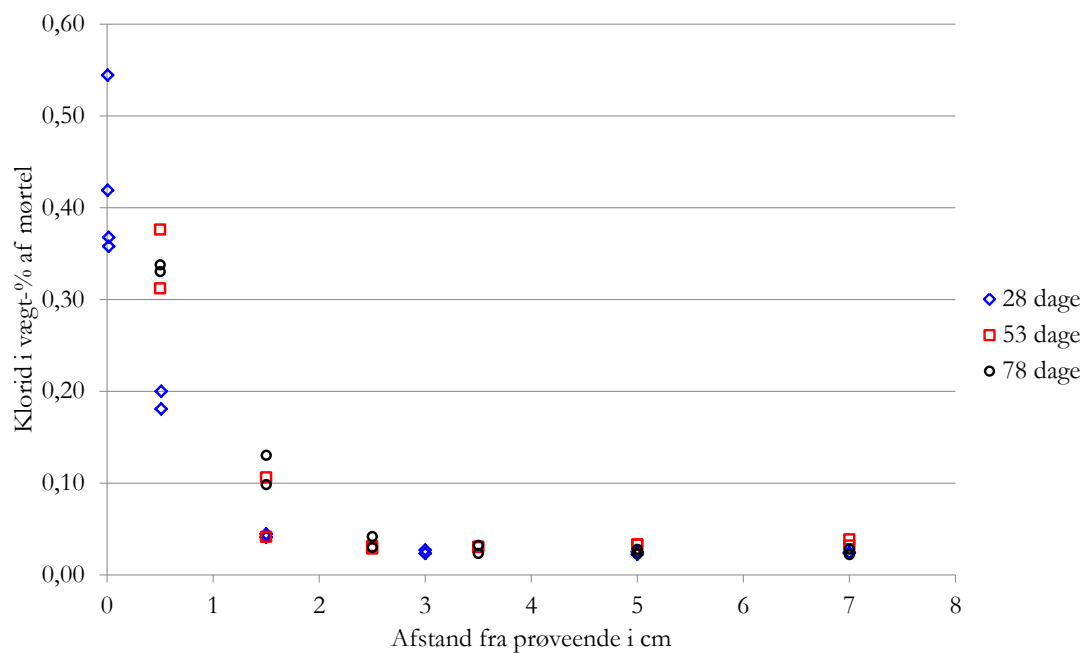
Resultater for prøve 1AVII, 4AI og 4AVIII blev ikke medtaget, da prøvematerialet var for småt

Resultatet for 4AXIV er ikke medtaget, da magneten i titreringsmaskinen ikke kørte rundt.



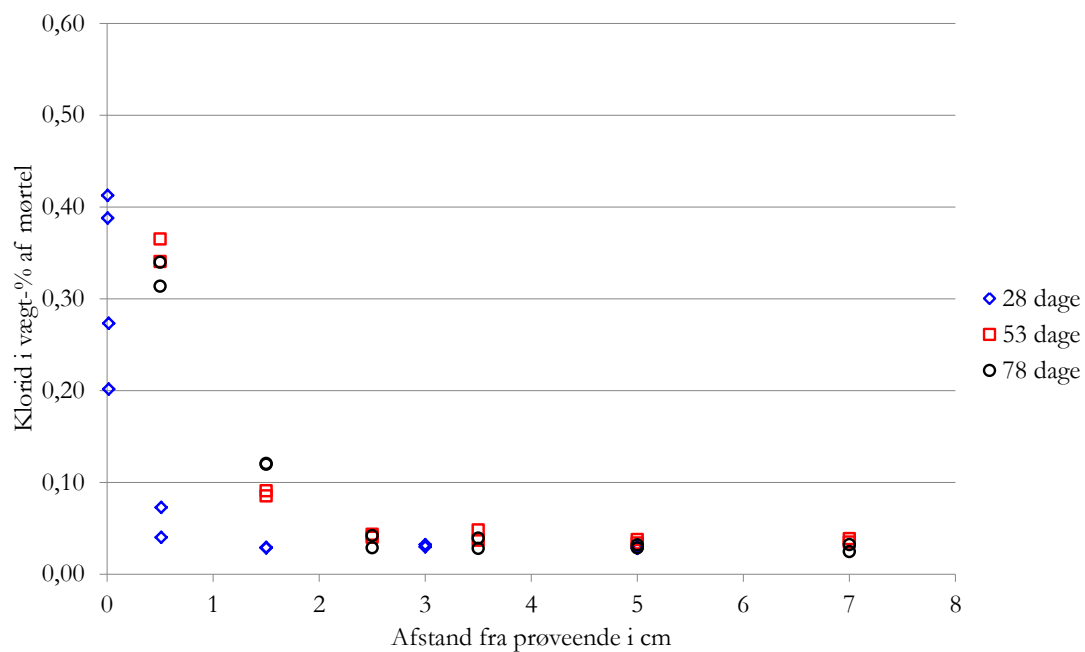
## D.2 Kloridindtrængning over tid

Herunder er inkluderet 3 grafer der viser kloridindtrængningen for hhv. reference, 5 % sand og 10 % cement. Graferne viser kloridindholdet ind igennem prøverne til de tre tider: 28, 53 og 78 dage.

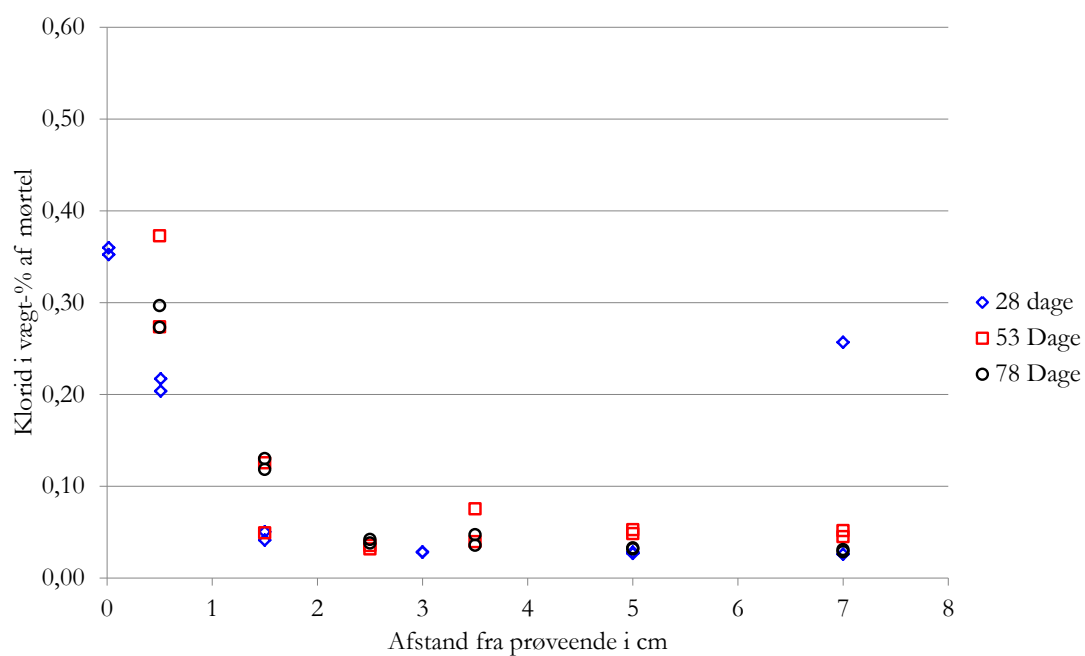


Figur D.4: Kloridindtrængning i referenceprøverne efter 28, 53 og 78 dage





Figur D.5: Kloridindtrængning i sandprøverne efter 28, 53 og 78 dage



Figur D.6: Kloridindtrængning i cementprøverne efter 28, 53 og 78 dage

## Bilag E

# Data fra Kapilarsugning forsøgene

Kapilarsugning bliver udregnet i kilogram per kvadratmeter sugefladen.

Kapillarsugningsforsøg

Dato

02-12-2013

			Areal	t0	m0	m1	m2	m4	m8	m16	m32	m60	m120	m255
			mm <sup>2</sup>		g	g	g		g	g	g	g	g	g
10A	REF		6400	10:19	548,73	550,09	550,58	551,31	552,19	553,88	556,42	559,61	564,05	570,07
10B	REF		6400	10:19	547,01	548,42	548,99	549,78	550,65	552,29	554,84	558,07	562,56	568,79
10C	REF		6400	10:19	544,95	546,28	546,81	547,5	548,3	549,93	552,41	555,54	559,91	565,99
11B	5%S		6400	10:19	545,67	547,32	547,76	548,46	549,43	551,4	554,13	557,47	561,82	567,93
11A	5%S		6400	10:28	550,06	551,34	551,9	552,65	553,67	555,19	557,44	560,33	564,31	569,67
11C	5%S		6400	10:28	547,69	549,1	549,74	550,55	551,65	553,29	555,58	558,47	562,45	567,81
12A	10%C		6400	10:28	542,86	544,21	544,88	545,67	546,84	548,8	551,27	554,39	558,58	564,38
12B	10%C		6400	10:28	537,00	538,58	539,24	540,12	541,4	543,33	546,2	549,63	554,3	560,64
12C	10%C		6400	10:28	540,33	542,89	542,49	543,24	544,51	546,41	549,08	552,41	556,81	562,92
10A	REF	Ændring			0,0	1,4	1,9	2,6	3,5	5,1	7,7	10,9	15,3	21,3
10B	REF	Ændring			0,0	1,4	2,0	2,8	3,6	5,3	7,8	11,1	15,6	21,8
10C	REF	Ændring			0,0	1,3	1,9	2,5	3,3	5,0	7,5	10,6	15,0	21,0
11B	5%S	Ændring			0,0	1,7	2,1	2,8	3,8	5,7	8,5	11,8	16,2	22,3
11A	5%S	Ændring			0,0	1,3	1,8	2,6	3,6	5,1	7,4	10,3	14,3	19,6
11C	5%S	Ændring			0,0	1,4	2,0	2,9	4,0	5,6	7,9	10,8	14,8	20,1
12A	10%C	Ændring			0,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,9	8,4	11,5	15,7	21,5
12B	10%C	Ændring			0,0	1,6	2,2	3,1	4,4	6,3	9,2	12,6	17,3	23,6
12C	10%C	Ændring			0,0	2,6	2,2	2,9	4,2	6,1	8,8	12,1	16,5	22,6
10A	REF	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,7	2,4	3,3
10B	REF	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,2	1,7	2,4	3,4
10C	REF	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,7	2,3	3,3
11B	5%S	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,3	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5
11A	5%S	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	2,2	3,1
11C	5%S	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,2	1,7	2,3	3,1
12A	10%C	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,8	2,5	3,4
12B	10%C	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,7	3,7
12C	10%C	kg/m <sup>2</sup>			0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,7	3,7
10	REF	AVG			0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,7	2,4	3,3
11	5%S	AVG			0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9	1,2	1,7	2,4	3,2
12	10%C	AVG			0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6
10	REF	STDEV.S			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
11	5%S	STDEV.S			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
12	10%C	STDEV.S			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
x-værdier					0	1	1	2	3	4	6	8	11	16

## Bilag F

# Data fra potentialemålinger

Potentialemålingerne blev foretaget ved brug af en mættet kalomel elektrode (SCE). Denne værdi omregnes til potentiale i forhold til en standard brint elektrode (SHE). Det vil sige der skal numerisk lægges 242 mV til de målte værdier.



Figur F.1: Armeringsstålet før det blev støbt ind i mørtlen. Kan bruges som reference til de visuelle undersøgelser.

## Data fra potentielle måling

Dato		24-10-2013	31-10-2013	14-11-2013	28-11-2013	11-12-2013	
Tidspunkt		15:53	10:00	13:30	14:00	08:30	
Dage fra forsøgsstart		0	7	21	35	48	
SCE (målt)	A2	A	389	514	436	466	579
		B	356	441	410	490	588
		C	431	535	496	600	590
	h	A	256	281	464	570	564
		B	191	240	544	422	583
		C	286	307	502	565	533
SHE	A2	A	631	756	678	708	821
		B	598	683	652	732	830
		C	673	777	738	842	832
		Gennemsnit	634	739	689	761	828
		Spredning	38	49	44	71	6
	A4	A	498	523	706	812	806
		B	433	482	786	664	825
		C	528	549	744	807	775
		Gennemsnit	487	518	745	761	802
		Spredning	48	34	40	84	25

## Bilag G

# Data fra Densitet og Porøsitet målingerne

Prøverne blev vejret over og under vand. Dermed kan deres volume bestemmes som volumenet af den fortrængte væske.

$$V = \frac{m_{\text{fortrængt væske}} [\text{g}] \cdot 10^{-3} [\text{kg/g}]}{998 [\text{kg/m}^3]} \quad (\text{G.1})$$

Ved at trække vægten af prøverne før forsøget fra vægten af prøverne over vand efter forsøget fås vægten af vandet i porerne. Tilsvarende udregningen af prøvernes volumen kan volumenet af de åbne porer bestemmes ved

$$V_{\text{å}} = \frac{m_{\text{Porevæske}} [\text{g}] \cdot 10^{-3} [\text{kg/g}]}{998 [\text{kg/m}^3]} \quad (\text{G.2})$$

Dermed kan porøsiteten bestemmes som

$$p = \frac{V_{\text{å}}}{V} \quad (\text{G.3})$$

Densiteten bestemmes ved

$$\rho = \frac{m_{\text{tør}}}{V} \quad (\text{G.4})$$

Temperatur luft 23,5  
 Temperatur vand 21,0

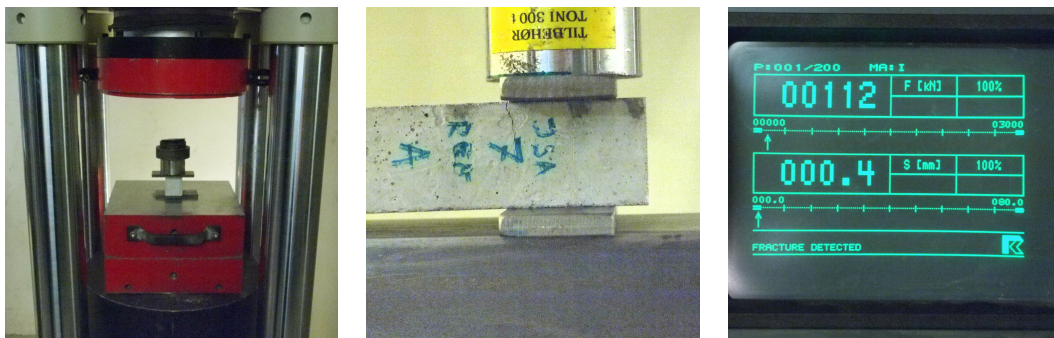
Prøve	Type	Dato	Tør vægt [g]	Sat i leksikator	Vand tilføjet	Tid i Vakuum	Vægt under vand [g]	Vægt over vand [g]	Vægt af fortrængt væske [g]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Vægt af porevand [g]	Åbent porevolumen [m <sup>3</sup> ]	Porøsitet	Porøsitet AVG	Por. Spredning	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Densitet AVG [kg/m <sup>3</sup> ]	Dens. Spredning [kg/m <sup>3</sup> ]
7	A	19-11-2013	534,81	13:15	16:30	03:15	306,93	560,63	253,7	2,54E-04	25,82	2,59E-05	0,10	0,10	0,00	2104	2108	7,4
B	REF	19-11-2013	539,02	13:15	16:30	03:15	310,03	565,94	255,91	2,56E-04	26,92	2,70E-05	0,11	0,10	0,00	2102	2108	
C		19-11-2013	541,96	13:15	16:30	03:15	312,96	568,27	255,31	2,56E-04	26,31	2,64E-05	0,10			2119		
8	A	19-11-2013	541,13	13:15	16:30	03:15	311,14	569,96	258,82	2,59E-04	28,83	2,89E-05	0,11			2087		
B	5%S	19-11-2013	543,84	13:15	16:30	03:15	313,45	567,40	253,95	2,54E-04	23,56	2,36E-05	0,09	0,10	0,01	2137	2115	21,0
C		21-11-2013	543,41	08:45	11:55	03:10	309,98	565,83	255,85	2,56E-04	22,42	2,25E-05	0,09			2120		
9	A	21-11-2013	541,53	08:45	11:55	03:10	305,44	563,76	258,32	2,59E-04	22,23	2,23E-05	0,09			2092		
B	10%C	21-11-2013	540,53	08:45	11:55	03:10	305,38	563,73	258,35	2,59E-04	21,2	2,32E-05	0,09	0,09	0,00	2088	2092	3,4
C		21-11-2013	538,51	08:45	11:55	03:10	305,01	561,37	256,36	2,57E-04	22,86	2,29E-05	0,09			2096		
10	A	21-11-2013	551,23	08:45	11:55	03:10	313,03	572,68	259,65	2,60E-04	21,45	2,15E-05	0,08			2119		
B	REF	21-11-2013	549,77	12:00:00	15:05:00	03:05:00	310,51	564,77	254,26	2,55E-04	15	1,50E-05	0,06	0,07	0,01	2158	2143	17,3
C		21-11-2013	547,97	12:00:00	15:05:00	03:05:00	309,18	563,29	254,11	2,55E-04	15,32	1,54E-05	0,06			2152		
11	A	21-11-2013	553,37	12:00:00	15:05:00	03:05:00	309,88	570,64	260,76	2,61E-04	17,27	1,73E-05	0,07			2118		
B	5%S	21-11-2013	548,72	12:45:00	15:45:00	03:00:00	305,85	565,07	259,22	2,60E-04	16,35	1,64E-05	0,06	0,06	0,00	2113	2116	2,3
C		21-11-2013	550,67	12:45:00	15:45:00	03:00:00	308,05	567,7	259,65	2,60E-04	17,03	1,71E-05	0,07			2117		
12	A	21-11-2013	545,38	12:45:00	15:45:00	03:00:00	307,64	563,24	255,6	2,56E-04	17,86	1,79E-05	0,07			2129		
B	10%C	21-11-2013	539,24	12:45:00	15:45:00	03:00:00	305,76	559,81	254,05	2,55E-04	20,57	2,06E-05	0,08	0,08	0,01	2118	2123,61	4,6
C		21-11-2013	542,42	12:45:00	15:45:00	03:00:00	309,12	564,1	254,98	2,55E-04	21,68	2,17E-05	0,09			2123		

## Bilag H

# Data fra trykforsøgene

Trykprøverne blev trykprøvet efter at have hærdet i 83 dage i destilleret vand. De blev trykprøvet tirsdag d. 3. december 2013.

Trykprøverne blev trykket i begge ender. Første tryk blev foretaget i den ende hvor prøvens nr. var skrevet. Prøvens nr. står på den side der vendte opad i formen, og denne side blev konsekvent vendt udaf som vist på figur H.1. Når trykprøvemaskinen brød prøven blev trykstyrken aflæst og det blev noteret om prøven knækkede af sig selv. Prøven blev derefter vendt i prøvemaskinen og endnu engang blev der trykket til brud.



(a) Prøven i trykprøvemaskinen, set forfra

(b) Prøven i trykprøvemaskinen, set fra siden

(c) Trykmaskinens display

Figur H.1: Trykprøve maskinen

På trykprøvemaskinen er der aflæst hvor stor brudlasten er, aflæst i kiloNewton. Herudfra omregnes til spændinger (MPa) ved formel H.1

$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{H.1})$$

Hvor  $F$  er kraften aflæst indsat i N,  $A$  er arealet i  $\text{mm}^2$ , og  $p$  er spændinger i MPa.



Trykprøvning                      Dato:                      12/3/13

		Første tryk	første tryk	Andet tryk	Andet tryk	Middel første tryk	Middel andet tryk	Samlet middel	Samlet spredning	Knækkede ende 1?	Knækkede ende 2?
		kN	MPa	kN	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	-	-
1	A <b>REF</b>	106	66	104	65					Nej	Nej
	B	89	56	94	59	64	62	75	19	Ja	Ja
	C	112	70	101	63					Nej	Ja
2	A <b>5%S</b>	85	53	68	43					Nej	Ja
	B	80	50	101	63	55	50	62	18	Ja	Nej
	C	101	63	72	45					Nej	Ja
3	A <b>10%C</b>	90	56	97	61					Nej	Ja
	B	94	59	99	62	60	62	74	19	Nej	Nej
	C	104	65	102	64					Ja	Nej

## H.1 Billeder af brudformer



Figur H.2: Prøve 1B (REF) efter brud. Begge ender knækket



Figur H.3: Prøve 2B (5%S) efter brud. Den ene ende knak af sig selv. Den anden holdt stadig sammen



Figur H.4: Prøve 2B (5%S) efter brud.



Figur H.5: Prøve 3A (10%C) efter brud. Begge ender knækket



Figur H.6: Prøve 3B (10%C) efter brud. Begge ender holdt sammen. Fraktur ses tydeligt i højre side

## Bilag I

# Data fra ICP-måling efter oplukning af mørtelprøve

Data fra ICP ved oplukning af mørtelprøve

Grundstof	100		100		100		200		100		100		100		100		Faststoftsindhold i mg/kg = $\frac{mg \cdot 1000 \cdot \text{målekolbe}}{mg \cdot \text{prøve}}$
	1A, REF	1B, REF	1C, REF	Middel REF	Spredning REF	2A, 5%S	2B, 5%S	2C, 5%S	Middel 5%S	Spredning, 5%S	3A, 10%C	3B, 10%C	3C, 10%C	Middel, 10%C	Spredning 10%C		
Aluminium	228,9	203,2	252,3	226,8	111,6	288,9	4446,2	4483,5	5378,9	4792,6	509,0	224,0	224,0	224,0	229,4	4504,8	73,7
Arsen	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cadmium	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Krom	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Kobber	10,5	9,6	11,1	10,4	0,8	8,8	10,6	9,4	9,6	9,6	0,9	8,6	8,8	8,8	8,8	8,7	0,1
Nikkel	16,5	14,9	24,3	18,6	5,0	31,4	28,3	24,7	28,1	3,3	21,1	32,7	21,4	25,1	25,1	6,6	6,6
Bly	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zink	3,9	3,5	4,0	3,8	0,2	1,5	2,1	1,7	1,8	0,3	2,0	2,0	2,0	1,8	1,9	0,1	0,1
Natrium	5,0	4,7	5,6	5,1	0,4	7,3	8,3	7,0	7,5	0,7	6,0	6,2	6,2	6,2	6,1	0,1	0,1
Jern	1,6	1,5	2,1	1,8	0,4	2,8	1,4	2,5	2,1	4,0	2,1	2,1	2,4	2,1	2,1	4,8	3,8
Kalium	32,5	30,2	42,8	35,2	6,7	55,4	56,5	49,0	53,6	4,0	41,5	48,2	41,8	43,8	43,8	9,8	7,2
Calcium	8,7	8,8	10,8	10,2	7,6	10,2	7,6	12,2	12,2	50,1	10,3	9,6	9,8	198,8	198,8	9,8	7,2
Fosfor	174,9	176,1	216,9	189,3	23,9	203,2	302,8	244,9	250,3	50,1	206,9	192,9	196,7	196,7	196,7	293,5	293,5
Magnesium	244,5	219,5	269,6	297,3	159,6	594,7	638,5	638,6	6239,7	253,8	287,7	285,5	293,5	293,5	293,5	5778,3	83,1
	4889,5	4390,3	5392,3	4890,7	501,0	5946,7	6385,5	6386,9	6239,7	253,8	5754,0	5710,1	5870,8	5778,3	5778,3	83,1	83,1
	15,7	14,8	21,8	13,2	8,7	13,2	8,7	16,3	16,3	42,6	13,7	13,0	13,2	13,2	13,2	266,3	6,9
	313,4	295,4	435,6	348,2	76,3	265,0	347,2	325,5	312,5	42,6	274,1	260,9	263,8	266,3	266,3	6,9	6,9
	4870,1	4795,8	5300,4	5557,8	2963,2	5557,8	2963,2	5611,5	5611,5	3882,1	5044,8	5170,1	5284,7	5284,7	5284,7	2399,5	2399,5
	97402,4	95915,2	106007,0	111156,4	118527,2	1112229,4	113971,0	113971,0	3882,1	100895,8	103402,0	105693,2	103330,3	103330,3	103330,3	9,3	9,3
	21,9	18,1	21,5	101,5	61,5	101,5	61,5	104,4	104,4	234,7	78,0	78,7	77,8	77,8	77,8	54,3	54,3
	438,2	361,0	429,3	2029,2	2461,8	2029,2	2461,8	2087,8	2192,9	234,7	1561,0	1574,0	1566,1	1566,1	1566,1	1079,5	1079,5
	48,2	47,8	49,1	56,8	35,2	56,8	35,2	59,9	59,9	129,2	54,5	53,1	54,3	54,3	54,3	1086,2	1086,2
	964,9	955,9	981,2	1175,5	1409,4	1175,5	1409,4	1197,5	1260,8	129,2	1089,5	1062,6	1066,2	1066,2	1066,2	14,7	14,7

Afvejet 5,00 g

## Bilag J

# Epoxy vejledning og datablade

Arbejdsbeskrivelsen for arbejdet med epoxy er udarbejdet af [Rem, 2014]. Desuden er databladene for de anvendte epoxy materialer vedlagt.

## Arbejdsbeskrivelse til epoxymaling

1. Sørg for at reservere stinkskalet og husk at lægge en seddel ved prøverne med navn, telefonnummer og vejleder.
2. Læg plastik i hele bunden af stinkskalet samt lav et par mindre plastikstykker (et til at male på og et til at lægge rørepinde fra på) så de kan smides ud bagefter.
3. Læg en affaldspose, en pensel, tre rørepinde, to skeer, en plastikbøtte samt en bunke servietter klar inde i stinkskalet.
4. Hvis det er nødvendigt så læg klodser frem til at stille de malede prøver på og afmærk på plastikken hvilke prøver der står hvor.
5. Tag sikkerhedsbriller og to par handsker på.
6. Smøg ærmerne op og sørg for at sætte håret op, hvis det er langt.
7. Stil den store spand med maling og den lille spand med harpiks frem i stinkskalet.
8. Tag vægten frem fra skabet.
9. Se blandingsforholdet på Condor blandelisten (det er på nuværende tidspunkt 55g maling til 25g harpiks).
10. Rør i den store spand i 3 min.
11. Rør i den lille spand i 3 min.
12. Afvej først malingen og dernæst harpiksen. Husk at nulstille vægten imellem vejningerne.
13. Rør i blandingen i 3 min.
14. Mal prøverne – husk at være forsigtig!
15. Alt smides i affaldsposen i stinkskalet som derefter smides i den blå tønde.
16. Alting ryddes op og stilles på plads, lyset i stinkskalet slukkes og glasset køres ned.
17. Husk at vaske hænder!



## TEKNISK DATABLAD CONPOX MALING EB 1040

2-komponent epoxy system for gulv/væg behandling.  
Udføres ensfarvet eller flerfarvet ved idrys af "chips".



Januar 2007

### ANVENDELSES- OMRÅDE

Conpox Maling EB 1040 er et kunststofs system til gulve og vægge i lokaler, hvor der ønskes en rengøringsvenlig, slidstærk og dekorativ overflade, ensfarvet eller flerfarvet ved i drysning af chips. Alt efter underlag og overfladekrav vælges hærder type. Hvis der ønskes en let skridsikring og rengøringsvenlighed tilsættes topcoatingen 1-3% consint, hvis der ønskes kraftigere skridsikring idrysses der kvarts, bausit el. lignende og herefter topcoates/forsegles belægningen.

### Beskrivelse af Hærdere (Komponent B):

<b>EH 1010</b>	Standard hærder med god kemikalieresistens. 550-850mPas/s. Pot life Ca.20-30min.*
<b>EH 1011</b>	Den samme som EH 1010 bare langsommere hærkning og lidt bedre kemikalieresistens. 290-450mPas/s Pot life 30-40min. <b>Denne hærder er fødevarer godkendt*</b>
<b>EH 1021</b>	Til fugtige/våde underlag. 600-1400mPas/s Pot life 30-40min.*
<b>EH 1066</b>	Elastisk hærder. Velegnet til fugeløsninger god som membran(revneoverbyggende). Har god vedhæftning på de fleste underlag især på tjære/ bituminøse underlag. 1100-1900mPas/s 30-40min.*
<b>EH 1066 LV</b>	Den samme som 1066 bare meget mere lavviskos 200-300mPas/s og bedre elastiske egenskaber nedtil -10°C. <b>Denne hærder er fri for nonylphenol og benzyl alkohol.</b> Pot life 60-80min.*
<b>EH 1075</b>	Hurtig hærder.550-750mPas/s Pot life 10-15min.*

\* Afhængig af temp. og blandingerne størrelse, de opgivne tal er ved blandinger på 250gr. Ved 23°C

Med CONPOX Maling komponenterne udføres 2 standard systemer.

**CONPOX Gulvmaling:** 300-1000my tyndfilmsbelægning for gulve udføres ensfarvet eller flerfarvet med i drys af chips.

**CONPOX Væg maling:** 300-500my. Vægbelægningen udføres ensfarvet eller flerfarvet med drys af chips.

### PRODUKT- BESKRIVELSE

**Conpox Maling EB 1040** består af en 2-komponent opløsningsmiddelfri epoxygrundmasse, der udlægges ensfarvet, enten med tandspartel og malerrulle, eller som maling med pensel eller rulle.

Ønskes et dekorativ udseende eller skridsikring i drysses chips eller kvarts, der efterbehandles med en topcoat (farveløs).

**Bindemiddel:** Opløsningsmiddelfri epoxy  
**Leveringsenheder:** Bestående af:

Sættørrelse:	Komponent A:	Komponent B:		
<u>Kg/i alt</u>	<u>EB 1040</u>	<u>EH 1010/ 1011/ 1021</u>	<u>EH 1075</u>	<u>EH 1066/ LV</u>
8,00 / 7,15 / 11kg	5.5kg	2,50kg	1,65kg	5,5kg

**Farve:** Lysgrå/mørkgrå andre farver kan leveres.  
**Fortyding:** Anvendes normalt uden tilsætning af fortynder.  
**Forbrug:** Afhængig af opgavens art. 0.5 - 3.0 kg/m<sup>2</sup>.  
**Min.arb.temp.:** 3°C. afhængigt af hærder

Side 1 af 2



## TEKNISK DATABLAD CONPOX MALING EB 1040

2-komponent epoxysystem for gulv/væg behandling.  
Udføres ensfarvet eller flerfarvet ved idrys af "chips".



<b>Brugstid:</b>	Ca. 15-80 min. efter blanding. Afhængigt af hærder og temperatur
<b>Trykstyrke:</b>	> 80 MPA
<b>Afhærdning:</b>	Støvtør efter ca. 1 døgn v. 20°C Gangbar efter ca. 1 døgn v. 20°C Færdig afhærdning efter ca. 7 døgn.
<b>Opbevaring:</b>	Komponenterne skal opbevares tørt og køligt.
<b>Holdbarhed:</b>	12 mdr. i originalemballage.
<b>PÅFØRING</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kan påføres som en selvnivellerende masse med malerrulle eller spartel.</li> <li>▪ Som maling kan den påføres med pensel eller malerrulle.</li> <li>▪ Ved større arbejde anbefaler vi at lade arbejdet udføre af vore autoriserede entreprenører, der råder over det nødvendige maskineri og som har erfaring i håndtering af produkterne, samt kendskab til de miljømæssige krav.</li> </ul>
<b>UNDERLAGSKRAV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Underlaget skal være tørt, rent og fri for olier og fedtstoffer.</li> <li>▪ Nystøbt beton skal være mindst 4-14 dage gammel, afhængigt af temp./fugt forholdende og afhængigt af valg af hærdtype før Conpox Maling EB 1040 påføres.</li> <li>▪ Porøse underlag skal altid primes.</li> <li>▪ Ståloverflader der er rustne, afrenses til blankt stål ved sandblæsning/ slyngrensning el. lignende til SA 2.5. Behandlede overflader, hvor behandlingen har god vedhæftning til stålet, afvaskes/ slibes el. lign. for at sikre en god vedhæftning til efterfølgende behandling. Spørg altid Condor Kemi A/S hvis der er tvivl om valg af hærder.</li> </ul>
<b>BLANDING/ PÅFØRING</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Harpiks og hærder blandes omhyggeligt Ca. 3min. Til en ensartet homogen blanding.</li> <li>▪ Blandingen foretages bedst med en langsomtgående (ca. 300 omdr/min.) boremaskine påsat et blandehead. Undgå at blande for meget luft i blandingen.</li> <li>▪ Der må højest opstå tidsintervaller mellem påføringerne på 2-3 dage afhængigt af temperaturforholdene på stedet (jo højere temp. jo kortere intervaller), med mindre der foretages en let afslibning.</li> </ul>
<b>RENGØRING</b>	Værktøj rengøres med Condor Rensevæske 49650.
<b>TEKNISK SERVICE</b>	Condor Kemi A/S står gerne til rådighed med vejledning i brugen af Conpox Maling EB 1040.

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**CONPOX HARPIKS EB 1040**  
 Epoxy tyndfilms maling



Udarbejdet. Juni 2008

**1 IDENTIFIKATION AF STOFFET/MATERIALET OG LEVERANDØREN**

Varetype og anvendelse: Komponent A: Mellemviskos epoxy harpiks.  
 PR nummer: 2811G  
 Tilhørende komponenter: Komponent B: Conpox Hærder  
 EH1010,EH1011,EH1021,EH1066,EH1066LV, EH1075.

Varetype og anvendelse: Modifieret Epoxyharpiks.  
 Anvendelsesbegrænsninger: Må ikke anvendes af unge under 18 år, jf. Arbejdsministeriets bekendtgørelse om unges arbejde. Personer med eksem, allergi og astma må ikke arbejde med denne type produkter.

Krav til særlig uddannelse: Ved erhvervsmæssigt arbejde med disse produkter skal arbejdstilsynets bekendtgørelse om epoxyharpiks- og isocyanatholdige produkter følges. Ud over hvad der nævnes i dette sikkerhedsdatablad indeholder bekendtgørelsen bl.a. bestemmelser om vaskefaciliteter, omhyggelig personlig hygiejne samt optætning af advarselstavler.

Leverandør: **Condor Kemi**  
**Formervangen 10**  
**DK-2600 Glostrup**  
**Tlf: 0045 4343 1181, Fax: 0045 4343 0675**  
**E-mail: [condorkemi@condorkemi.dk](mailto:condorkemi@condorkemi.dk)**

**2 SAMMENSÆTNING/ OPLYSNING OM INDHOLDSSTOFFER**

Kemisk karakterisering: Bisphenol A epoxyharpiks

**Farlige komponenter:**

Kemisk betegnelse	Cas-Nr.	Symbol	Klassificering	Koncentration [%]
Reaktionsprodukt: bisphenol-A-epichlorhydrin; homologe med molekylvægt < 700	25068-38-6	Xi, N	R36/38 R43 R51/53	46-55
Bisphenol F-diglycidylether	9003-36-5	Xi,N	R36/38 R43 R51/53	9-15
Glycidylether af C12-C14 alkoholer EF-Nr.: 271-846-8	68609-97-2	Xi,N	R36/38 R43 R51/53	5-11

**3 FAREIDENTIFIKATION**

Irriterer øjnene og huden.  
 Kan give overfølsomhed ved hudkontakt.  
 Giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.

**4 FØRSTEHJÆLPS-FORANSTALTNINGER**

- Indånding:**
- Bring den forgiftede ud i frisk luft.
  - Søg læge ved længerevarende problemer.
- Øjenkontakt:**
- Skyl øjeblikkeligt med rigeligt vand i mindst 15 minutter.
  - Konsulter en specialist ved længerevarende øjenirritation
- Hudkontakt:**
- Vaskes af med sæbe og rigeligt vand.
  - Søg læge, hvis hudirritationen er vedvarende.
- Indtagelse**
- Giv omgående rigelige mængder vand (hvis muligt aktiv kulopløsning).
  - Personer, der ligger på ryggen og kaster op, skal vendes om på siden.
  - Giv om nødvendigt ilt eller kunstigt åndedræt.

Side 1 af 6

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**CONPOX HARPIKS EB 1040**  
 Epoxy tyndfilms maling



<b>5</b>	<b>BRANDBEKÆMPELSE</b>	▪ Fremkald ikke opkastning.											
		Passende slukningsmidler	: Vandtåge. Kulsyre (CO <sub>2</sub> ). Skum. Pulver.										
		Slukningsmidler, som af sikkerhedsgrunde ikke må anvendes.	Kraftig vandstråle.										
		Specielt beskyttelsesudstyr for brandslukningsfolk.	Brug selvforsynet åndedrætsværn og beskyttelsesdragt.										
		Andre informationer	Forbrænding danner ubehagelig og giftig røg. Carbonoxider.										
<b>6</b>	<b>FORHOLDSREGLER OVERFOR UDSLIP VED UHELD</b>	<b>Personlige beskyttelsesmidler:</b>	Holdes væk fra antændelseskilder - Rygning forbudt.  Undgå kontakt med huden, øjnene og tøjet. Indånd ikke dampe/støv.										
		<b>Sikkerhedsforanstaltninger til beskyttelse af miljøet:</b>	Materialet må ikke udledes til kloakken.  Foruren ikke overfladevand. Undgå gennemtrængning til undergrund.										
		<b>Metoder til oprydning</b>	Tørres op med inaktivt absorberende materiale og bortskaffes som olie- og kemikalieaffald										
<b>7</b>	<b>HÅNDTERING OG OPBEVARING</b>	<b>Håndtering:</b>											
		Råd om sikker håndtering	Sørg for tilstrækkelig luftudskiftning og/eller udsugning i arbejdsrum Undgå dannelse af aerosol. Sørg for tilstrækkelig ventilation. Emballagen skal åbnes og behandles forsigtigt.										
		<b>Opbevaring:</b>											
		Yderligere information om opbevaringsforhold	Må ikke komme i forbindelse med levnedsmidler, drikkevarer og foderstoffer. Hold beholderen tæt lukket. Opbevares i den originale beholder ved temperaturer mellem 2 og 40°C										
		<b>Lagerfarlighedsklasse:</b>	Lagringsklasse 10, miljøfarlige væsker										
<b>8</b>	<b>EKSPONERINGSKONTROL / PERSONLIGE BESKYTTELSESMIDLER</b>	<b>Indholdsstoffer med arbejds hygiejniske grænseværdier.</b>											
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Komponenter</th> <th>CAS-Nr</th> <th>Kontrolparametre</th> <th>Opdater</th> <th>basis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Komponenter	CAS-Nr	Kontrolparametre	Opdater	basis					
		Komponenter	CAS-Nr	Kontrolparametre	Opdater	basis							
<b>Sikkerhedsudstyr til personlig beskyttelse</b>													
		Åndedrætsværn:	Brug egnet åndedrætsværn, hvis effektiv ventilation ikke er mulig.										

Side 2 af 6

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**CONPOX HARPIKS EB 1040**  
 Epoxy tyndfilms maling



		Filter type AX-P2(Organiske dampe, partikler)																								
	Øjenvæm:	Tætssluttende øjenvæm. Skærm.																								
	Håndvæm:	Handskemateriale for langtidsanvendelse (BTT>480min): Butyl gummi. Ethylvinylalcohol laminat (EVAL) Handskemateriale for korttids/sprøjteanvendelse (10min<BTT<480min): Nitril gummi. Brug handsker der er godkendt ifølge relevante standarder, for eksempel EN374(europa) F739(US). Denne handskes egnethed og holdbarhed er afhængig af brug, for eksempel hyppighed og kontaktvarighed, handskematerialets kemikalieresistens og behændighed. Søg altid råd hos handsker-producenten.																								
	Hud og kropsbeskyttelse:	Beskyttelsesdragt. Sikkerhedssko.																								
	Beskyttelses-Foranstaltning:	Holdes væk fra antændelseskilder – Rygning forbudt. Undgå kontakt med huden, øjnene og tøjet																								
<b>9 FYSISK-KEMISKE EGENSKABER</b>																										
		<table border="1"> <tr> <td>Form</td> <td>Væske</td> </tr> <tr> <td>Farve</td> <td>Normal grå men leveres i andre farver</td> </tr> <tr> <td>Lugt</td> <td>Svag</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>Ca. 6 ved (20°C)</td> </tr> <tr> <td>Kogepunkt</td> <td>&gt;200 °C ved1,013hPa</td> </tr> <tr> <td>Termisk spaltning</td> <td>&gt;200 °C</td> </tr> <tr> <td>Flammepunkt</td> <td>130 °C Metode: DIN51758 (Pensky)</td> </tr> <tr> <td>Damptryk</td> <td>0,001 Pa ved 20 °C</td> </tr> <tr> <td>Fylde</td> <td>1.28 g/cm<sup>3</sup> ved 20 °C Metode DIN 51757</td> </tr> <tr> <td>Vandopløselighed</td> <td>Ved 20 °C Note: praktisk talt uopløselig</td> </tr> <tr> <td>Blandingsevne med vand</td> <td>Ikke blandbar</td> </tr> <tr> <td>Viskositet, dynamisk</td> <td>800-1100mPa.s</td> </tr> </table>	Form	Væske	Farve	Normal grå men leveres i andre farver	Lugt	Svag	pH	Ca. 6 ved (20°C)	Kogepunkt	>200 °C ved1,013hPa	Termisk spaltning	>200 °C	Flammepunkt	130 °C Metode: DIN51758 (Pensky)	Damptryk	0,001 Pa ved 20 °C	Fylde	1.28 g/cm <sup>3</sup> ved 20 °C Metode DIN 51757	Vandopløselighed	Ved 20 °C Note: praktisk talt uopløselig	Blandingsevne med vand	Ikke blandbar	Viskositet, dynamisk	800-1100mPa.s
Form	Væske																									
Farve	Normal grå men leveres i andre farver																									
Lugt	Svag																									
pH	Ca. 6 ved (20°C)																									
Kogepunkt	>200 °C ved1,013hPa																									
Termisk spaltning	>200 °C																									
Flammepunkt	130 °C Metode: DIN51758 (Pensky)																									
Damptryk	0,001 Pa ved 20 °C																									
Fylde	1.28 g/cm <sup>3</sup> ved 20 °C Metode DIN 51757																									
Vandopløselighed	Ved 20 °C Note: praktisk talt uopløselig																									
Blandingsevne med vand	Ikke blandbar																									
Viskositet, dynamisk	800-1100mPa.s																									
<b>10 STABILITET OG REAKTIVITET</b>																										
	<b>Forhold, der skal undgås:</b>	Tag nødvendige forholdsregler for at undgå udladning af statiske elektricitet.																								
	<b>Materialer, der skal undgås:</b>	Stærke syrer og stærke baser. Stærke iltningsmidler.																								
	<b>Farlige dekomponeringsprodukter.</b>	Carbonoxider. Forbrænding danner ubehagelig og giftig røg.																								
<b>11 TOKSIKOLOGISKE OPLYSNINGER (SUNDHEDSFARLIGE EGENSKABER)</b>																										
	Akut oral toksitet:	LD50 rotte Dose: > 5,000mg/kg																								
	Akut toksicitet ved hudkontakt:	LD50 rotte Dose : > 2,000 mg/kg.																								

Side 3 af 6

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**CONPOX HARPIKS EB 1040**  
 Epoxy tyndfilms maling



	Øjenirritation:	Irriterende Kanin
	Hudirritation:	Irriterende Kanin Dermal
	Sensibilisering:	Giver overfølsomhed. Marsvin Dermal
<b>12 MILJØ-OPLYSNINGER</b>	<b>Økotoksiske virkninger:</b>	
	<b>Yderligere økologisk information:</b>	Undgå gennemtrængning til undergrund. Materialet må ikke udledes til kloakken. Foruren ikke overfladevand
<b>13 BORTSKAFFELSE</b>	<b>Produkter:</b>	Affaldskort nr.: 070208 skal forbrændes i overensstemmelse med lokale foreskrifter.
	<b>Beholder:</b>	Tomme beholdere kan efter rengøring deponeres, når dette er i overensstemmelse med lokale regler.
<b>14 TRANSPORTOPLYSNINGER</b>	<b>Vejtransport</b>	
<b>R</b>	<b>ADR:</b>	
	UN Nr.:	3082
	Klasse:	9
	Klassifikation Kode:	M6
	Emballagegruppe:	III
	Farenummer:	90
	ADR/RID-etiketter:	9
	Betegnelse:	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.
	Indeholder:	BISPHENOL A EPOXY RESIN
	<b>RID:</b>	
	UN Nr.:	3082
	Klasse:	9
	Emballagegruppe:	III
	Farenummer:	90
	ADR/RID-etiketter:	9
	Betegnelse:	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.
	Indeholder:	BISPHENOL A EPOXY RESIN
	<b>Søtransport</b>	
	<b>IMDG:</b>	
	UN Nr.:	3082
	Klasse:	9
	Emballagegruppe:	III
	ADR/RID-etiketter:	9
	MFAG:	
	EMS:	F.A.S.F
	Betegnelse:	ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.
	Indeholder:	BISPHENOL A EPOXY RESIN
	<b>Lufttransport:</b>	
	<b>IATA:</b>	
	UN/ID Nr.:	UN 3082
	Klasse:	9
	Emballagegruppe:	III
	Luftfragt:	914
	Maks, kvan./pkk.:	450.00L (999.00 = ingen begrænsning)

Side 4 af 6

**CONDOR KEMI A/S**, Formervangen 10, 2600 Glostrup. Tel.: (+45)4343 1181. Fax.: (+45)4343 0675.

Condor kemi A/S et dansk produktions-, handels- og ingeniørfirma med mere end 30 års erfaring i at levere know-how, rådgivning og produkter til den kvalitetsbevidste byggebranche i såvel indland som udland. Firmaet har en stab af veluddannede medarbejdere med stor erfaring i at yde rådgivning inden for brandsikring, betonreovering og kunststofprodukter.

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**CONPOX HARPIKS EB 1040**  
 Epoxy tyndfilms maling



**15 OPLYSNINGER OM  
 REGULERING**

Pakningsinstruktion (passager luftfragt): 914  
 Maks. kvan./pkk.: 450.00L (999.00 = ingen begrænsning)  
 ADR/RID-etiketter: 9  
 Betegnelse: ENVIRONMENTALLY HAZARDOUS SUBSTANCE, LIQUID, N.O.S.  
 Indeholder: (BISPHENOL A EPOXY RESIN)

**Mærkning i henhold til 7 EU-direktiv**

Påkrævet symbol(er): Xi; Lokalirriterende.  
 N Farlig for miljøet

**R-sætninger:**

R 36/38 Irriterer øjnene og huden.  
 R43 Kan give overfølsomhed ved hudkontakt.  
 R51/53 Giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.

**S-sætninger:**

S 26 Kommer stoffet i øjnene, skylles straks grundigt med vand og læge kontaktes.  
 S28 Kommer stof på huden vaskes straks med store mængder sæbe og vand.  
 S37/39 Brug egnede handsker og øjen/ansigtsbeskyttelse.  
 S61 Undgå udledning til miljøet. Se særlig vejledning/sikkerhedsdatablad.

**Særlig mærkning:  
 af visse præparater:** Indeholder epoxyforbindelser. Se fabrikantens oplysninger.

**Farebestemmende  
 komponent(er) for  
 etikettering:** Glycidylether af C12-C14 alkoholer  
 EF-Nr.: 271-846-8

Reaktionsprodukt:  
 Bisphenol-A-epichlorhydrin;  
 Homologe med molekylvægt < 700

**Nationale forskrifter:**

OTHER Må ikke anvendes af unge under 18 år., Må kun anvendes af personer, som har gennemgået den særlige epoxy- og polyurethanuddannelse. Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 199 af 26. marts 1985 om epoxyharpikser og isocyanater m.v. skal følges.

**Angivelses status:**

DK\_PREG Angivelses nummer : 2811G

TSCA ja

EINECS ja

DSL ja

AICS ja

JEX ja

KECI ja

PICCS (PH) ja

Side 5 af 6

**CONDOR KEMI A/S**, Formervangen 10, 2600 Glostrup. Tel.: (+45)4343 1181. Fax.: (+45)4343 0675.

Condor kemi A/S et dansk produktions-, handels- og ingeniørfirma med mere end 30 års erfaring i at levere know-how, rådgivning og produkter til den kvalitetsbevidste byggebranche i såvel indland som udland. Firmaet har en stab af veluddannede medarbejdere med stor erfaring i at yde rådgivning inden for brandsikring, betonreovering og kunststofprodukter.

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**CONPOX HARPIKS EB 1040**  
 Epoxy tyndfilms maling



INV(CN) ja

DK\_MAL Angivelses nummer: 00-5

**16 ANDRE OPLYSNINGER****List over R-Sætning(er) (Sektion 2)**

R36/38	Irriterer øjnene og huden.
R43	Kan give overfølsomhed ved hudkontakt.
R51/53	Giftig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.
R52/53	Skadelig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.

Dette produkt skal opbevares, håndteres og bruges i overensstemmelse med god industriel arbejds-hygienisk praksis og under overholdelse af eventuelle lovmæssige forskrifter. Den heri afgivne information er baseret på vor nuværende viden og har til hensigt at beskrive en garanti for specifikke egenskaber.

Informationerne i dette sikkerhedsdatablad er baseret på leverandørens anvisninger, vor nuværende viden og på EU- samt national lovgivning.

Brugerens arbejdsforhold er uden for vort kendskab og kontrol.

Anvisningerne i dette sikkerhedsdatablad er givet i forudsætning af at produktet anvendes som angivet i afsnit 1, ligesom at det er forudsat at anvendelsesbegrænsninger og krav til særlig uddannelse er overholdt.

Det er altid brugerens ansvar at opfylde kravene, fastlagt i national lovgivning.

Oplysningerne i dette sikkerhedsdatablad bør opfattes som en beskrivelse af de sikkerhedskrav, der stilles til produktet.

Oplysningerne er ingen garanti for produktets egenskaber.



## SIKKERHEDSDATABLAD

Conpox Hærder  
EH 1011**CONDOR**

Udarbejdet. August 2008

1 IDENTIFIKATION AF  
STOFFET/MATERIALET  
OG LEVERANDØREN

Varetype og anvendelse: Polyamin hærder  
PR nummer: Under anmeldelse.

Tilhørende komponenter: Komponent A: Conpox Harpiks EB 1040, EB 1060, EB 1010, EB 1010LV, EB 1010MLV.

Anvendelsesbegrænsninger: Må ikke anvendes af unge under 18 år, jf. Arbejdsministeriets bekendtgørelse om unges arbejde. Personer med eksem, allergi og astma må ikke arbejde med denne type produkter.

Krav til særlig uddannelse: Ved erhvervs-mæssigt arbejde med disse produkter skal arbejdstilsynets bekendtgørelse om epoxyharpiks- og isocyanatholdige produkter følges. Ud over hvad der nævnes i dette sikkerhedsdatablad indeholder bekendtgørelsen bl.a. bestemmelser om vaskefaciliteter, omhyggelig personlig hygiejne samt opsætning af advarselstavler.

Leverandør: **Condor Kemi**  
**Formervangen 10, DK-2600 Glostrup**  
**Tlf: +45 4343 1181, Fax: +45 4343 0675**

**Udarbejdet af: Kjeld Bugge: [hh@condorkemi.dk](mailto:hh@condorkemi.dk)**

2 SAMMENSÆTNING AF/  
OPLYSNING OM  
INDHOLDSSTOFFER

Kemisk karakterisering: Polyamin.

Kemisk betegnelse	Cas-Nr.	Symbol	R-sætninger	Koncentration [%]
Benzylalkohol EF-Nr.:202-859-9	100-51-6	Xn	20/22	34-42
Isophoron diamin EF-Nr.:220-666-8	2855-13-2	C	21/22-34-43-52/53	22-30
4-nonyl-phenol EF-Nr.:246-672-0	25154-52-3	C, N	22-34 50/53 62 63	>2,5

## 3 FAREIDENTIFIKATION

Ætsningsfare.  
Kan give overfølsomhed ved hudkontakt.  
Farlig ved indånding. ved hudkontakt. og ved indtagelse  
Skadelig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.

4 FØRSTEHJÆLPSFORAN-  
STALTNINGER

**Indånding:**

- Bring den forgiftede ud i frisk luft.
- Søg læge ved længerevarende problemer.

**Øjenkontakt:**

- Skyl øjeblikkeligt med rigeligt vand i mindst 15 minutter.
- Konsulter en specialist ved længerevarende øjenirritation

**Hudkontakt:**

- Vaskes af med sæbe og rigeligt vand.
- Søg læge, hvis hudirritationen er vedvarende.

**Indtagelse**

- Giv omgående rigelige mængder vand (hvis muligt aktiv kulopløsning).
- Personer, der ligger på ryggen og kaster op, skal vendes om på siden.
- Giv om nødvendigt ilt eller kunstigt åndedræt.



## SIKKERHEDSDATABLAD

Conpox Hærder  
EH 1011**CONDOR**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fremkald ikke opkastning.</li> </ul>	
<b>5 BRANDBEKÆMPELSE</b>	<p>Passende slukningsmidler</p> <p>Slukningsmidler, som af sikkerhedsgrunde ikke må anvendes</p> <p>Specielt beskyttelsesudstyr for brandslukningsfolk</p> <p>Andre informationer</p>	<p>Vandtåge. Kulsyre (CO<sub>2</sub>). Skum. Pulver.</p> <p>Kraftig vandstråle.</p> <p>Brug selvforsynet åndedrætsværn og beskyttelsesdragt.</p> <p>Forbrænding danner ubehagelig og giftig røg. Carbonoxider. Nitrogenoxider.</p>
<b>6 FORHOLDSREGLER OVER FOR UDSLIP VED UHELD</b>	<p><b>Personlige beskyttelsesmidler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Holdes væk fra antændelseskilder - Rygning forbudt.</li> <li>▪ Undgå kontakt med huden, øjnene og tøjet.</li> <li>▪ Indånd ikke dampe/støv.</li> </ul> <p><b>Sikkerhedsforanstaltninger til beskyttelse af miljøet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materialet må ikke udledes til kloakken.</li> <li>▪ Foruren ikke overfladevand.</li> <li>▪ Undgå gennemtrængning til undergrund.</li> </ul>	
<b>7 HÅNTERING OG OPBEVARING</b>	<p><b>Metoder til opbrydning:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tørres op med inaktivt absorberende materiale og bortskaffes som olie- og kemikalieaffald.</li> </ul> <p><b>Råd om sikker Håndtering:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Allergifremkaldende.</li> <li>▪ Sørg for tilstrækkelig luftudskiftning og/eller udsugning i arbejdsrum.</li> <li>▪ Undgå dannelse af aerosol.</li> <li>▪ Emballagen skal åbnes og behandles forsigtigt.</li> <li>▪ Holdes væk fra antændelseskilder - Rygning forbudt.</li> </ul> <p><b>Opbevaring:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Må ikke komme i forbindelse med levnedsmidler, drikkevarer og foderstoffer.</li> <li>▪ Hold beholderen tæt lukket.</li> <li>▪ Lagres ved temperaturer mellem 2-40°C</li> </ul> <p><b>Lagerfarlighedsklasse:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lagrings klasse 8, ætsende stoffer.</li> </ul>	
<b>8 EKSPONERINGSKONTROL/PERSONLIGE VÆRNEMIDLER</b>	<p><b>Grænseværdier i henhold til Arbejdstilsynets liste august 2007:</b> Ingen fastsat.</p> <p>Åndedrætsværn: Brug egnet åndedrætsværn, hvis effektiv ventilation ikke er mulig. Filter type AX-P2</p> <p>Øjenværn: Ved risiko for stænk eller arbejde over hovedet brug tætsluttende Øjenskærm/ skærm.</p> <p>Håndværn: Handskemateriale for langtidsanvendelse (BTT&gt;480min): Butyl gummi. Ethylvinylalcohol laminat (EVAL) Handskemateriale for korttids/sprøjteanvendelse</p>	

## SIKKERHEDSDATABLAD

Conpox Hærder  
EH 1011**CONDOR**

(10min&lt;BTT&lt;480min):

Nitril gummi.

Brug handsker der er godkendt ifølge relevante standarder, for eksempel EN374(europa) F739(US).

Denne handskes egnethed og holdbarhed er afhængig af brug, for eksempel hyppighed og kontaktvarighed, handskematerialets kemikalieresistens og behændighed. Søg altid råd hos handskerproducenten.

Hud og krops-  
beskyttelse:

Beskyttelsesdragt. Sikkerhedssko.

Beskyttelses-  
Foranstaltning:

Indånd ikke dampe/støv.

Holdes væk fra andtændelseskilder- rygning forbudt

Undgå kontakt med huden, øjnene og tøjet.

9 FYSISK-KEMISKE  
EGENSKABER

Form	Væske
Farve	Lysegul
Lugt	Svag
Kogepunkt	>200°C
Termisk spaltning	>250 °C
Flammepunkt	>131 °C Metode: DIN51758 (Pensky)
Damptryk	Ca. 0,4 hPa ved 20°C
Vægtfylde	1,02 g/cm <sup>3</sup> ved 25°C Metode DIN 51757
Vandopløselighed	Ved 20 °C Note: delvis opløselig
Blandingsevne med vand	Ikke blandbar
Viskositet, dynamisk	290 - 450 mPa.s ved 25 °C

10 STABILITET OG  
REAKTIVITET**Forhold, der skal undgås:**

- Tag nødvendige forholdsregler for at undgå udladning af statiske elektricitet.

**Materialer, der skal undgås:**

- Stærke syrer og stærke baser.
- Stærke iltningmidler.

**Farlige dekomponeringsprodukter.**

- Carbonoxider. Forbrænding danner ubehagelig og giftig røg.

11 TOKSIKOLOGISKE  
OPLYSNINGER  
(SUNDHEDSFARLIGE  
EGENSKABER)**Akut oral toksitet:**

LD50 rotte Dose: ca. 2,4 mg/kg

**Øjenirritation:** Ætsende  
Kanin**Hudirritation:** Ætsende  
Kanin  
Dermal**Sensibilisering:** Giver overfølsomhed.  
Marsvin  
Dermal

## 12 MILJØOPLYSNINGER

- Undgå gennemtrængning til undergrund.
- Materialet må ikke udledes til kloakken.
- Foruren ikke overfladevand.

13 FORHOLD VEDRØRENDE  
BORTSKAFFELSESpild, rester og affald afleveres til godkendt kommunal modtagestation eller  
Kommunekemi.

Affaldskort nr.: 070204

Conpox Hærder EH 1011

Side 3 af 6

CONDOR KEMI A/S, Formervangen 10, 2600 Glostrup. Tel.: (+45)4343 1181. Fax.: (+45)4343 0675.

Condor kemi A/S et dansk produktions-, handels- og ingeniørfirma med mere end 30 års erfaring i at levere know-how, rådgivning og produkter til den kvalitetsbevidste byggebranche i såvel indland som udland. Firmaet har en stab af veluddannede medarbejdere med stor erfaring i at yde rådgivning inden for brandsikring, betonreovering og kunststofprodukter.

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**Conpox Hærder**  
**EH 1011**



Skal forbrændes i overensstemmelse med lokale foreskrifter.

**Beholder:**

Tomme beholdere kan efter rengøring deponeres, når dette er i overensstemmelse med lokale regler.

**14 TRANSPORTOPLYSNINGER**

**Vejtransport**

**ADR:**

UN Nr.: 1760  
 Klasse: 8  
 Klassifikation Kode: C9  
 Emballagegruppe: III  
 Farenummer: 80  
 ADR/RID-etiketter: 8  
 Betegnelse: CORROSIV LIQUID, N.O.S.  
 Indeholder: Isophoron diamin, 4-nonyl phenol

**RID:**

UN Nr.: 1760  
 Klasse: 8  
 Emballagegruppe: III  
 Farenummer: 80  
 ADR/RID-etiketter: 8  
 Betegnelse: CORROSIV LIQUID, N.O.S.  
 Indeholder: Isophoron diamin, 4-nonyl phenol

**Søtransport**

**IMDG:**

UN Nr.: 1760  
 Klasse: 8  
 Emballagegruppe: III  
 ADR/RID-etiketter: 8  
 MFAG:  
 EMS: F. A. S - B  
 Betegnelse: CORROSIV LIQUID, N.O.S.  
 Indeholder: Isophoron diamin, 4-nonyl phenol

**Lufttransport:**

**IATA:**

UN/ID Nr.: UN 1760  
 Klasse: 8  
 Emballagegruppe: III  
 Luftfragt: 820  
 Maks, kvan./pkk.: 60,00 L (999.00 = ingen begrænsning)  
 Pakningsinstruktion  
 (passager luftfragt): 818  
 Maks, kvan./pkk.: 5.00L (999.00 = ingen begrænsning)  
 ADR/RID-etiketter: 8  
 Betegnelse: CORROSIV LIQUID, N.O.S.  
 Indeholder: Isophoron diamin, 4-nonyl phenol

**15 OPLYSNINGER OM  
 FORESKRIFTER**

I overensstemmelse med Miljøministeriets bekendtgørelse om klassificering, mærkning, emballering, salg og opbevaring af kemiske stoffer & produkter samt Arbejdstilsynets bekendtgørelse om fastsættelse af kodenumre, er produktet mærket som følger:

Produktets faresymboler og farebetegnelse:

C; Ætsende.

**R-sætninger:**

## SIKKERHEDSDATABLAD

Conpox Hærder  
EH 1011**CONDOR**

R20/ 21/22 Farlig ved Indånding, ved hudkontakt og ved indtagelse.  
 R 34 Ætsningsfare  
 R 43 Kan give overfølsomhed ved hudkontakt  
 R 52/53 Skadelig for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.

**S-sætninger:**

S 26 Kommer stoffet i øjnene, skylles straks grundigt med vand og læge kontaktes.  
 S36/37/39 Brug særligt arbejdstøj. Egnede handsker og øjen / ansigtbeskyttelse  
 S45 Ved ulykkestildfælde eller ved ildebefindende er omgående lægebehandling nødvendig, vis etiketten hvis det er muligt.

**Farebestemmende komponent(er) for etikettering:**

Isophron diamin  
 EF Nr.:220-666-8

Benzylalkohol  
 EF Nr.: 202-859-9

**Nationale foreskrifter**

OTHER: Må ikke anvendes af unge under 18år.

**Angivelses status:**

:EINECS ja  
 :TSCA ja  
 :DSL ja  
 :KECI (KR) ja  
 :JEX(JP) nej  
 :NV(CN) ja  
 :AICS nej  
 :PICCS (PH) nej  
 :DK\_MAL Angivelses nummer: 00-5

**16 ANDRE OPLYSNINGER****Liste over R-Sætning(er) (Sektion 2)**

R20/21/22 Farlig ved indånding, hudkontakt og ved indtagelse.  
 R34 Ætsningsfare.  
 R43 Kan give overfølsomhed ved hudkontakt.  
 R50/53 Meget giftig . for organismer, der lever i vand; kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet.  
 R52 Skadelig for organismer,  
 R62 Mulighed for skade på forplantningsevne.  
 R63 Mulighed for skade på barnet under graviditeten.

Dette produkt skal opbevares, håndteres og bruges i overensstemmelse med god industriel

Conpox Hærder EH 1011

Side 5 af 6

**CONDOR KEMI A/S**, Formervangen 10, 2600 Glostrup. Tel.: (+45)4343 1181. Fax.: (+45)4343 0675.

Condor kemi A/S et dansk produktions-, handels- og ingeniørfirma med mere end 30 års erfaring i at levere know-how, rådgivning og produkter til den kvalitetsbevidste byggebranche i såvel indland som udland. Firmaet har en stab af veluddannede medarbejdere med stor erfaring i at yde rådgivning inden for brandsikring, betonreovering og kunststofprodukter.

**SIKKERHEDSDATABLAD**  
**Conpox Hærder**  
**EH 1011**

The logo for CONDOR, featuring the word "CONDOR" in a bold, italicized, sans-serif font. The letters are black with a white outline, and the 'O's are particularly large and stylized. The logo is positioned to the right of the product name.

arbejdshygiejnisk praksis og under overholdelse af eventuelle lovmæssige forskrifter. Den heri afgivne information er baseret på vor nuværende viden og har til hensigt at beskrive en garanti for specifikke egenskaber.

Informationerne i dette sikkerhedsdatablad er baseret på leverandørens anvisninger, vor nuværende viden og på EU- samt national lovgivning.

Brugerens arbejdsforhold er uden for vort kendskab og kontrol.

Anvisningerne i dette sikkerhedsdatablad er givet i forudsætning af at produktet anvendes som angivet i afsnit 1, ligesom at det er forudsat at anvendelsesbegrænsninger og krav til særlig uddannelse er overholdt.

Det er altid brugerens ansvar at opfylde kravene, fastlagt i national lovgivning.

Oplysningerne i dette sikkerhedsdatablad bør opfattes som en beskrivelse af de sikkerhedskrav, der stilles til produktet.

Oplysningerne er ingen garanti for produktets egenskaber.

Udarbejdet 10-08-08.

# Bilag K

# Poster

Poster udarbejdet til møde d. 18. november 2013.

# Alternativ Aske i Armeret beton

## Risiko for korrosion



18. November 2013

### Formål

Projektet undersøger hvorledes, **iblanding** af **slamaske** i beton, indvirker på **korrosionsmiljøet** for armeringsstålet.

Forsøgene gennemføres med **mørtelprøver**, med og uden indstøbte armeringsjern. Der foretages **Potentiale-måling** samt **visuel inspektion** af det indstøbte armeringsjern. Desuden undersøges det hvorledes mørtelens **porøsitet**, **kapillarsugning** og **diffusion** m.m. ændrer sig ved iblanding af asken.

Der foretages yderligere laboratorieforsøg på asken for at bestemme egenskaber som f.eks. vandindhold og pH.

### Baggrund

Cementproduktionen står for **5 %** af den samlede **CO<sub>2</sub>** udledning

Slamasken deponeres i øjeblikket pga. indhold af **miljøskadelige** stoffer og stoffer der i dag er anses for **sparsomme ressourcer**, såsom fosfor.

Er asken i stand til at erstatte en del af cementen vil det medføre store besparelser på CO<sub>2</sub> udledningen. Samtidig vil det kunne reducere størrelsen af deponi.

### Askekarakteristik

Askens egenskaber er blevet undersøgt gennem forskellige forsøg i laboratoriet.

Udover hvad der fremgår af tabellerne er asken undersøgt for indhold af tungmetaller (ICP), Leaching (ICP) og Kornstørrelse

Salt	Lynetten Ny-2	Lynetten Ny-1 <sup>1</sup>	Lynetten Depot-1 <sup>2</sup>
<i>Faststofindhold i mg/kg</i>			
Klorid Cl <sup>-</sup>	1697,1	96,5	1.332,0
Nitrat NO <sub>3</sub>	24,46	3,7	98,4
Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8553,5	10.232,4	12.962,2

<sup>1</sup> Data fra [Reiff and Meldgaard, 2013]

<sup>2</sup> Data fra [Carlsen and Petersen, 2013]

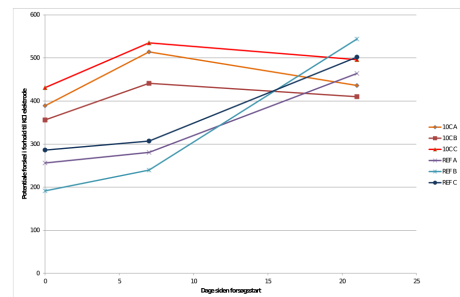
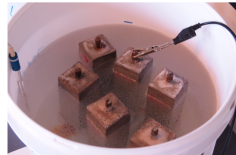
Forsøg	Enhed	Lynetten Ny-2	Lynetten Ny-1 <sup>1</sup>	Lynetten Depot-1 <sup>2</sup>
pH	—	12,54	12,45	8,29
Vandindhold	%	3,70	0,095	14,40
Glødetab	%	2,58	0,25	0,16
Ledningsevne	$\frac{ms}{cm}$	10,54	7,81	5,59
Vandopløselighed	%	5,28	5,12	0,83

<sup>1</sup> Data fra [Reiff and Meldgaard, 2013]

<sup>2</sup> Data fra [Carlsen and Petersen, 2013]

### Potentiale måling

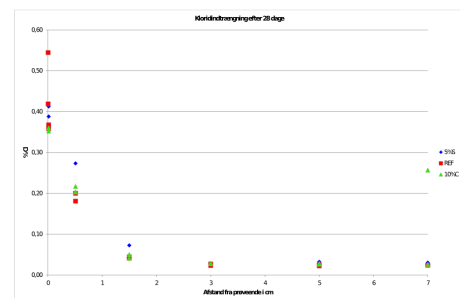
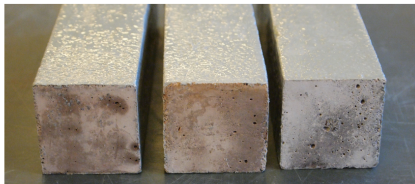
Mørtelprøverne med armering er placeret i en saltvandscyklus hvor de er hhv. 7 dage i saltvand og 7 dage i alm. luft. Formålet er at simulere splash-zonen ved f.eks. en bropille.



### Diffusion

Diffusionsprøverne blev mættet med destilleret vand og herefter lagt i saltvand. Prøverne var behandlet med epoxy på siderne således at kloriderne kun kan diffundere ind i betonen fra enderne.

Efter 28 dage blev 1/3 af prøverne taget op af vandet og kloridkoncentrationen ind igennem prøverne blev undersøgt.



### Kapillarsugning, Densitet og Porøsitet

Forsøg er under udførelse

**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)