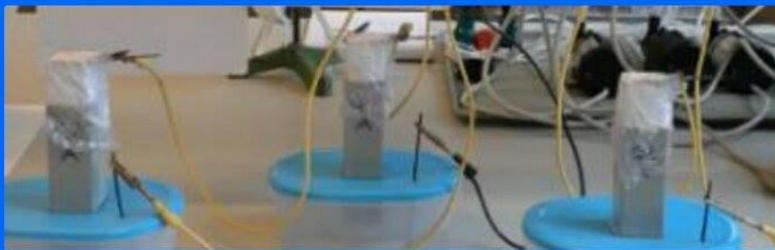


Slamaske i beton

Risiko for armeringskorrosion



Gonca Kurt, s112328

Kandidatspeciale

Institut for Byggeri og Anlæg

Forord

Denne rapport er et kandidatprojekt som er udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet, DTU. Projektet er foretaget i perioden fra den 1. september 2013 til den 31. januar 2014, hvor det er blevet vejledet af Lisbeth M. Ottosen. Projektet er på 30 ECTS point.

I rapporten undersøges der om hvilken virkning slammaske giver i beton, primært risiko for korrosion i en armeret beton. Målgruppen er studerende og undervisere på DTU.

I forbindelse med udførelsen af projektet skal der rettes en speciel tak til Lisbeth M. Ottosen. Hun skal have en stor tak for gode råd, vejledning og sparring under hele forløbet. Derudover rettes der også en særlig tak til Per Goltermann og Pernille Erland Jensen som medvejledere. Til at slutte med rettes en stor tak til Ebba Cederbergs Schnell, Louise Gammeltoft, Louise Birkemose, Kurt K. Hansen og Sabrina Madsen for at vejlede ved forsøgene, hvilket har været en stor hjælp i laboratoriet.

Rapporten er udført af Gonca Kurt.

Kongens Lyngby - DTU, d. 1. februar 2014

Gonca Kurt, s112328

Sammendrag

Slamaske er interessant at undersøge i forhold til betonblanding. Der kan både være fordele og ulemper ved at erstatte noget af cement med slamaske. En af fordelene med anvendelse af slamaske som cementerstatning er at det kan sænke CO₂-udledning fra cementproduktion, hvilket vil være mindre skadelig for miljøet. Derudover siver der mindre tungmetaller ud efter udvaskning af en mørtelprøve med slamaske end en referenceprøve uden slamaske, hvilket vil føre til et grønnere miljø. Desuden er det dyrt at komme af med slamaske til deponi, da der er pålagt deponeringsafgift. Således vil anvendelsen af slamaske i betonblandinger reducere udgifterne til bortskaffelse. Ulempen er at slamaske fra Avedøre I/S giver betonen en rødlig farve pga. et høj jern-indhold, hvilket ikke altid vil se pænt ud pga. æstetiske aspekter. Alt i alt er der både økonomiske og miljømæssige fordele ved brug af slamaske, derfor er det interessant at undersøge nærmere omkring dette.

I dette projekt blev forskellige forsøg udført i laboratoriet med slamaske fra Avedøre Spildevandscenter. Slamasken har ikke stået i depot, derfor er det en ny aske som kommer direkte fra ovnen. Slamasken blev før anvendelse knust med en ringknuser, da nogle studerende i tidligere DTU-projekter har vist at det kunne være mere effektivt i forhold til betonstyrken. Knust aske giver finere struktur med mindre kornstørrelse, så det fylder de små huller i betonen bedre. Dette vil medføre et større indre overfladeareal på mørtelprøverne, hvilket kan i princippet adsorbere mere klorid. Der kan opstå en pozzolanreaktion, når slamaske trænger ind i cement og møder kalciumhydroxid Ca(OH)₂. Knusning af slamaske nedsænker askens vandbehov.

Der blev lavet askekaraktistik for slamasken, da det indeholder tungmetaller og salte. Tungmetaller kan være farlige pga. deres giftighed, og salt kan medføre korrosion i en armeret beton. Derudover er der undersøgt for trykstyrke, korrosion og diffusion af klorid i forskellige mørtelblandinger med erstatning af slamaske. Der vil undersøges om mørtelprøverne med slamaske giver en anden virkning end referenceprøverne. Korrosion og diffusion forsøgene er ikke undersøgt før, derfor vil der være fokus på dette område, da det er vigtigt for en betons holdbarhed. Det primære formål med dette projekt er at finde ud af om man kan erstatte cement eller tilslag med slamaske i mørtelblandingerne uden at det giver et dårligere betonkvalitet end referenceprøverne. Der undersøges hvilken virkning slamaske giver i beton – både med og uden armeringsjern. I dette projekt arbejdes der med mørtelprøver, og ikke betonprøver. Slamaske blev erstattet med 5 % af sand og 10 % af cement i forskellige mørtelprøver, som blev stillet op mod referenceprøverne. Derudover vil resultaterne i dette projekt sammenlignes med tidligere DTU-projekter.

Ud fra laboratorieforsøgene blev det fundet at nogle tungmetaller i slamasken ikke overholder krav til totalkoncentration for kategorien for anvendelse til et bygge- og anlægsarbejde (kategori 1) i miljøstyrelsen bekendtgørelse, men at det overholder kategori 2 hvor det gælder for begrænsede områder. I projektet blev der også udført et forsøg med udvaskning af tungmetaller fra mørtelprøver, hvilket overholdte alle grænseværdierne for kategori 1. Der blev udvasket mindre tungmetaller fra mørtelprøver med slamaske end referenceprøver, hvilket indikerer at anvendelse af slamaske i beton ikke vil være problematisk. Derudover overholdt kloridindholdet i slamasken også kravene fra normerne, hvilket er vigtigt med hensyn til korrosion i en armeret beton. Derudover blev det fundet at pH værdien er basisk som beton. Yderligere overholder slamasken også kravet for glødetab som er under 5 % af massen.

Ud fra trykstyrketest blev det fundet at prøverne med slamaske har en lidt højere trykstyrke end referenceprøverne efter 28 dages hærdning, hvilket er godt i forhold til delvist at erstatte cement med slamaske. I tidligere DTU-projekter er der lavet flere forskellige trykstyrketests med hensyn til slamaske i mørtelprøver. De viste, at visse blandinger af mørtelprøver gav en bedre styrke i forhold til referenceprøverne, hvilket stemmer ens med dette projekt. Dette diskuteres nærmere i afsnittet med "Resultater og Diskussion".

Under korrosionsforsøgene blev der arbejdet med både Elektrokemisk Potentiale måling (EKP) og visuel undersøgelse, hvor mørtelprøver blev udsat for luft-saltvandscyklus. Forsøget med EKP viste at mørtelprøverne lå i et korrosionsrisiko område, men der blev ikke set noget rust på armeringsstængerne i mørtelprøverne ved visuel undersøgelser, hvilket er godt da mørtelprøverne med slamaske ikke blev korroderet efter ca. 2 mdr. i saltvand. Slamaskens klorid-ioner har ikke været en ulempe i forhold til referenceprøverne uden slamaske. EKP værdierne af mørtelprøverne med slamaske lå over 650 mV allerede efter en uge, hvilket svarer til at der er 90 % korrosionsrisiko i dette område, hvorimod referenceprøverne først lå over korrosionsgrænsen efter ca. 3 uger. Dette forsøg kunne forlænges i flere måneder for at se et mere præcis resultat for korrosion.

Under diffusionsforsøgene blev der både arbejdet med et forsøg uden påtrykning af elektrisk strøm og et forsøg med påtrykning af elektrisk strøm (migration) for at klorid-ioner trænger hurtigere ind i mørtelprøven. I forsøget uden påtrykning af strøm ses der usikkerheder, da klorid-ioner ikke trænger mere end 1-2 cm ind i mørtelprøverne og kan derfor ikke konkludere noget præcist. Til gengæld ses der ud fra den accelererende metode (med påtrykning af strøm) at klorid-ionerne trænger op til 8 cm ind i hver mørtelprøve, hvor det resulterede i at referenceprøverne optager mere klorid end askeprøverne, hvilket betyder at slamaske er endnu en god grund til at anvende i betonblanding.

På baggrund af ovenstående kan det konkluderes at slamaske giver flere fordele end ulemper i en mørtelprøve, da den rigtige blanding kan give en mørtel en højere styrke, en bedre økonomi og en miljøgevinst. Dette arbejde har afdækket endnu en vigtig faktor, korrosion, og der er ikke set tegn til, at slamasken ikke kan anvendes i armeret beton.

Summary

Incinerated sewage sludge ash (ISSA) is interesting to investigate in relation to the concrete mix design. There are both advantages and disadvantages of adding ISSA in the concrete mixture. One advantage of ISSA is that it reduces CO₂ emission of cement production, reducing the environmental emission. In addition, leaching of a mortar sample with ISSA yields less heavy metal, than a reference sample without ISSA, which will lead to a greener environment. Moreover, disposal of ISSA in landfill is often expensive because of the imposed landfill taxes. Thus, the use of the ISSA in concrete mixtures reduces the disposal expenses. On the other hand, a disadvantage is that ISSA from Avedoere I/S gives the concrete a reddish color due to its high iron content, which might be undesirable due to aesthetic concerns. All in all, there are both economic and environmental benefits of the use of ISSA, therefore it is interesting to investigate in more detail.

In this project, various experiments were performed in the laboratory with ISSA received from the sewage treatment plant, Avedoere. The ISSA used in these experiments comes directly from the oven, and thus, has not been stored in a depot, which could affect its composition. In order to boost the efficiency of ISSA in increasing the compressive strength of the concrete, it was first milled with a ring crusher. Milled ash becomes more packed so it fills the small holes in the concrete better. This will lead to a greater surface area for the mortar samples, which will absorb less chlorine. A pozzolanic reaction might occur if ISSA penetrates into the cement and reacts with calcium hydroxide Ca(OH)₂. The milling of ISSA decreases the amount of water needed in the ash. ISSA contains heavy metals and salt. Heavy metals can be dangerous due to their toxicity, where, salt can lead to corrosion in reinforced concrete. Therefore, the characteristics of ISSA are examined, detecting the proportions of these substances. In addition, mortar mixtures containing different proportions of ISSA were analyzed for compressive strength, corrosion and diffusion of chloride. The results for the mortar samples containing ISSA were compared with the results for the reference samples. These corrosion and diffusion experiments had not been conducted before, therefore this study focuses on this area since it is important for the durability of concrete. The purpose of this project is to investigate whether the cement or aggregates can partially be replaced with ISSA in mortar mixtures without yielding a worse concrete quality than the reference samples. The effects of ISSA were investigated on concrete samples with and without steel. ISSA was replaced with 5% of sand and 10% of cement in different samples, which were compared with the reference samples. In addition, the results of this project were compared with previous DTU projects.

The laboratory experiments revealed that, ISSA contains a concentration of heavy metals, which renders it incompatible with Category 1 defined by the Danish act 1662, the category of substances allowed in any construction work. The composition of ISSA, however, complies with Category 2, the substances that can be utilized in limited areas. A set of leaching experiments for the heavy metals in the mortar samples were also performed, where ISSA was observed to comply with the Category 1 requirements. There were less heavy metals leached from mortar samples with ISSA than the reference samples, which indicates that the use of the ISSA in the concrete will not be problematic. Additionally, the chloride content in ISSA was also observed to match the requirements of the standards, which is important in regard to corrosion in reinforced concrete. Also, the pH value of ISSA is observed to be alkaline, as concrete. Furthermore, the loss on ignition for ISSA is found to be less than 5% of the mass, which satisfies the standard limits.

During the compressive strength test, it was found that the samples with ISSA had a higher compressive strength than the reference samples after 28 days of curing. In previous DTU projects, several compressive strength tests on mortar samples with ISSA were performed. They showed that certain mixtures of mortar samples yielded a higher strength than the reference samples, which is consistent with the results of this study. This is discussed in more detail in the section "Results and Discussion".

The performed corrosion tests included measurement of electrochemical potential (ECP) and visual inspection. The ECP measurements surfaced that the mortar samples were in the corrosion risk range, yet no rust was detected on the reinforcement in the concrete by visual inspections. Thereby, the mortar samples with ISSA were not corroded after approximately 2 months in salt water. Chloride ions dispensed from ISSA did not seem to deteriorate the results, compared to the reference samples without ISSA. The ECP values of the mortar samples with ISSA were above 650 mV already after one week, which corresponds with a 90% risk of corrosion, whereas the reference samples were above the corrosion limit after approximately 3 weeks. This experiment needs to be extended for several months to obtain more accurate results.

The diffusion tests were repeated without and with electric current (migration), accelerating the chloride penetration into the mortar samples. In the absence of electric current, the chloride ions did not penetrate more than 1-2 cm into the mortar samples, which makes it impossible to deduct a precise conclusion. On the other hand, it is observed that the accelerating method (with electric current) penetrates the chloride ions up to 8 cm into the each mortar sample. In this case, the reference samples absorbed more chloride than the ash samples, which is a good reason for the use of ISSA in concrete mixtures.

On the basis of the above, it can be concluded that ISSA can be advantageous to use in a mortar sample, as the right mortar mixture can provide a higher strength, a better economy and an environmental benefit. In terms of corrosion, which is an important factor in this study, there were found no indication to make the utilization of ISSA in reinforced concrete inconvenient.

Indholdsfortegnelse:

FORORD	1
SAMMENDRAG	2
SUMMARY	4
1. INTRODUKTION	10
1.1. Formål:.....	10
1.2. Slammaske:.....	10
1.3. CO ₂ -udledning:	10
1.4. Erstatning af cement med slammaske:.....	10
1.5. Fordele og ulemper:.....	11
1.6. Rapporten og dens opbygning:	11
1.7. Tidligere forskning med slammaske i beton	12
2. TEORI	15
2.1. Beton	15
2.1.1. Sammensætning	15
2.1.2. Cement.....	16
2.1.3. Tilsætningsstoffer	16
2.1.4. Tilslag	17
2.1.5. Strukturudvikling.....	17
2.1.6. Styrke	18
2.2. Slammaske	19
2.2.1. Miljømæssige- og økonomiske fordele	19
2.2.2. Tungmetaller og salte	20
2.2.3. DS/EN 450 – 1 og DS/EN 206 – 1	20
2.2.4. Fosfor og andre elementer	21
2.2.5. Askekarakteristik.....	22
2.3. Korrosion	22
2.3.1. Korrosionsformer	22
2.3.2. Elektrokemisk proces for korrosion	23
2.4. Diffusion & Migration	24
2.4.1. Diffusion.....	24

2.4.2.	Ficks love	25
2.4.3.	Migration	26

3. BESKRIVELSE AF EKSPERIMENTELT ARBEJDE..... 28

3.1. Askekarakteristik29

3.1.1.	Indhold af mikro og makro elementer	29
3.1.2.	Vandopløselighed og vandindhold	30
3.1.3.	Ledningsevne og pH-målinger	30
3.1.4.	Glødetab	31
3.1.5.	Vandopløselige anioner	31
3.1.6.	Leaching	31
3.1.7.	SEM og Mapping	32
3.1.8.	Kornstørrelse (Laserdefraktrometer).....	32

3.2. Materialeprøvning33

3.2.1.	Mørtelstøbninger	33
3.2.2.	Trykstyrke	35
3.2.3.	Leaching	35

3.3. Korrosion36

3.3.1.	Potentiale måling:	36
3.3.2.	Visuel måling:.....	38

3.4. Diffusion39

3.4.1.	Kloridtest - med påtrykning af strøm.....	39
3.4.2.	Kloridtest - uden påtrykning af strøm.....	45

4. RESULTATER OG DISKUSSION 47

4.1. Karakteristik af asken.....47

4.1.1.	Avedøre slamaske sammenlignet med tidligere projekter	47
4.1.2.	Vandindhold og vandopløselighed	47
4.1.3.	pH-målinger og ledningsevne	48
4.1.4.	Glødetab	48
4.1.5.	Tungmetaller og salte	48
4.1.6.	Scanning Elektron Microscopy (SEM) and Mapping	51
4.1.7.	Kornstørrelse:	53

4.2. Materialeprøvning54

4.2.1.	Trykstyrke	54
4.2.2.	Leaching	55

4.3. Korrosion56

4.3.1.	Potentiale måling:	56
4.3.2.	Visuel måling:.....	57

4.4.	Diffusion	60
4.4.1.	Kloridtest - med påtrykning af strøm	61
4.4.2.	Kloridtest - uden påtrykning af strøm	64
4.4.3.	Sammenligning imellem diffusionsforsøgene	67
5.	GENEREL DISKUSSION/OPSUMMERING.....	68
5.1.	Videreforskning	69
6.	KONKLUSION	70
7.	LITTERATUR.....	71
8.	BILAG.....	74
8.1	Tidsplan over forsøgene.....	75
8.2	Forsøgsvejledning for askekarakteristik	76
8.2.1	pH i 1 M KCl opslemning. Jord-væske forhold 1:2,5.....	76
8.2.2	Vandindhold i jord	78
8.2.3	Oplukning af jordprøve efter DS 259	80
8.2.4	Glødetab i jord	83
8.2.5	Måling af ledningsevne i jord	85
8.2.6	Vandopløselighed.....	87
8.2.7	Vandopløselige anioner.....	88
8.2.8	Leaching	89
8.2.9	Knusning af aske	89
8.3	Forsøgsvejledning for mørtelstøbning.....	90
8.3.1	Beskrivelse af mørtelstøbning	90
8.3.2	Leaching	90
8.4	Forsøgsvejledning for at finde kloridindhold.....	91
8.4.1	Syreoplukning på hærdet beton	91
8.4.2	Bestemmelse af klorid ved titrering.....	92
8.5	Forsøgsvejledning for epoxymaling	96
8.6	Data fra askekarakteristik	97
8.6.1	Data fra laboratoriet	97
8.6.2	Data fra ICP-målinger – Avedøre Ny - 2	98
8.6.3	Data fra IC-målinger – Avedøre Ny - 2 (vandopløselige anioner).....	98
8.6.4	Data fra kornstørrelse	99
8.6.5	Data fra SEM og Mapping	116
8.7	Data fra mørtelprøvning	118
8.7.1	Trykstyrke.....	118
8.7.2	ICP-målinger fra leaching af mørtelprøver	119

8.8	Data fra korrosionsforsøgene.....	120
8.8.1	Potentialemålinger (EKP-målinger)	120
8.9	Data fra diffusionsforsøgene.....	121
8.9.1	Diffusion af klorider – med påtrykning af elektrisk strøm	121
8.9.2	Diffusion af klorider – uden påtrykning af elektrisk strøm	137
8.9.3	Billeder af knust og ikke-knust mørtelprøver	141
8.10	Billeder fra epoxymaling	142
8.11	Sammenligning af slamaske fra Avedøre I/S og slamaske fra Lynette I/S	162
8.12	Sammenligning af referenceprøver og askeprøver fra Avedøre I/S	162
8.13	Poster præsentation fra mødet d. 18/11 2013	163

1. Introduktion

1.1. Formål:

I denne rapport undersøges der om hvilken virkning slamaske giver i beton – både med og uden armeringsjern. Der laves forskellige undersøgelser med slamaske fra Avedøre Spildevandscenter. For slamasken laves der en askekaraktistik. Derudover undersøges der for trykstyrke, korrosion og diffusion af klorid for forskellige mørtelblandinger.

1.2. Slammaske:

Slamasken stammer fra Avedøre Spildevandscenter, som er hentet d. 14/6 – 2012. På DTU finder man asken som "Avedøre 2", da det er anden omgang der arbejdes med slamaske fra Avedøre. Slamasken kommer fra spildevand, hvorimod flyveaske som i dag anvendes i beton kommer fra kulforbrænding. Slammaske er den aske der er tilbage efter forbrænding af slam [Ottosen, 2014]. Under dette projektforsøg har der været andre grupper fra DTU-Byg som har arbejdet med slamaske fra Lynette I/S, hvor slamasken både blev hentet fra depot [Rem, 2014] og direkte fra ovnen [Andreasen og Jørgensen, 2014]. Sidste år har der været nogle andre grupper fra DTU-byg som har arbejdet med slamaske, men korrosionsmiljøet har de ikke undersøgt i deres rapporter [Ottosen et al., 2013-1]. Derfor er dette projekt en ny undersøgelse som ikke er blevet set før. Der findes ingen standarder for slamasken endnu, derfor tages der udgangspunkt i sidste års rapporter med slamaske og standarderne for flyveaske.

1.3. CO₂-udledning:

CO₂ stiger mere og mere i atmosfæren for hvert eneste år i den moderne verden. Det skyldes bl.a. udnyttelsen af den oplagrede energi i fossilt brændstof. CO₂ opstår ved enhver forbrænding af fossile brændstof [Sodapatrone, 2009]. Cement er en af grundene til at der udledes CO₂. Cement er et produkt som bliver brugt mere og mere i den moderne verden, da beton er et foretrukket materiale i fremtidens byggerier. Fremstillingen af cement udleder CO₂, hvilket stammer både fra almindelig forbrænding af brændsel og en kemisk proces (kalcinering) [Hasholt og Mathiesen, 2002]. I øjeblikket stammer omkring 5% af de globale menneskeskabte CO₂ udledninger fra cementproduktionen, hvilket ønskes at reduceres [Ottosen et al., 2013-1].

1.4. Erstatning af cement med slammaske:

I det seneste år blev der undersøgt om slammaske kan erstatte noget af cement indholdet uden det gav et dårligere resultat for betonstyrken [Carlsen and Petersen, 2013], [Reiff and Meldgaard, 2013] og [Rosenmai and Svendsen, 2012]. Disse studerende kom frem til at knust aske fra Lynette I/S og Avedøre I/S gav en positiv virkning i forhold til betonstyrken, hvilket skyldes at asken bliver mere pakket så det fylder de små huller i betonen bedre. Findeling af knust aske vil medføre større overfladeareal på mørtelprøverne, hvilket betyder at der i princippet kan adsorberes mere klorid. Der vil evt. også opstå en pozzolan reaktion, når slammaske trænger ind i cement og møder calciumhydroxid Ca(OH)₂. Det er endnu ikke sikkert om slammaske virker som pozzolan, da knust aske også kan virke som filler-effekt. Erstatning med slammaske vil formindske CO₂-udledningen, hvilket vil blive mindre skadelig for samfundet og miljøet.

Der er fortsat en række ukendte forhold omkring slamaskens virkning i beton, derfor er der behov for at arbejde videre med dette område. Indtil videre er der undersøgt om styrkeegenskaber i beton, men der mangler yderligere undersøgelser omkring korrosionsmiljøet i forhold til slammaske i armeret beton, hvilket vil undersøges i denne rapport. I rapporten undersøges mørtelprøver som reference prøver, erstatning af

5% sand med aske og erstatning af 10% cement med aske. Det kan være relevant at erstatte aske med noget af cementen i fremtidens bygninger, derfor udarbejdes denne rapport.

1.5. Fordele og ulemper:

Der kan både være fordele og ulemper ved brug af slamaske som erstatning af cement. Fordelene ved brug af slamaske er at CO₂ udledning sænkes, og at man kan spare på økonomien. Det kan være dyrt at deponere slamaske til deponi, da det koster 650 kr. pr. ton. [Ottosen, 2014]. Derudover kan slamaske være fosforkilde, da det indeholder ca. 10 % fosfor, fosfor kan hermed udtrækkes af asken på en økonomisk måde [Cyr et al., 2007]. For at benytte disse fordele skal man være opmærksom på at asken ikke indeholder giftige stoffer som kan skade miljøet og selve betonens kvalitet. Betonen kan få en mere rødlig farve pga. askens indhold med et høj Fe-indhold, hvilket ikke altid vil se pænt ud for samfundet. Det skal bemærkes at der kan være forskel på resultater for enhver slags slamaske, derfor skal man være opmærksom på deres specifikke egenskaber og være klar over at man ikke kan overføre resultater direkte mellem dem [Ottosen et al., 2013-1].

1.6. Rapporten og dens opbygning:

I rapporten arbejdes der med askekaraktistik, hvor slamasken bliver analyseret nærmere i forhold til vandindhold, pH, ledningsevne, glødetab og askens indhold af elementer mht. tungmetaller som kan være skadelige for miljøet. Derudover undersøges trykstyrken i forhold til de forskellige mørtelblandinger, hvor der undersøges om asken giver en bedre styrke i forhold til reference prøverne uden slamaske. Dernæst undersøges der for korrosionshastigheden for armering i mørtelblandingerne, for at se om askens kloridindhold påvirker mørtelprøverne i forhold til referenceprøverne. Armeringsjernet undersøges med EKP-måling og visuelt undersøgelse i det værste miljø tilfælde, dermed kan man se hvilket miljø der vil være gunstig eller ugunstig for betonen. Til sidst undersøges askens betydning for diffusion af klorid, hvor der måles for kloridindhold i mørtelprøverne efter de har stået i saltvand i forskellige perioder. Diffusion af klorid undersøges med både påtrykning af elektrisk strøm og uden påtrykning af elektrisk strøm. Med påtrykning af strøm sørges der for kloridindtrængningen sker hurtigere i mørtelprøverne – der vil være tale om migration. Og uden påtrykning af strøm står mørtelprøverne i en kasse med stillestående saltvand hvor klorider trænger ind i mørtelprøverne lige så stille med tiden – på den naturlige måde med diffusion.

Rapportens opbygning er på følgende måde:

1. Introduktion:

I introduktionsafsnittet beskrives formålet med projektet, en beskrivelse om hvorfor det er nødvendigt at udføre disse forsøg, en beskrivelse om hvad det handler om og rapportens opbygning. Derudover skrives der om tidligere forskning, som er relevant for dette projekt. I dette afsnit gives der et objektivi overblik og baggrundsviden i forhold til projektet.

2. Teori:

I teori afsnittet beskrives de relevante teorier med hensyn til rapporten. I dette afsnit beskrives generelle teorier mht. i rapporten, hvorimod der vil være en mere uddybende forklaringer og teorier til ethvert forsøg i afsnittet med "Beskrivelse af eksperimentelt arbejde". Det er vigtigt at vide baggrunden for de anvendte materialer og deres indflydelse på selve forsøget og miljøet.

3. Beskrivelse af eksperimentelt arbejde:

I afsnittet med eksperimentelt arbejde beskrives først og fremmest formålet og teorien for hvert enkelt forsøg og derefter beskrives fremgangsmåden og metoderne kort for de tidligere udførte forsøg hvor forsøgsbeskrivelserne vil ligge i bilag. Derudover vil de nye forsøge, som er udviklet under projektet, blive beskrevet gennemførligt fra start til slut med tilhørende billeder og figurere.

4. Resultater og diskussioner:

I afsnittet med resultater og diskussion beskrives resultaterne for hvert enkelt forsøg med tilhørende tabeller eller figurere, og derefter diskuteres resultaterne for hvert forsøg. Tilhørende rådata findes i bilag.

5. Generel diskussion/opsummering:

I diskussion afsnittet diskuteres generelt alle resultater med hinanden, derudover diskuteres resultaterne med hensyn til de tidligere projekter og selve samfundet. Til sidst gives forslag til videre forskning, som kunne være interessant at undersøge i fremtiden.

6. Konklusion:

Her konkluderes generelt på alle resultater fra forsøgene, og disse sammenholdes i forhold til samfundet og det konkluderes hvad den bedste løsning vil være for fremtiden.

1.7. Tidligere forskning med slamaske i beton

Inden projektets forløb og under projektets forløb blev der læst flere artikler, tidligere projekter, bøger og standarder. De udvalgte artikler som er relevante i forhold til dette projekt gennemgås i dette afsnit. Først og fremmest beskrives formålet for hver artikel og hvad de er kommet frem til, og ud fra hver artikels konklusion vil der fokuseres på næste skridt mht. dette projekt. Artiklerne bruges for at definere denne opgave.

I de seneste år er slamaske i beton blevet undersøgt. Der har været forskellig forskning omkring dette område for at se om man kan bruge slamaske i beton.

I artiklen med "Sewage sludge ash as cement replacement after simple pretreatment", [Ottosen et al., 2013-1] beskriver de resultaterne fra tidligere arbejde af nogle studerende fra DTU. I artiklen undersøges fire forskellige asketyper, hvor der er bl.a. slamaske (SSA) fra både depot og direkte fra ovn. I artiklen kom de frem til at knust slamaske i beton generelt giver en bedre trykstyrke i forhold til reference prøverne. De kom frem til at efter 7 dages hærkning var mørtelprøverne med de forskellige asker meget ens i forhold til trykstyrke, dermed kom de også frem til at trykstyrken ved erstatning af 20 % cement var lavere end 10 % cement, hvor begge er til gengæld lavere end reference prøverne uden aske. Efter 28 dages hærkning kom de frem til at de forskellige prøver gav forskellige resultater fra hinanden, hvor det kunne konkluderes at erstatning af aske med cement giver faktisk en bedre trykstyrke, og at erstatning af 10 % cement med aske gav den højeste styrke end dem alle. Ved knust aske bliver styrken forbedret, hvilket enten kan skyldes pozzalanisk aktivitet med større overfladeareal eller fyldstof effekt, det er endnu ikke afklaret. Derudover er asken også rig på Al hvilket skyldes af virkningen af den høje opløselighed. Alt i alt kan man ud fra denne artikel sige at man ikke kan generalisere de forskellige asker med hinanden, da egenskaberne er forskellige fra hinanden derfor evalueres de separat. I denne rapport vil der blive anvendt slamaske fra Avedøre I/S,

som bliver knust med en ringknuser inden forsøgene bliver gennemført, da det har vist at det giver en bedre styrke. Da de i denne artikel ikke har undersøgt for korrosion og diffusion af klorid med erstatning af slamaske i beton, vil disse også undersøges i denne rapport. Det er nemlig vigtigt at vide hvor meget klorid betonen optager med og uden slamaske, da det har en betydning for armeret beton hvilket kan medføre korrosion.

I artiklen med "Extracting phosphorous from incinerated sewage sludge ash rich in iron or aluminium", [Ottosen et al., 2013-2] har de sammenlignet to forskellige slamasker fra mono-forbrænding af spildevandsslam (ISSA) for syreekstraktion for fosfor (P) opsving, hvor enten Al eller Fe blev anvendt til fældning af P. Den ene aske blev rig på Al og den anden aske blev rig på Fe, hvor det endte med at asken med mest Al krævede betydelige mere syre til ekstraktion af P. Slamasker fra ISSA indeholder generelt høje koncentrationer af fosfor (P). Dermed kunne man konkludere at for at opnå den laveste syre forbrug foretrakkes Fe i stedet for Al til fældning af P ved spildevandets rensningsanlæg, og koncentrationen af tungmetaller i de to aske var lave. Koncentrationen af P faldt mens metal koncentrationen generelt steg i væske fasen. Ud fra denne artikel kan det konkluderes at der findes grundstoffer som anses for værende ressourcer, her er det bl.a. fosfor der har en stor betydning. Derfor er der begyndt at undersøge om slamaske kan bruges i fremtidens byggerier som tilsætning i beton for at forhindre affaldsproblemet.

I artiklen med "Effect of milling and acid washing on the pozzolanic activity of incinerator sewage sludge ash" [Donatello et al., 2010] har de undersøgt slamaskes betydning når det bliver knust og syrevasket mht. dens pozzolanske egenskaber. De har arbejdet med slamaske (ISSA) som er et problematisk affald, der indeholder betydelige niveauer af fosfater. Fosfat er en værdifuld begrænset ressource, og en række undersøgelser har vist, at det kan udvindes fra ISSA af syrevask. Dette frembringer en syrevasket rest, som har potentiale til at blive brugt i byggevarer. Pozzolanisk aktivitet blev testet med Strength Activity Index (SAI) og Frattini test, hvilket endte med at Frattini test betragtes som en mere velegnet metode til at vurdere pozzolanisk aktivitet. Derudover kan man også se i artiklen at knust aske giver en bedre styrke når det tjekkes for styrke aktiviteten i forhold til ikke knust aske og syrevasket aske. Syrevasket aske giver også en bedre styrke i forhold til ikke knust aske. Derfor er der en endnu en grund til at knuse asken inden det bliver brugt videre til forsøgene.

En endnu en artikel med "Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties" [Pan et al., 2003] undersøgte mulighederne for at forbedre mørtelegenskaber med knust slamaske (SSA). De kom frem til at slamaske er et genbrugsmateriale som kan bruges i cementmørtel som pozzolan. De konkluderede at når finheden af slamaske øges, øges anvendeligheden af SSA mørtel også, hvilket skyldes dens filler effekt og morfologi forbedring. Derudover bliver trykstyrken af SSA mørtelen øget, hvilket kunne skyldes forbedring af pozzalan aktivitet. Ud fra denne artikel kan det endnu engang bevises at knust aske kan være en god løsning til at forbedre SSA mørtelegenskaber.

Der har været mere forskning omkring slamaskens virkning for beton. En anden artikel med "Study cement mortar and concrete made with sewage" [Chang et al., 2010] har undersøgt virkningen af forskellige mængder af spildevandsslam aske i cementmørtel og beton. Ud fra deres eksperimentelle arbejde kan det konkluderes at når en del af cement bliver erstattet med slamaske kan det have en potentiale pozzolansk aktivitet, hvilket vil øge styrken. Derudover konkluderes det at mørtelprøver efter 28 dages hærdning med erstatning af 10 % slamaske med cement vil igen give en bedre trykstyrke og beslutter at det kan anvendes til armeret beton som kan reducere brugen af cement. I denne rapport arbejdes der derfor også med

erstatning af 10 % slamaske med cement, når der skal tjekkes for både trykstyrke, korrosion og diffusion af klorid.

Artiklen "Sewage sludge combustion" [Werther og Ogada, 1999], undersøger primær slamaskens egenskaber. Der beskrives bl.a. at slamaske bliver brændt for at begrænse mængden der skal til deponi og fordi det generer strøm. Ud fra denne artikel kan det konkluderes at der skal tages hensyn til enhver anlægs slam, da det kan være varierende fra slam til slam. Det kommer meget an på hvilken type husstande eller industri spildevandsanlægget servicerer. Derudover beskriver artiklen: "Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials" [Cyr et al., 2007] også om slamaskens (SSA) egenskaber og dens virkning på egenskaberne af cementbaserede materialer, hvilket benyttes i denne rapport.

Der har været andre artikler som ligner disse, hvor der bl.a. også undersøges for slamaske som blandes med andre affaldsasse [Yen et al., 2012]. I de fundne artikler er det indtil nu vist hvordan i blandingen af asken påvirker styrke egenskaber i beton, og om slamasken virker som pozzalan eller filler effekt.

Derudover er der også læst andre artikler som handler om diffusion. Artiklen med diffusion og migration hedder "Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete – current development" [Tang, 1996]. Artiklen beskriver den teoretiske baggrund for elektrisk accelererede metoder og udviklingen af de metoder som er blevet udført ved Chalmers University of Technology. L. Tang undersøger klorid indtrængning for armeret beton, da det er vigtigt at sørge der ikke trænger meget klorid ind i en armeret beton pga. korrosion dannelse som kan påvirke holdbarheden for betonen. I artiklen kommer Tang frem til at testperioden med elektrisk accelererede metoder kan gøres på en kortere periode end at lade prøverne stå i saltvand og optage klorid på den naturlige måde med diffusion. Derudover kommer han bl.a. også frem til at man også kan bruge unikke værktøjer til at bestemme diffusivitet af kloridioner i beton med hensyn til indflydelse af elektrostatisk begrænsning af diffusion af ioner.

I denne rapport udføres en lidt anderledes metode end L. Tang i forhold til diffusion af klorid. Der vil undersøges for kloridindtrængning når der er ler med højt karbonatindhold på toppen af prøverne, hvilket vil forhindre syre i mørtelprøverne når der påtrykkes elektrisk strøm. Syre ønskes nemlig ikke i betonen, da calciumhydraxid vil ellers gå i opløsning. Derefter kan det konkluderes hvilken mørtelblanding der giver det bedste resultat i forhold til kloridindtrængning.

Ud fra flere forskellige artikler vedr. slamaske, kan det konkluderes at det er en god idé at knuse asken, hvilket giver en bedre styrke i forhold til ikke knust aske. Det vides endnu ikke entydigt hvorfor, men enten kunne det være pga. pozzolanisk effekt eller fordi knust aske fylder mere i de små huller, hvilket pakker bedre sammen som filler effekt, eller pga. en kombination af de to effekter. På baggrund af disse tidligere forsøg ses det, at der er potentiale i at anvende slamaske i beton set ud fra et styrkemæssigt synspunkt. Det er nu relevant at undersøge korrosionsforholdene i beton med slamaske, hvilket vil udføres i denne rapport.

2. Teori

2.1. Beton

Beton er et meget brugbart materiale i fortidens, nutidens og fremtidens samfundsliv. Det startede i år 120-125 e. Kr. med romerne som byggede den stadig eksisterende Pantheon-kuple i Rom. Fremstillingen af cement og beton blev glemt igen i en periode i folkevandringstiden, men vendte tilbage igen i begyndelse af det 19. århundrede med udvidelse af fortidens beton. Opfindelsen af "Portlandcement" stammer fra 1824. Betonmaterialets anvendelse stiger for hvert år for forskellige formål i byggeriet, dermed udnyttes det også til form og overflade, som materialet rummer. Beton er et uorganisk materiale, hvor det i startfasen er i frisk tilstand. I frisk tilstand føles betonen plastisk og formbart, hvorimod i slutfasen føles betonen hård og stenagtig med høj trykstyrke [Nepper-Christensen et al., 1985].

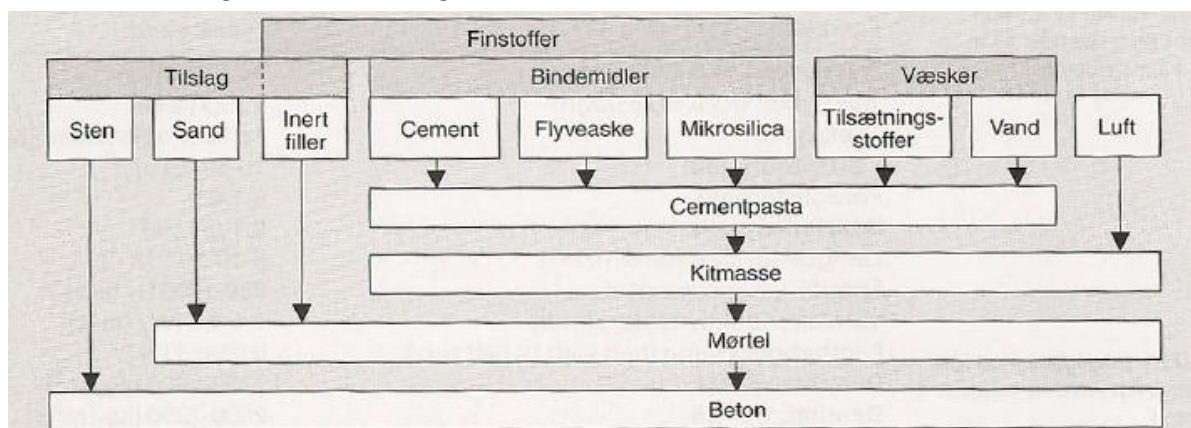
2.1.1. Sammensætning

I dag er beton det mest brugte byggemateriale, da det bl.a. kan formes som det ønskes i startfasen og fordi det er billigere end de fleste byggematerialer. Derudover har den også gode egenskaber i hærdet tilstand, som i kombination med stålarmering kan bruges til bl.a. huse, veje og broer [Geiker et al., 2008].

Beton består af sten og sand, der er kittet sammen med cementpasta. Cementpasta er her en blanding af cement og destilleret vand, og deres reaktionsprodukter. Tilslagsmateriale (sand, sten og grus) vil udgør ca. 75 % af betonens samlede rumfang. [Geiker et al., 2008]. Betonblandingen navngives efter det materiale man anvender ved tilslag. Det skal noteres at der anvendes destilleret vand, da noget andet vand såsom saltvand kan påvirke holdbarheden af især en armeret beton mht. korrosion dannelse. Dette kan læses nærmere om i afsnit 2.3.

Beton kan fremstilles af alle hydrauliske bindemidler. I dag produceres cement som et bindemiddel. Bindemiddelfasen dannes ved reaktion mellem vand og mineralske bindemidler. Portlandcement er en af de mest anvendte, hvilket også er et hydraulisk bindemiddel. Hydraulisk bindemiddel afbinder og hærdner med vand til stede. Portlandcement anvendes ofte med andre mineralske pulvere, såsom flyveaske, mikrosilica, pulveriseret kalksten eller formalet højovns slagge. Nogle dele af cementen kan erstattes med flyveaske eller mikrosilica som virker som puzzolan effekt, hvilket vil reagere med calciumhydroxid og dannes som produkter. Puzzolaner tilsættes for at optimere betonen [Geiker et al., 2008].

Nedenunder ses en figur over faserne og delmaterialerne i beton:



Figur 2.1: Sammensætning af beton [Geiker et al., 2008]

2.1.2. Cement

Cement er et kendt materiale fra fortiden. Cement stammer fra et latinsk ord "cementum". Oprindeligt stammer det fra ordet "caedimentum", hvilket betød kvadersten. Derefter brugte man cement til at betegne et materiale, der ved tilsætning af kalk kunne gøres hydraulisk. I dag benyttes cement som et uorganisk bindemiddel, der er kittet sammen med tilslagsmaterialerne med blanding af vand. Ca. 80 % af den samlede forbrug for cement i Danmark benyttes til betonvarer, betonelementer og beton blandet på fabrik [Nepper-Christensen et al., 1985].

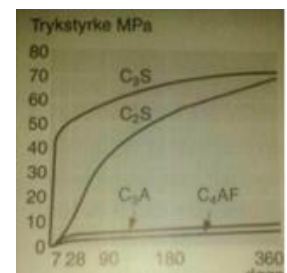
Cement fremstilles af brændte råmaterialer, såsom kalk og ler. I denne rapport arbejdes der med Portlandcement, hvilket består af brændte kalk. Materialet kommer fra ovne med ca. 1400-1500 °C, hvor kalk bliver calcineseret først. Derefter vil materialer blive sintret til kugler (cementklinker), hvilket består af klinkerminerale. Disse kugler pulveriseres til mikro størrelser, hvilket vil opnå større overfladeareal og dermed bedre pakning, hvilket vil virke som hydraulisk bindemiddel. Brændte kalk i reaktion med vand vil hermed opnå en bedre styrke. Portlandcement er defineret til et produkt som indeholder 2/3 kalciumsilikater (C₃S, C₂S) og rest som Aluminium, Jern og andre oxider [Nielsen et al., 2008].

De vigtigste cementklinkerminerale ses i nedenstående tabel:

Klinkermineral	Kemisk sammensætning	Cementkemisk forkortelse	Mineralnavn
Tri-kalciumsilikat	3CaO*SiO ₂	C ₃ S	Alit
Di-kalciumsilikat	2CaO*SiO ₂	C ₂ S	Belit
Tri-kalciumaluminat	3CaO*Al ₂ O ₃	C ₃ A	Aluminatfasen
Tetra-kalcium-aluminatferrit	4CaO*Al ₂ O ₃ *Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	Ferritfasen

Tabel 2.1: De vigtigste navne for cementklinkerminerale [Geiker et al., 2008]

De forskellige klinkerminerale har forskellige reaktionshastigheder og styrkeudvikling. De mest betydningsfulde klinkerminerale som giver mest styrke er C₃S og C₂S, hvor C₃S giver en hurtig og tidlig styrke, og C₂S giver en langsommere og stigende styrke med tiden. Derimod er C₃A og C₄AF mindre betydning, da disse har meget mindre styrke. Disse styrkeudviklinger for hærdende klinkerminerale ses på figur 2.2. [Geiker et al., 2008].



Figur 2.2: Styrkeudvikling for hærdende klinkerminerale [Geiker et al., 2008]

2.1.3. Tilsætningsstoffer

Tilsætningsstoffer forstås som stoffer der tilsættes som vand eller pulverform i blandingen med cement, tilslag og vand. Tilsætningen sker før eller under blandingsprocessen for beton (eller mørtel). Dette gøres for at styre den friske eller den hærdede beton. Tilsætningsstoffers virkemåde kan både være kemisk og fysisk. Acceleratorer og retardere indvirker på cementens kemiske reaktioner med vand, hvorimod luftindblandingsstoffer og plastificeringsstoffer er de fysisk virkende stoffer. Udover disse tilsætningsstoffer findes også mange andre typer, men disse er de mest anvendte [Eriksen et al., 1985].

Accelerator kan øge afbindingshastigheden og/eller den tidlige hærkning af cement i frisk beton, og dermed øge hastigheden af styrkeudviklingen og reaktionsvarme. Retardere er uorganiske eller organiske

stoffer. Disse tilsættes i beton- eller mørtelblanding for at forsinke afbindingen og/eller den tidlige hærkning af cementen. Her kan der gå op til flere døgn forsinkelse.

De plastificerende tilsætningsstoffer er vandreducerende tilsætningsstoffer. Disse stoffer kan styrke den friske betons flydeegenskaber. Og de luftindblandende tilsætningsstoffer kan øge betons frostbestandighed ved at bibringe den hærdnede beton en mikroluftporestruktur. Der skal dog være opmærksom på at der ikke skal for meget luftbobler i beton, da det også kan øge porøsiteten af betonen, hvor ved fastholdt v/c forhold fås en mindre styrke. Luften der danner bobler på en størrelse på 5-200 µm i diameter kan virke mht. frostbestandigheden. Større bobler vil ikke have en betydning for frostbestandigheden. Luftindholdet må dermed være på 4-6 % for at ønske frostbestandighed. Ved 5-8 % luftindhold vil betonen være udsat for tørsaltpåvirkning [Eriksen et al., 1985]. Sammensætningen for betonblandingen er hermed også afhængig af hvilke miljøklasse betonkonstruktionerne skal befinde i.

2.1.4. Tilslag

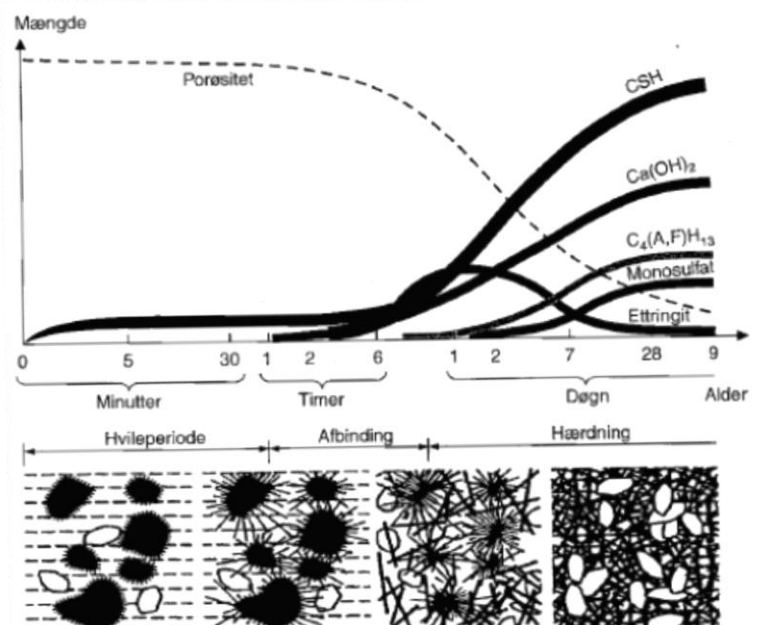
Tilslag anvendes for at have en billigere, stærkere og mere holdbar beton. Jo mere tilslag der anvendes i beton, jo billigere vil det blive, derfor bruges der ca. 75 % tilslag af betons rumfang. Sten og sand kaldes tilsammen tilslag. Det kommer an på kornstørrelsen om det skal hedde sand eller sten, ellers er det det samme [Nepper-Christensen et al., 1985].

2.1.5. Strukturudvikling

Efter frisk beton- eller mørtelblanding bliver gennemført, lægges disse til hærkning. Når et produkt bliver hærdet, bliver det mere hård og dermed vil styrken også udvikle sig. Styrken er afhængig af betonens struktur, hermed også opbygningen af cementpastaens struktur, da bestanddelene fremkommer af cementens hydratisering. Hydratisering fremkommer af en reaktion mellem cement og vand [Geiker et al., 1985].

I starten vil blandingen af cement og vand danne en plastisk masse, hvilket kaldes for cementpasta. Med tiden vil cementpastaen miste plasticiteten og stivner, og dermed bliver til hærdnet cementpasta.

Det starter med at cementpastaen bliver mere fast efter nogle timer, hvilket betyder at der sker en afbinding. Afbindingen sker fordi der sker en kemisk reaktion mellem cement og vand, hvilket også vil øge styrketilvæksten. Derefter sker der en kemisk binding med vand og hydratiseringsprodukter, hvor cementen vil hydratisere. [Geiker et al., 2008]. På figur 2.3 ses hydratiseringsprocessen for cementpasta.



Figur 2.3: Strukturudvikling af cementpasta [Geiker et al., 2008]

Som det ses på figuren er den første fase hvileperiode (frisk beton), hvilket befinder i den første time hvor man kan se de store sorte cementkorn og de små og få hydratiseringsprodukter i væske. Derefter sker der en afbinding mellem 6 timer og 1 døgn efter støbningen. I den sidste fase sker der hærkning, hvor betonen

øges for styrke. Som det kan ses udvikler hærdeningen ikke meget mere efter 28 døgn, derfor antages en standard hærdening på 28 dage, da der efter 9 år er næsten ingen ændring i styrkeudviklingen. I den sidste fase ses at cementkornene er fordelt mere fint over det hele og at hydratiseringsprodukter er forøget i forhold til de første faser i hydratiseringsprocessen. Alt i alt kan det hermed siges at hydrauliske bindemidler mister sin evne til at forme og i stedet hærder, når der sker en reaktion med vand.

I dag anvendes også andre hydrauliske bindemidler end cement. Puzzolaner er også hydrauliske bindemidler, hvilket bl.a. kan være flyveaske og mikrosilica som medfører mere tæthed og øget styrke når de reagerer med calciumhydroxid.

Flyveasken er et restprodukt som er kulforbrændt. Flyveaske kan både være miljømæssigt og økonomimæssigt bedre for samfundet. Det kan være miljømæssigt bedre, da det kan erstatte noget af cementen, og dermed kan CO₂-ledningen mindskes. Økonomimæssigt er det dyrt at komme af med aske til deponi, derfor kan det være en fordel at benytte flyveasken. Derudover er flyveaske også billigere end cement. Asker indeholder bl.a. tungmetaller, hvilket ikke vil være godt ved deponi da det kan sive ned i grundvandet. [Rosenmai og Svendsen, 2012]

2.1.6. Styrke

Styrken for beton er afhængig af dens sammensætning, temperatur, fugtighed, komprimering og alderen. Når styrken måles for beton vil følgende have betydning: størrelsen, formen, belastning af hastighed og varighed.

Det som primært har betydning for betonens styrke er styrken af cementpastaen. Styrken er afhængig af porøsitet, jo højere porøsitet jo mindre styrke. Porøsitet og densitet kan læses mere om i [Gottfredsen og Nielsen, 2010]. Cementpastaens porøsitet bestemmes via hydratiseringsgraden og v/c forholdet. Derudover vil styrken også være afhængig af cementtype, cementmængde og tilslagets art [Geiker et al., 2008].

Beton har højere trykstyrke end trækstyrke. Trykstyrke bruges ofte i tilfælde af konstruktionsberegninger. Den karakteristiske trykstyrke f_c af prøvelegemet måles normalt efter 28 dages hærdening, hvilket opnår ca. den maksimale trykstyrke. Da trækstyrken er lav i beton kan trækarmringer sættes. Trækarmringerne vil være behjælpelige i en konstruktion for at optage trækkræfter. I denne rapport regnes trykstyrken.

2.1.6.1. Vand/cement-forhold

Der er udtrykt forskellige love mht. sammenhængen mellem betons styrke og v/c-forholdet. Ud fra erfaringsmæssigt benyttes Bolomeys formel. Denne formel afbinder betonens trykstyrke som funktion af den reciprokke værdi af v/c-forholdet, det gælder hvor $0,45 < v/c < 1,25$ og hvor luftindholdet ikke overstiger 1,5 – 2 %. Den optimale v/c forhold er ca. på 0,4. [Geiker et al., 2008]

Den analytiske formel for denne rette linje er: $f_c = K \left(\frac{1}{v/c} - \alpha \right)$

hvor: f_c = trykstyrke, K er konstant som afhænger af v/c og α er hydratiseringsgraden.

Som det kan ses på formlen, vil styrken falde med en stigende v/c-forhold.

2.1.6.2. Vand/pulver-forhold

Ud over v/c-forhold kan man også bruge v/p-forholdet i Bolomeys formel [Geiker et al., 2008]. Dette kan gøres, da man også kan bruge pulver såsom flyveaske eller mikrosilica i stedet for cement.

Denne formel vil omskrives til: $f_c = K\left(\frac{1}{c+kp} - 0,5\right)$

hvor: k er aktivitetsfaktoren som beskriver forholdet mellem styrkebidrag fra puzzolan og styrkebidrag fra tilsvarende masse af cement. p er hermed puzzolan mængden.

I tilfælde af flere puzzolaner kan denne ækvivalente formel benyttes: $\text{ækv.} \frac{v}{c} = v(c + 0,5fa + 2ms)$

hvor: fa er massen af flyveaske og ms er massen af mikrosilica.

Ud fra DS/EN 1992-1-1 bestemmes betonens trykstyrke, som er foretaget på støbte 150 x 300 mm cylinderformede prøver efter 28 dages hærkning. Det kaldes også for den karakteristiske en-aksede trykstyrke f_{ck} med 5 % fraktil.

Derudover kan man også se hvor meget den mindste trykstyrke skal være i forhold til de forskellige miljøklasser i DS/EN 1992-1-1 når der er stålarmning i betonen. Der tages udgangspunkt i fire forskellige miljøklasser: Passiv, Moderat, Aggressiv og Ekstra Aggressiv. Ud fra de forskellige miljøklasser kan man finde hvilke tykkelse minimum dæklag skal have, så man bl.a. kan sikre armeringen for korrosion.

2.2. Slammaske

Slammaske er et restprodukt fra forbrænding af spildevandsslam. Det slam der bliver sorteret fra det rensede spildevand brændes, og derefter vil det kaldes for slammaske. Det er et nyt restprodukt i forhold til beton, da det endnu ikke anvendes i betonproduktionen. Det kan formelt ikke anvendes, da DS 481 fodrer at asken er omfattet af DS/EN 450-1. Slammaske er hermed ikke omtalt i nogle normer, det er kun flyveaske der er omtalt indtil videre i DS/EN 450-1 [Hasholt og Mathiesen, 2002]. Derfor er det nu interessant at undersøge om slammaske også kan være brugbart ligesom flyveaske. Der har været flere undersøgelser omkring slammaske, og det er stadig i forsøgsfasen. I de tidligere undersøgelser er det kommet frem til at slammaske godt kan være en fordel med både økonomiske og miljømæssige grunde, og derudover er det også bevist at slammaske giver bedre styrke end mørtelprøver uden slammaske. I denne rapport undersøges der yderligere om slammaske fra Avedøre også er godt i forhold til korrosion og diffusion af klorid uden at forringe betonens egenskaber, da det endnu ikke er bevist før.

2.2.1. Miljømæssige- og økonomiske fordele

Miljømæssigt vil det være godt at anvende slammaske i betonblanding som kan erstatte noget af cementen, da CO₂ udledning vil nedsænkes [Hasholt og Mathiesen, 2002]. Ud over de miljømæssige fordele kan der også være økonomiske fordele ved brug af slammaske i betonblanding. Det er dyrt at deponere slammaske til deponi. Med tiden stiger slammaske og depoterne fyldes op, og det er et problem at man ikke ved hvad man kan bruge slammaske til. Derfor undersøges der om slammaske kan erstatte noget af cementen i betonblandingen. Slammaske er hermed også billigere end cement, derfor er der endnu en grund til at anvende slammaske i beton [Hasholt og Mathiesen, 2002]. For at benytte disse fordele skal man være opmærksom på at asken ikke indeholder giftige stoffer som kan skade miljøet og selve betonens kvalitet.

2.2.2. Tungmetaller og salte

Slamaske indeholder tungmetaller, som kan være giftige. Dette vil ikke være sundt for både dyr og mennesker. Derfor skal der undersøges nærmere i laboratoriet med askens effekt på miljøet, hvor der laves en askekaraktistik. I dette projekt undersøges der nærmere for følgende tungmetaller: Kobber, Nikkel, Cadmium, Bly, Zink og Krom. Gruppering af tungmetaller sker i forhold til deres densitet.

På den nedenstående tabel ses kategorisering for indhold af tungmetaller i restprodukter og jord [BEK, 2010]:

Kategorisering	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
Faststofindhold mg/kg TS			
Arsen	0 - 20	>20	>20
Bly	0 - 40	>40	>40
Cadmium	0 - 0,5	>0,5	>0,5
Krom	0 - 500	>500	>500
Kobber	0 - 500	>500	>500
Nikkel	0 - 30	>30	>30
Zink	0 - 500	>500	>500

Tabel 2.2: Kategorisering for indhold af tungmetaller [BEK, 2010]

Kategori 1 er gældende for anvendelse af bygge-anlægsområder, hvorimod 2 og 3 er gældende for begrænsede områder. Udover tungmetaller kan askens salte også have en betydning for betonkonstruktionerne. Salte kan være klorid, nitrat og sulfat. Salte er mest farlige for betonkonstruktioner med stålarmning i, da det kan have en risiko for korrosion og alkaliselreaktioner. Derudover vil klorid også have en betydning for holdbarheden af armeringsstålet. I afsnit 2.3 kan der læses nærmere omkring korrosion.

2.2.3. DS/EN 450 – 1 og DS/EN 206 – 1

Da der ikke er nogen standarder til vurdering af slammaske, vil det sammenlignes med flyveaskens standarder fra DS/EN 450 – 1 normen. Dette er det materiale, som kommer tættest på slammaske. Derudover kan den maksimale kloridindhold for både armeret og ikke armeret beton sammenlignes med DS/EN 206 – 1.

I nedenstående tabel ses det maksimale klorid indhold for beton:

Betonens anvendelse	Chloridindholdsklasse ^{a)}	Maksimalt Cl-forhold i forhold til cementvægten ^{b)}
Uden armeringsstål eller andet indstøbt metal med undtagelse af korrosionsbestandige løfteanordninger	Cl 1,0	1,0 %
Med armeringsstål eller andet indstøbt metal	Cl 0,20	0,20 %
	Cl 0,40	0,40 %
Med spændarmering af stål	Cl 0,10	0,10 %
	Cl 0,20	0,20 %

^{a)} For et specifikt brug af beton er valg af klasse afhængig af bestemmelser gældende på brugsstedet.

^{b)} Hvis der anvendes type II-tilsætninger, og de er medregnet i cementindholdet, udtrykkes chloridindholdet som procent af chloridioner i forhold til vægten af cement plus den totale vægt af tilsætninger, der er medregnet.

Tabel 2.3: Max. kloridindhold i beton, [DS/EN 206-1,2002]

På nedenstående tabeller ses de kemiske og fysiske krav for flyveaske, DS/EN 450 – 1:

Fysiske krav	Metode			
Kornstørrelsen	EN 451-2 eller EN 933-10	Mængden der ikke går gennem en si med 0,045 mm maske størrelse	Kategori N >	40 %
			Kategori S >	12 %
Densitet	EN 1097-7	Må ikke afvige fra producentens oplysninger med mere end		200 kg/m ³
Afbindingstid	EN 196-3	Afbindingstiden for en prøve af 25 % flyveaske og 75 % cement må ikke være mere end dobbelt så lang som for en referenceprøve med 100 % cement		

Tabel 2.4: Fysiske krav for flyveaske, [DS/EN 450-1,2012]

Kemiske krav	Metode		
Organisk materiale	EN 196-2	Kategori A <	5,00%
		Kategori B <	7,00%
		Kategori C <	9,00%
Kloridindhold	EN 196-2	<	0,10%
Sulfat (SO ₂) indhold	EN 196-2	<	3,00%
Fri calciumoxid	EN 451-1	<	1,50%
Indhold af reaktivt calciumoxid	EN 197-1	<	10,00%
Indhold af reaktivt siliciumdioxid	EN 197-1	>	25,00%
Siliciumdioxid (SiO ₂)	EN 196-2	Tilsammen >	75,00%
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)			
Jernoxid (Fe ₂ O ₃)			
Totale indhold af alkalier	EN 196-2	<	5,00%
Magnesiumoxid	EN 196-2	<	4,00%
Fosfat	ISO 29581-2	<	5,00%

Tabel 2.5: Kemiske krav for flyveaske, [DS/EN 450-1, 2012]

2.2.4. Fosfor og andre elementer

Slamaske indeholder også en stor mængde fosfor. Da der vil være mangel på det i fremtiden, kan denne fosfor evt. udvindes. Sammensætning af grundstofferne i asken vil blive forskelligt alt efter hvilket rensningsanlæg benyttes. Enten Aluminium (Al) eller Jern (Fe) kan anvendes til fældning af fosfor (P), hvilket vil have en betydning for indholdet af askerne [Ottosen et al., 2013-2].

Nedenunder ses koncentrationerne for Fe- og Al-baseret slamaske:

Analytical parameter			Bio ash	
Name	Unit	Method	Iron (Fe)	Aluminium (Al)
Colour			reddish	light brownish
Soluble phosphate	mg/kg*	Annex C*	75	30
Silicon dioxide (SiO ₂)	%	EN 196-2	23	35
Reactive silicon dioxide (SiO ₂)	%	EN 197-1	12	15
Calcium oxide (CaO)	%	EN 196-2	20	16
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	%	EN 196-2	15	6,5
Aluminium oxide (Al ₂ O ₃)	%	EN 196-2	6,5	13
Sum of SiO ₂ , Al ₂ O ₃ & Fe ₂ O ₃	%	EN 196-2	45	54
Phosphorus as P ₂ O ₅	%	WDXRF	27	22
Calcium as CaO	%	WDXRF	21	16
Silicon as SiO ₂	%	WDXRF	21	29
Amorphous	%	QXRD	55	63
Calcium phosphate	%	QXRD	19	14
Quartz (crystalline SiO ₂)	%	QXRD	10	15
Haematite (crystalline Fe ₂ O ₃)	%	QXRD	6	< 1
Particle density	kg/m ³	EN 196-6	2820	2640

* Annex C in EN-450-1:2005; the analysis expresses mg "available phosphorus pentoxide" (P₂O₅) per kg ash

Tabel 2.6: Kemisk sammensætning af Fe- og Al- baseret slamaske [Kjersgaard et al., 2007]

Ud fra tabel 2.6 ses der at Fe-baseret aske indeholder et stort indhold af Fe-ioner, hvilket giver en rødlig farve, og Al-baseret aske giver en lys brunlig farve med et stort indhold af aluminium. Det er derudover kommet frem til at asken med mest Al krævede mere syre til fældning af P, derfor foretrækkes Fe i stedet for Al til fældning af P ved rensningsanlægget. Generelt var tungmetaller i de to asker lave. Den rødlig farve for Fe-baseret aske kan godt give et problem i betonproduktionen da der kan bruges flere forskellige betonblandinger til et byggeri ude i samfundet [Ottosen et al., 2013-2]. Det er også relevant at vide indholdet af disse elementer, da klorid binder sig til Al-forbindelser.

2.2.5. Askekarakteristik

Inden slamasken anvendes i beton, laves der askekarakteristik for det. Det er vigtigt at vide askens egenskaber ift. miljøet, derfor udføres der forskellige forsøg under projektet. Formålet for hvert forsøg og askens egenskaber læses nærmere i afsnit 3.1.

2.3. Korrosion

Korrosion er en nedbrydning af metaller eller andre faste legemer ved påvirkning af luft og vand. Korrosion kan opstå i stålarmet beton, da stål er bl.a. en legering af Fe (jern) og C (karbon). Armeret beton er et udbredt byggemateriale som benyttes bl.a. til broer, bygninger, platforme og til underjordiske strukturer såsom tunneller. Armeret beton er kendt som et meget holdbart materiale med en god langsigtet ydeevne der kan modstå en lang række alvorlige miljøer, såsom marine forhold. I nogle tilfælde er der desværre et stort antal fejl i betonkonstruktioner, hvilket medfører tidlig armeringskorrosion.

I fortiden indtil 1950'erne var det karbonering af beton som var en af de største grunde til korrosion. I dag har klorid også en stor betydning, da der er flere konstruktioner som er udsat for kloridholdige miljøer. Dette kan bl.a. skyldes et marint klima eller afisning salte [Hunkeler et al., 2005]. For forholdsvis nye konstruktioner, kan det kan godt ende med dyre reparationer. Derfor vil der i dette projekt være fokus på hvilken effekt slamaske giver i en armeret mørtelprøve mht. korrosion.

2.3.1. Korrosionsformer

Korrosion af armeringen kan vise forskellige former, det kan vise sig fra et generel til et lokalt angreb. En generel korrosion sker ofte for kulsyreholdige beton, hvor der opstår tidlig revner og afskalling. En lokal korrosion kan bl.a. opstå pga. kloridioner, hvilket er fordelt over stålarmeringen [Hunkeler et al., 2005]. I begge situationer vil armeringstværsnittet og trækstyrken blive reduceret.

På nedenstående figurer ses de to situationer for en armeret beton bjælke:



Figur 2.4: Afskallet beton pga. kulsyre og kloridioner, [Hunkeler et al., 2005]

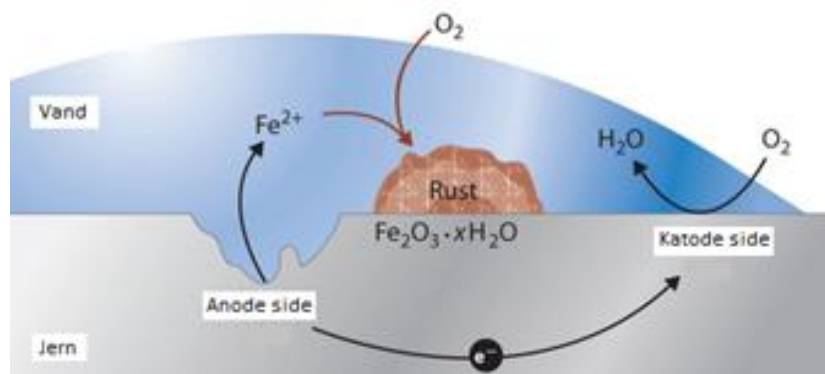


Figur 2.5: Korroderet armering pga. kloridioner, [Hunkeler et al., 2005].

2.3.2. Elektrokemisk proces for korrosion

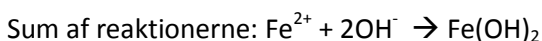
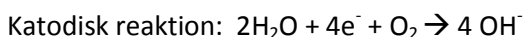
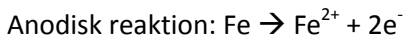
Der findes forskellige processer for korrosion, såsom kemiske- eller elektrokemiske korrosioner. I denne rapport fokuseres der på den elektrokemiske proces, da det gælder for korrosion af metal påvirket af både vand(elektrolyt) og luft. Ved en elektrokemisk proces virker der to kemiske processer. Den ene er en lokal anode proces, hvor jern(Fe) bliver opløst i vand(H₂O), hvilket medfører jern-ioner og efterlader nogle frie elektroner i jernet. De frie elektroner i jernet vil dermed blive optaget af både luft og vand, hvilket kaldes for en lokal katode proces. I katode processen vil oxygenhydroxid ionerne forekomme. Ud fra en reaktion med jern-ionerne og oxygenhydroxid-ionerne vil der dermed forekomme rustprodukter [Gulikers et al., 2005].

Den elektrokemiske proces for korrosion ses på den nedenstående figur:



Figur 2.6: Korrosion i en vanddråbe på en jernoverflade [Averill og Elredge, 2007]

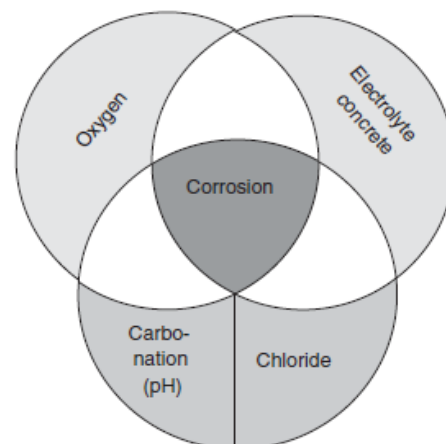
Som det er beskrevet lige før og ses på den ovenstående figur forekommer der nogle reaktioner, anode- og katode reaktioner. De forskellige reaktioner for en armeret beton er følgende:



For at illustrere betingelserne for korrosion af stålarmet beton, kan nedenstående tabel & figur benyttes:

Condition for corrosion of steel in concrete	Condition is fulfilled, if:
1 An anodic reaction is possible.	The passive layer of the steel bar breaks down and depassivation of the steel occurs. This can be caused by carbonation of concrete (lowering the pH of the pore water) and ingress of chloride into the concrete, reaching a critical level.
2 A cathodic reaction is possible.	Oxygen as the driving force of the corrosion process is available at the interface of the reinforcement in a reasonable amount.
3 A flux of ions between the site of the anodic reaction and the site of the cathodic reaction is possible.	The environment or electrolyte between the site of the anodic reaction and the site of the cathodic reaction conducts well.
4 A flux of electrons is possible.	There is a metallic connection between the sites of anodic and cathodic reactions. For monolithic reinforced concrete structures this condition is usually fulfilled.

Figur 2.7: Tabel over betingelserne af armeret beton [Hunkeler et al., 2005]

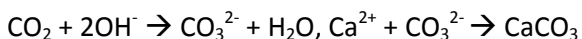


Figur 2.8: En figur over betingelserne af armeret beton, [Hunkeler et al., 2005]

Elektrokemisk proces kan både blive påvirket af betonens miljø, hvor korrosion opstår og de elektrokemiske processer der ledsager den. Disse korrosionsparametre er bl.a. elektrokemisk potentiale, elektrisk ledningsevne, fugtindhold, pH og kloridindhold. Disse parametre har en betydning for korrosionsforløb og korrosionshastighed. Korrosionstilstanden kan måles med disse parametre, hvilket kan være med til at vurdere et eventuelt behov for katodisk beskyttelse [Klinghoffer, 1993].

I sund beton, er korrosions risikoen lille, da det indeholder en høj pH værdi. Betonens porevæske er stærkt basisk, og pH værdien er omkring $\text{pH} = 13$. Den høje pH værdi skyldes både de store mængder af calciumhydroxid som dannes ved hydratisering og de alkalimetalioner der frigives fra cementen. De alkalimetalioner kan være Na^+ og K^+ . I sådan et miljø vil jern blive passiveret, idet dets overflade er beskyttet med et tæt lag som Fe_2O_3 . Passivlaget dannes når stålet reagerer med luftens ilt, hvilket også kaldes for oxid-lag. Det tynde oxid-laget/passivlaget forhindrer korrosion. Når passivlaget bliver nedbrudt eller når det ikke er dannet i tilstrækkelig omfang vil der opstå armeringskorrosion. Nedbrydning af passivlag vil forekomme bl.a. hvis betonens basiske miljø ødelægges. Dette kan ødelægges hvis pH værdien i betonen sænkes pga. carbonatisering. Carbonatisering kan forekomme når betonens calciumforbindelser omdannes til calciumcarbonat [Geiker et al., 2008].

Nedenunder ses reaktionen fra calciumforbindelser (Calciumhydroxid og C-S-H-gel) til calciumcarbonat:



Der findes også andre metaller som danner et beskyttende som passivlag, f.eks titan og aluminium.

Derudover er indhold af salte også meget vigtigt, da det også kan påvirke armerings bestandighed. Klorider fra salte kan nedbryde passiv-laget af jernoxid, dette kaldes også for pitting-korrosion. Ved pitting-korrosion vil der opstå et lokalt hul i passiv-lag, hvor vand og luft påvirker jernarmeringen, hvilket vil medføre korrosion [Hunkeler et al, 2005]. Selv ved de høje pH forhold i en ellers sund beton kan klorid nedbryde passivlaget. Derfor er der sat grænser for maksimumklorid indhold for armeret beton, for at undgå korrosion, hvilket kan aflæses i DS/EN 206-1, 2006. Kloridindtrængningen vil ske via. væsketransport og diffusion af kloridioner i betonens porevæske [Geiker et al., 2008].

For slammaske findes der endnu ikke nogen standarder, derfor tages det maksimale klorid indhold for flyveaske, hvilket findes i DS/EN 450-1, 2012.

2.4. Diffusion & Migration

Der findes forskellige grundlæggende transportmekanismer for masse porøse materialer. I denne rapport er der arbejdet med transportmekanismerne diffusion og migration, og der kan læses nærmere om disse i dette afsnit.

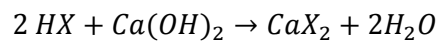
2.4.1. Diffusion

Diffusion er en bevægelse af ioner fra et område med høj koncentration til et område med lavere koncentration. Ud fra en sammenblanding af stoffer og kemiske reaktioner vil der opstå diffusion, når der er opstået koncentrationsforskelle og antallet af ioner er ændret. Diffusion vil ske for at opnå en ligevægtstilstand. Advektion er en vandring af opløste stoffer, hvor væske vil bevæge sig i et poresystem

med trykforskelle. Væskens hastighed vil være afhængig af væskens viskositet, størrelse af poresystem og friktionskræfterne [Hunkeler et al., 2005].

Vandopløselige stoffer, vegetabiliske olier, urene mineralolier og syre kan angribe cementpasta i beton, hvor det starter med at angribe overfladen og derefter indeni. Cementpasta er basisk, derfor kan dens bestanddele nedbrydes med syre [Nielsen et al., 1985-2].

Et eksempel hvor calciumhydroxid (Ca(OH)_2) nedbrydes ses i den nedenstående reaktion:



hvor X står for en syres syrerest.

Porøsitet er en vigtig egenskab for betonen. Det er et forhold mellem porer og faststof. Porøsitet af beton vil have en indflydelse på angrebshastigheden og dens karakter. Hvis betonen er tæt, vil det tage længere tid at diffundere for angrebsstoffet. Det skal yderligere bemærkes at diffusion kan gøres vanskeligere, hvis de uopløselige reaktionsprodukter udfældes i porerne. En meget porøs beton vil have en mindre modstandskraft end en tæt beton. Diffusion vil ofte anvendes om den kombinerede diffusionskapillarsugningsmekanisme, hvor begge mekanismer virker i samme retning. Kapillarsugning er også en transportmekanisme, hvilket transporterer meget mere vand gennem porerne end diffusion. Det skyldes at et materiale ved høj relativ luftfugtighed (kapillarkondensation opstår), transporterer meget mere vand end lav relativ luftfugtighed [Nielsen et al., 1985-1].

I denne rapport arbejdes der med vandmættet beton, der er udsat for væske med opløste klorider. Klorid indtrængning for beton konstruktioner er i særlig grad et problematisk forhold i hverdagen, hvilket kan skyldes havvand eller vejsalt. Når der kigges på klorider, er der koncentrationsforskel imellem to væsker, hvor der dermed tages hensyn til om poresystemet er væskefyldt eller luftfyldt. Ved væskefyldt situation vil klorid-ionerne vandre effektivt. Klorid-ioner (Cl^-) vil transportere gennem porevæskerne i beton, hvilket betyder at der kun kan forekomme kloriddiffusion hvis betonen er fugtig [Nielsen et al., 1985-1]. Kloriddiffusion vil have en stor betydning i en armeret beton med hensyn til holdbarheden.

2.4.2. Ficks love

Ud fra Ficks to love kan diffusion beskrives. Fick's 1. lov viser en sammenhæng mellem partikelstrøm og koncentrationsgradient, som gælder for "steady-state" systemer, hvor koncentrationen holdes konstant. Fick's 2. lov viser derudover hvordan koncentrationsprofil udbreder sig med tiden [Zielinski, 2006].

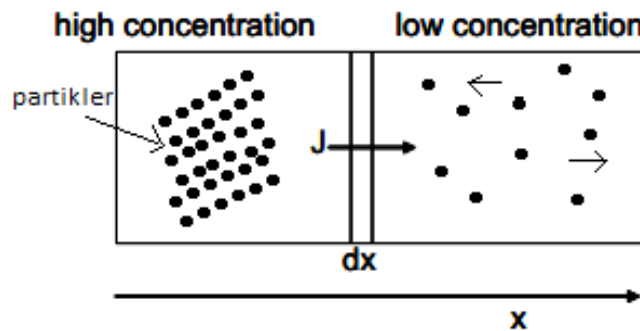
Fick's 1. lov ses i den nedenstående formel, for en-dimension:

$$J = -D \frac{d}{dx} * c$$

Hvor J er diffusions flux, dc/dx er koncentrationsgradienten pr. længdeenhed, og D er diffusionskonstanten.

Minus tegnet viser at mens diffusions flux J bevæger sig fra venstre til højre vil flow faktisk bevæge sig fra højre til venstre. Diffusion kan forekomme i begge retninger [Zielinski, 2006].

På nedenstående figur ses hvordan diffusions flux bevæger sig mod højre (ionerne går i opløsning):



Figur 2.9: Diffusion [Zielinski, 2006]

Ud fra Fick's 1. lov kan Fick's 2. lov defineres:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}$$

hvor t er tiden [Zielinski, 2006].

2.4.3. Migration

Bevægelsen af klorid-ioner i beton kan foregå på to metoder. Den første metode er som beskrevet lige før ved ren diffusion hvor betonprøverne står i stillestående vand, og processen vil foregå langsomt. I den anden metode vil der være påtrykning af elektrisk strøm, hvor der vil opstå iontransport – migration. I denne rapport er der både arbejdet med ren diffusion af klorid og migration. Ved migrationstest, udføres transporten på en hurtigere metode via påtrykning af elektrisk strøm. Ved migration tvinges klorid-ioner til at flytte hurtigere igennem betonen som følge af et elektrisk felt. Det er bevægelsen af ladede ioner som reaktion på et lokalt elektrisk felt kaldes migration [Tang, 1996].

L. Tang har i 1996 skrevet en artikel om en accelererende test, hvor der er brugt en teoretisk sammenhæng mellem diffusion og migration i beregning af klorid diffusionskoefficient. Han har ud fra tidligere forskning kommet frem til at diffusion bestemt af elektrisk accelererende metode er tættere på den reelle værdi. Der har været flere gode udtalelser vedr. den elektriske accelererende metode, hvor der bl.a. er sagt at det er den bedst egnede af alle de hurtige klorid test revideret på grundlag af enkelhed, varighed af test, teoretisk grundlag og alsidighed. Derfra blev metoden videreudviklet og anvendt af andre [Tang, 1996].

Summen af en-dimensionel diffusion og migration processer udleder L. Tang med en modificeret Ficks lov [Tang, 1996]:

$$J = -D \left(\frac{dc}{dx} - \frac{zFU}{RTL} c \right)$$

Og for tidsafhængig proces og hvis D er konstant, defineres formlen på følgende måde:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{dJ}{dx} = -D \left(\frac{d^2c}{dx^2} - \frac{zFU}{RTL} \frac{dc}{dx} \right)$$

Hvor z = absolut værdi af ion valens, for klorid ioner er z=1, F er Faraday konstant = $9,648 \cdot 10^4$ [J/V mol], U = absolutte værdi af potentiale forskel [V], R = gas konstant på 8,314 [J/K mol], T = opløsnings temperatur og L = prøve tykkelse [Tang, 1996].

For at finde klorid diffusionskoefficienten i den porøse beton mht. til den elektriske accelererende forsøg, bruger L. Tang både nogle tal fra "ikke-steady-state" og "steady-state" metoderne, hvor han bl.a. måler indtrængningsdybden af klorid-ioner.

I denne rapport er der taget udgangspunkt i L. Tangs artikel. Forsøgene er i en lidt anderledes opstilling. I L. Tangs artikel er der usikkerheder mht. syre indtrængning fra anoden, hvilket ikke ønskes i denne rapport. Dette kan læses nærmere i afsnit 3.4.

Klorid diffusion er en af de vigtige egenskaber af beton med hensyn til holdbarheden af en armeret beton struktur, derfor er der både arbejdet med klorid-indtrængning på den naturlige måde med diffusion hvor der ikke er påtrykning af elektrisk strøm, og på en accelererende måde hvor der er påtrykning af elektrisk strøm, hvilket vil få klorid-indtrængningen ske hurtigere (migration). Derefter kan man se hvor effektiv den accelererende metode har virket i forhold til de prøver der ikke blev påtrykket af strøm. Resultaterne kan ses i afsnit 4.4.

3. Beskrivelse af eksperimentelt arbejde

I dette afsnit beskrives alle materialer og metoder som er udført i forsøgene. Derudover beskrives øvelsesvejledning kort med relevante billeder, tabeller og grafer. I dette projekt er der udført nye metoder med hensyn til korrosion og diffusion af klorid, og disse vil beskrives gennemførligt i dette afsnit.

I det nedenstående tabel ses en oversigt over alle udførte forsøg med deres formål, samt de tilhørende bilag hvor fremgangsmåden er beskrevet.

Forsøg	Formål	Bilag nr.:
Askekarakteristik:		
Indhold af mikro og makro elementer	Formålet er at bestemme hvilke tungmetaller asken indeholder. Ud fra ICP-måling kan askens koncentrationer af forskellige elementer undersøges.	Bilag 8.2.3
Vandopløselighed og vandindhold	Formålet er at bestemme askens masse af vandopløselige ioner og dermed vandindholdet i asken.	Bilag 8.2.6 og 8.2.2
Ledningsevne og pH	Formålet er at have et bedre kendskab til de kemiske egenskaber.	Bilag 8.2.5 og 8.2.1
Glødetab	Formålet er at vide hvor stor en del af asken indeholder organisk stof.	Bilag 8.2.4
Vandopløselige anioner	Formålet er at vide hvilke ioner asken indeholder. Der laves en ion kromatografi måling (IC-måling), hvor der måles for salte.	Bilag 8.2.7
Leaching	Formålet med leaching er at undersøge hvor mange tungmetaller der siver ud af det knuste aske, når det skylles med vand. Dette undersøges via. ICP-måling.	Bilag 8.2.8
ICP-måling	ICP – måling laves for at undersøge askens koncentrationer af forskellige elementer. Bestemmer hvor mange af de udvalgte tungmetaller der findes. Dette gøres for ” Indhold af mikro og makro elementer” og ”Leaching”.	-
IC – måling	Ion kromatografi (IC – måling) måler anioner. Dette gøres for ”Vandopløselige anioner”.	-
SEM & Mapping	Ud fra Scanning Elektron Microscopy (SEM) ses askens struktur. Ud fra Mapping bliver askens mineralogi analyseret. Der vil ses en oversigt over de forskellige elementer.	-
Kornstørrelse	Formålet er at se hvor fin asken er, og hvor store de største korn af asken er.	-
Mørtelprøvning:		
Mørtelstøbning	Der er støbt mørtelprøver med forskellige indhold af aske, dermed vil der også være ændringer på indholdet af cement og sand. Vandets indhold bliver det samme hele tiden.	DS/EN 196-1 (Bilag 8.3.1)
Trykstyrke	Formålet er at undersøge mørtelprøvernes trykstyrke. Dermed undersøges der også for askens virkning i beton ift. trykstyrke. Ser om askens tilstedeværelse i mørtelblandingerne har nogen indvirkning på dens styrke.	DS/EN 196-1
Leaching	Formålet med leaching er at undersøge hvor mange tungmetaller der siver ud af det knuste beton, når det bliver skyllet med vand. ICP-måling udføres.	Bilag 8.3.2

Korrosion:		
Potentiale måling	Formålet med potentiale måling er at finde ud af hvor meget en armeret beton kan blive påvirket af saltvand, hvor der tages hensyn til voltmålinger.	(Ny metode)
Visuel måling	Formålet med visuel måling er at finde ud af hvor meget en armeret beton kan blive påvirket af saltvand. Her vil der ikke måles for volt men kigges kun på hvor meget armeringen er blevet korroderet, efter prøverne er skåret igennem.	(Ny metode)
Diffusion:		
Diffusion – med påtrykning af strøm	Diffusion blev undersøgt for at vide hvor meget klorid beton optager, når de ligger i saltvand. Der påtrykkes strøm til forsøget for at gøre klorid transporten hurtigere i betonen (migration).	(Ny metode)
Diffusion – uden påtrykning af strøm	Diffusion blev undersøgt for at vide hvor meget klorid beton optager, når de ligger i stillestående saltvand. Her vil der ikke være påtrykning af strøm, men derimod vil mørtelprøverne ligge i salt vand i forskellige perioder med forskellige saltkoncentrationer.	(Ny metode)

Tabel 3.1: Oversigt over forsøgene samt tilhørende bilag

3.1. Askekarakteristik

I dette afsnit uddybes de anvendte metoder til askekarakteristik. Der undersøges for slammaske for at vurdere dens indvirkning i en beton og hvordan det vil påvirke miljøet.

Der er arbejde med slammaske fra Avedøre 2, hvilket er hentet fra d. 14/6-12. Det kommer direkte fra ovnen i stedet for depot. Slammaske er fra spildevand, og er blevet knust med en ringknuser inden det er blevet brugt til forsøgene.

3.1.1. Indhold af mikro og makro elementer

Oplukning af askeprøver tager udgangspunkt i DS 259. Det er den danske standard for at bestemme metalkoncentrationen for udvalgte metaller i asken. Der vil bl.a. tages hensyn til tungmetaller, hvor massefylden sætter grænser for de forskellige elementer.

Der bliver vejat 1 g aske med 20.00 ml halvkoncentreret HNO₃ (salpetersyre = stærk mineralsyre). Derefter skal prøverne i autoklave og syrekoges. Efter autoklave skal prøverne igennem sugefilter, hvor den filtrerede væske blandes med 100 ml destilleret vand, og disse færdige prøver stilles i køleskabet indtil der bestemmes for metalkoncentration via. ICP-måling. ICP-måling måler alle metaller, hvorimod ion kromatografi (IC-måling) måler salte.

Metaller såsom aluminium, tungmetaller og salte kan være interessant at undersøge., bl.a. fordi Cl⁻ binder sig fast til aluminium og fordi tungmetaller vil udgør en forurening.



Figur 3.1: Prøverne klar til autoklave



Figur 3.2: Autoklave



Figur 3.3: Sugefilter

På ovenstående billeder ses fremgangsmåden af dette forsøg.

På bilag 8.2.3, ses en mere uddybende beskrivelse af forsøget.

3.1.2. Vandopløselighed og vandindhold

Vandindhold undersøges for asken, for at se hvor meget vand der er fjernet fra asken efter et døgn i varmeovn. Der testes for hvor meget fugt der er bundet i asken. Det kan være nødvendigt at vide vandindholdet i asken, da det kan viderebruges til at beslutte blandingsforholdet i mørtelprøverne. Betonblandings v/c forholdet kan nemlig blive påvirket af askens mængde af bundet vand. Jo mere vandindhold asken indeholder, jo mere flydende vil betonblandingen blive.

Der startes med at veje noget uknust aske i et bægerglas, derefter stilles de i et varmeskab (105 grader) indtil natten over. Dagen efter vejes bægerglas med aske igen og regner hvor meget vand der er blevet forsvundet. Vandindholdet kunne dermed tjekkes.

Vandopløselighed bestemmes for at undersøge hvor meget asken taber vægtmæssig når asken skylles med vand. Det kan viderebruges for at vurdere hvor meget ion-mængde der er udvasket, såsom salte. Asken kan have en betydning for betonblandingen.

100 gram uknust aske filtreres med destilleret vand i et bægerglas. Dette skal stå indtil natten over. Efter et døgn skal aske-resterne i filtret stilles i varmeskabet (105 grader). Efter varmeskab (dagen efter) bliver vægten af asken vejet igen, og dermed findes vægttabet.

En mere uddybende beskrivelse af forsøget ses i bilag 8.2.6 og 8.2.2

På figur 3.4 ses prøven som filtreres i et bægerglas.



Figur 3.4: Prøven filtreres i et bægerglas

3.1.3. Ledningsevne og pH-målinger

Der er undersøgt for ledningsevne i asken for at finde ud af ion-mængden i væsken. Ionmængden giver et billede af ionstyrken. Ionstyrken er et udtryk for hvor meget ioner der er opløst i væske og deres ladning. En høj ionstyrke vil betyde at der er opløst flere ioner. Hvis der er lav ionstyrke, vil det have en betydning for at væsken vil reagere mindre. Der vil være en proportionel sammenhæng mellem ledningsevnen og ionstyrken. pH værdien måles når der tilsættes vand i asken. pH værdien i porevæsken er vigtig at vide, da det kan have en betydning for korrosion. Dermed kan det undersøges hvilket miljø asken giver i beton. Der vil tjekkes om betonen ligger i et basisk eller et syre-miljø, når asken opløses i både vand eller KCl.

Under forsøget fyldes der op med 5 g. tør aske (fra vandindhold) og 12,5 ml destilleret vand i 3 af plastikbøtterne, da der laves tre dobbeltbestemmelse. Derudover fyldes der også op med 5 g. tør aske og 12,5 ml KCl i 3 andre plastikbøtter. I Ebbas vejledning stod der at der skulle være 10g tør aske og 25 ml destilleret vand, men i dette forsøg blev kun halvdelen taget da det skulle passe med målinger for KCl. Efter disse blev fyldt op i plastikbøtterne stilles de på rystebordet i ca. en time for at sørge for frisk vand hele tiden og fordi så vil prøvernes forløb gå meget hurtigere. Efter den ene time på rystebordet kan der måles både for pH og ledningsevne.

En mere uddybende beskrivelse af forsøget ses i bilag 8.2.5 og 8.2.1.

Nedenunder ses billeder af fremgangsmåden:



Figur 3.5: Prøverne på rystebord



Figur 3.6: Måling af pH og ledningsevne

3.1.4. Glødetab

Forsøget med glødetab laves for at bestemme indholdet af organiske materiale. Efter opvarmning i 550 °C grader varmt ovn kan man måle glødetab, hvilket svarer til indholdet af organisk materiale. Organiskstof kan have en betydning hvis det forrådner, og dermed vil porestrukturen i betonen ændres. Ud fra DS/EN 450 – 1, 2012 er det maksimale indhold af organisk stof på 5 % hvilket antages at være lig med glødetabet i denne rapport.

Der startes med at varme diglerne op i 550°C varm ovn. Derefter vejes 2,5 g tør aske i diglerne. Under afsnittet "Resultater og diskussioner" ses vægten af asken både før og efter muffelovn. Diglerne skal stå i muffelovn indtil dagen efter, og derefter vejes diglerne med aske igen.

En mere uddybende beskrivelse af forsøget og tilhørende tabeller ses i bilag 8.2.4

På figur 3.7 ses digler fra muffelovnen.



Figur 3.7: Digler fra muffelovn

3.1.5. Vandopløselige anioner

Formålet med dette forsøg er at måle frie ioner i asken. Dette forsøg laves for at viderebruge prøven til ion kromatografi. Under ion kromatografi målingen kan man bestemme hvor meget vandopløselige salte asken indeholder og hvor meget salt asken indeholder. Det er vigtigt at vide hvor meget klorid asken medfører, da det vil være mindre godt i en armeret beton pga. korrosion.

Forsøget gik ud på at 10 g knust tør aske (fra vandindhold) blandes med 50 ml destilleret vand. Derefter stilles de på rystebordet indtil dagen efter. Efter et døgn på rystebord filtreres prøverne og derefter stilles de i køleskabet indtil der laves ion kromatografi måling.

En mere uddybende beskrivelse af forsøget ses i bilag 8.2.7

3.1.6. Leaching

Formålet med dette forsøg er at finde de tungmetaller i asken. Det er vigtigt at vide om det er skadeligt for miljøet, da det kan indeholde giftige stoffer. Prøverne fra forsøget viderebruges til ICP-måling.

Forsøget gik ud på at 10g tør aske (fra vandindhold) blandes med 20 ml destilleret vand. Derefter stilles de på rystebordet i 23 timer, og efter de 23 timer på rystebordet skal prøverne slappe af i 15 min. Efter 23 timer og de 15 min måles pH værdierne. Derefter filtreres prøverne med sug og stilles i køleskabet indtil der laves ICP- måling med henblik på de tungmetaller. Man kan måle hvor mange tungmetaller der kommer ud når asken bliver rystet med vand.

En mere uddybende beskrivelse af forsøget ses i bilag 8.2.8.

3.1.7. SEM og Mapping

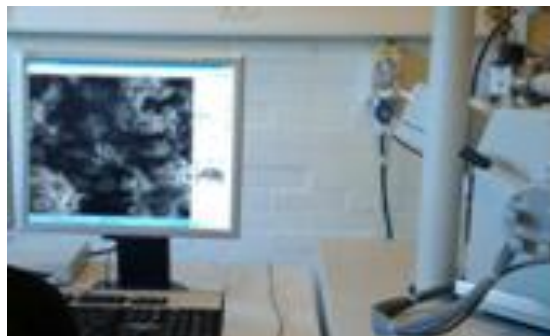
Formålet med SEM er at man kan fastlægge askens struktur som et billede. Formålet med Mapping er at fastlægge den kemiske sammenhæng, det vil give et overblik over de grundstoffer som ligger på overfladen af asken. Asken bliver både analyseret struktur mæssigt og indholdsmæssigt mht. de forskellige elementer. Det kan være spændende at undersøge om askens partikler stadig er porøse når de er knuste. Der vil komme tættere ind på askens partikler, hvor der bl.a. tages hensyn til NaCl og klorider. Der vil undersøges om klorider ligger alle steder i asken, ligesom Al og Fe gøre.

Forsøget gik ud på at have 1-2 gram knust aske og 1-2 gram ikke knust aske i en SEM-maskine, og derudfra blev der analyseret for askens struktur og fordelingen af de forskellige elementer.

Nedenunder ses billeder af fremgangsmåden:



Figur 3.8: Ca. 1 gram aske tilføres i denne maskine



Figur 3.9: Askens struktur og indhold ses på pc

3.1.8. Kornstørrelse (Laserdefraktrometer)

Formålet med dette forsøg, er at undersøge hvor fin asken er. Undersøge hvor stor den største aske er. Asken skal være tørt og knust. Der laves en graf over hvor man kan se kornstørrelserne.

Forsøget gik ud på at 1-2 gram knust aske og 1-2 gram uknust aske bliver opløst i natriumpyrophosphat og derefter tilføres det i "Dispensions unit" og måler volumen af partiklerne på en computer.

Nedenunder ses billeder af fremgangsmåden:



Figur 3.10: Asken tilføres i "Dispensions unit"



Figur 3.11: Asken bliver analyseret på en PC

3.2. Materialeprøvning

I dette projekt er der støbt flere forskellige mørtelprøver med forskellige blandinger for at lave forskellige forsøge og undersøgelser. Disse mørtelprøver skal bruges til at undersøge trykstyrke, korrosion og diffusion af klorid. Til sidst kan der ses om hvilken blanding giver bedst resultat i forhold til styrke og kloridindtrængning.

I denne rapport er der brugt mørtelprøver i stedet for betonprøver, da der arbejdes med små prøver med størrelse på (16x4x4)cm. Da prøverne er geometrisk små er det en fordel med mørtelprøver end betonprøver da der ikke tilsættes sten-tilslag. Der er til gengæld brugt sand-tilslag hvor kornstørrelsen er omkring 2mm. Mørtelprøverne kan bruges som betonprøver, den eneste forskel er at der er blandet med sand i stedet for sten.

3.2.1. Mørtelstøbninger

Der er lavet 3 forskellige mørtelblandingsrecepter for hele projektet. Der er taget udgangspunkt i DS 196-1 for en standard blanding for reference prøver. Derudover er der lavet 2 andre blandinger hvor den ene erstatter 5 % sand med aske og den anden som erstatter 10 % cement med aske.

Nedenunder ses mørtelblandingsrecepter:

Type	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]	Ekstra vand [g]	Note
Reference	450	1350	-	225	0	Flydende, lysegrå farve
Erstatning af 5 % sand med aske	450	1282,5	67,5	225	0	Lidt klumpet, lidt mere rødlig farve
Erstatning af 10 % cement med aske	405	1350	45	225	0	Lidt klumpet, lidt rødlig farve

Tabel 3.2: Oversigt over mørtelblandingsrecepter

Fremgangsmåden for at støbe mørtelprøver er at cement, vand, aske og sand blandes i en røremaskine. Derefter sættes støbningerne på et vibrationsbord så det bliver rystet godt sammen og til sidst liggende til tørre i 24 timer. Efter de 24 timer afformeres prøverne, og de er dermed klar til at lægge i noget destilleret vand i minimum 28 dage så det kan nå at hærde. De ligger i destilleret vand fordi luftfugtigheden skal være på 100 % og fordi så kan prøverne få den optimale styrke. I mellem prøverne skal der være mellemrum når de ligger til hærning så alle sider kan få lige nok vand. Normalt vil beton med tiden blive stærkere og stærkere efter flere år, og får en bedre styrke uden at lægge dem i vand igen efter de 28 dage. Vi lægger dem i vand i 28 dage, da dette er en standard krav.

Prøverne med armeringsjern gøres på samme måde, men denne her gang skal der være nogle klodser i enderne af formene så armeringsjernet kan ligge i midten af prøverne.

I alle prøverne er der ikke tilsat ekstra vand i, da det ikke følte for tørt.

En mere uddybende beskrivelse af mørtelstøbning ses i bilag 8.3.1.

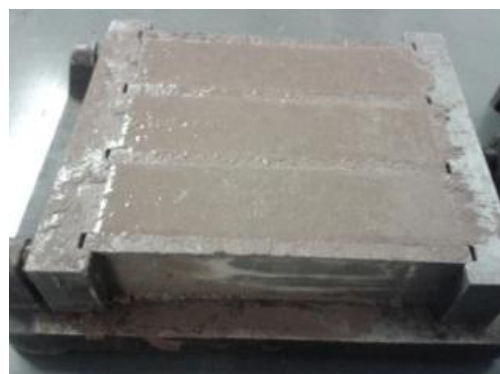
Nedenunder ses billeder af udførelsen:



Figur 3.12: Røremaskine



Figur 3.13: Armeringsstænger placeret midt i former



Figur 3.14: Nystøbt mørtelprøve før afformning



Figur 3.15: Færdig støbt mørtelprøve efter afformning

En oversigt over alle mørtelprøverne ses på nedenstående tabel:

Der ses hvad de forskellige prøver er brugt til, og evt. bemærkninger til prøverne. Der er i alt 16 støbninger som svarer til 48 prøver i alt.

Prøve nr.	Type	Brugt til:
G1 (A, B & C)–ref	Reference	Klorid test uden påtrykning af strøm
G2(A, B & C)–ref	Reference	Klorid test med påtrykning af strøm
G3(A, B & C) - 5 % sand	5 % sand	Klorid test uden påtrykning af strøm
G4(A, B & C) - 5 % sand	5 % sand	Klorid test med påtrykning af strøm
G5(A, B & C) - 10 % cem	10 % cement	Klorid test uden påtrykning af strøm
G6(A, B & C) - 10 % cem	10 % cement	Klorid test med påtrykning af strøm
G7 (A, B & C)–ref	Reference	Volt måling (med armering)
G8 (A, B & C)–ref	Reference	Visuel måling (med armering)
G9 (A, B & C) - 10 % cem	10 % cement	Volt måling (med armering)
G10 (A, B & C) - 10 % cem	10 % cement	Visuel måling (med armering)
G11 (A, B & C) - ref	Reference	Til tryk (brugt som test)
G12(A, B & C) - ref	Reference	Til tryk og leaching
G13(A, B & C) - 5 % sand	5 % sand	Til tryk (brugt som test)
G14(A, B & C) - 5 % sand	5 % sand	Til tryk og leachig
G15(A, B & C) - 10 % cem	10 % cement	Til tryk og leaching
G16(A, B & C) - 10 % cem	10 % cement	Ekstra prøve som ikke er blevet brugt

Tabel 3.3: Oversigt over mørtelprøverne

3.2.2. Trykstyrke

I dette projekt vil der også undersøges for mørtelprøvernes trykstyrke. Det er vigtigt at vide hvor meget styrke beton har når det skal bruges i den virkelige verden for at undgå brud og revner. Dette gøres med en tryktestmaskine, Toni 3000.

Inden der laves trykstyrke prøve på mørtelstøbningerne, vejes og måles alle mørtelprøverne. Dette gøres for at bestemme densiteten og for at udregne trykstyrken. Prøverne blev derefter placeret midt på maskinen, og der blev foretaget to tryk på en prøve. Der laves et tryk i hver ende af prøven. Den afgørende kraft, hvor mørtelprøven bryder, aflæses på Toni maskinen og noteres det ned for at bruge tallet videre til trykstyrke beregning. Udregningerne og resultaterne for dette forsøg ses i næste afsnit med "Resultater og Diskussioner".

Nedenunder ses billeder af fremgangsmåden:



Figur 3.16: Tryktestmaskine, Toni 3000



Figur 3.17: Mørtelprøve efter et tryk i hver ende

3.2.3. Leaching

Formålet med leaching, er at finde tungmetaller i mørtelprøverne. Tungmetaller er kemisk bundne, hvor nogen er vandopløselig. At de kan være vandopløselige er ikke særlig sundt for miljøet, da tungmetaller indeholder giftige stoffer. Det er derfor vigtigt at undersøge tungmetaller i tilfælde som regnvejr. I dette projekt er det et forsøg som worstcase case. Mørtelprøverne vil blive knust inden leaching, da det vil have en hurtigere analyse. Der vil laves en tredobbelt analyse på prøverne, da der ønskes en mere præcis analyse. Derudover er alle tre mørtelblandinger taget med (1xreference, 1x 5 % sand og 1x10 % cement erstatning) pga. deres ændrede egenskaber, da det kan have en betydning for indholdet af tungmetaller. Prøverne fra forsøget viderebruges til ICP-måling.

En mørtelprøve af hver blanding blev delt op i 3 stykker for at lave en tribble bestemmelse. Disse stykker bliver vejet og liggende ind i varmeovn indtil dagen efter. Dagen efter bliver 10g knust og tør mørtelprøve blandet med 20 ml destilleret vand. Derefter stilles de på rystebordet i 23 timer, og efter de 23 timer på rystebordet skal prøverne slappe af i 15 min. Efter 23 timer og de 15 min kan pH værdierne måles. Derefter filtreres prøverne med sug og stilles i køleskabet indtil der laves ICP-måling med henblik på de tungmetaller. Man kan måle hvor mange tungmetaller der kommer ud når asken bliver rystet med vand.

En mere uddybende beskrivelse af forsøget ses i bilag 8.3.2.

3.3. Korrosion

Formålet med korrosionsforsøgene er at finde ud af hvor meget armeringsstålet i de forskellige mørtelprøver bliver korroderet, når mørtelprøverne står i saltvand. Forsøget er ikke gennemført af nogen andre før, derfor er dette forsøg en ny metode. Den nye metode for korrosion vil beskrives gennemførligt, da der ikke er andre som har skrevet en vejledning til den før.

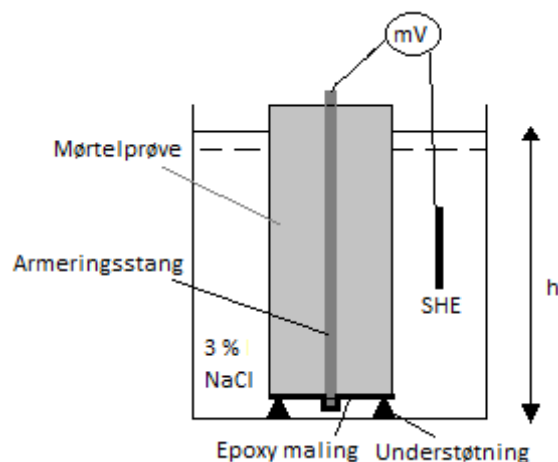
Der laves to forsøg med armeringskorrosion, hvor mørtelprøverne kører en luft-saltvandscyklus. Det ene forsøg er Elektro Kemisk Potentiale måling (EKP) af armeringsstålet inde i mørtelprøverne, og det andet er visuel undersøgelse hvor man til sidst i forsøget skærer prøverne midt over, så man kan se hvordan tværsnittet af armeringsstålet ser ud. Mørtelprøverne til begge forsøg har ligget til hærkning i destilleret vand i 33 dage inden de blev brugt videre til korrosionsforsøgene. Under dette forløb vil mørtelprøverne stå skiftevis en uge i saltvand og en uge til tørre, så der kan ske en reaktion mellem saltvand og ilt for at danne korrosion. For begge forsøg skiftes der saltvand hver anden uge inden mørtelprøverne sættes i saltvand igen, da der både ønskes samme salt koncentration for hele perioden og fordi saltvand kan forsvinde efter et stykke tid når der ikke er låg på spandene.

Begge forsøg er taget udgangspunkt med både reference prøver og mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske. I midten af disse mørtelprøver er der placeret armeringsstænger i. Mørtelprøverne med erstatning af 5 % sand med aske er ikke undersøgt i disse forsøg, da erstatning af 10 % cement med aske vurderes til at være mere risikabelt for korrosion. I alt er der 12 mørtelprøver som bliver testet for korrosion, 6 prøver undersøges med potentiale måling og 6 prøver undersøges visuelt. Der er 3 mørtelprøver med reference og 3 mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske for hvert forsøg.

3.3.1. Potentiale måling:

Elektro Kemisk Potentiale måling (EKP) går ud på at der måles for volt [mV] med en multimeter når prøverne har ligget i destilleret vand med 3 % NaCl i. Prøverne skiftes med at stå i saltvand en uge og til tørre en uge, derfor måles volt hver anden uge indtil den sidste forsøgsdato. Der måles for volt efter 7 døgn i saltvand. Den sidste forsøgsdato samles alle voltmålinger og ser på korrosion ud fra det. Jo højere spænding, jo hurtigere vil det korrodere i armeringsstængerne (korrosion).

Nedenunder ses en figur af forsøgsopstillingen:



Figur 3.18: Forsøgsopstilling af potentiale måling

Fremgangsmåde:

1. Inden mørtelprøverne (1 x ref + 1 x 10% cement) sættes i destilleret vand med 3 % NaCl skal de alle sammen epoxy males inden. De skal kun males på toppen af prøverne inkl. den armeringsstang som stikker ud i enden, så saltvand kun trænger igennem på siderne af mørtelprøverne og på bunden af mørtelprøverne.
2. Efter epoxy maling skal mørtelprøverne ligge i destilleret vand i minimum 3 timer så de bliver vandmættet. De gøres vandmættet for at måle allerede den første dag.
3. Derefter kan prøverne sættes i saltvand i en spand, som består af 3 % NaCl i destilleret vand (30 g NaCl/liter vand). Det svarer til 210 g NaCl til 7 liter destilleret vand.
4. Den ene ende af mørtelprøverne (som er malet) skal ligge i vandet hvorimod den anden ende skal ligge over vandoverfladen, der skal ca. være 1-1,5 cm afstand fra toppen af prøven til vandoverfladen. Den ende som ikke er malet ligger over vandoverfladen, fordi der skal sættes en ledning på armeringsstangen for at måle volt med en multimeter. Der skal fjernes for rust inden kablet sættes på armeringsstangen, så det kan måle volt bedre.
5. Den første time skal der måles for volt flere gange for at se hvor hurtig armeringsstangen reagerer med saltvand og om volt tallet bliver mere og mere stabil efter ca. en times tid.
6. Volt bliver allerede målt den første dag, fordi mørtelprøverne allerede havde ligget i destilleret vand i flere timer inden de kom i saltvand, derfor var de vandmættet nok. Men de kommende uger indtil forsøget afsluttes måles der ikke for volt den første dag efter de har lagt til tørre, da det ikke når at reagere på kort tid. Der måles derfor for volt hver anden uge, inden prøverne tages op til tørre igen.
7. Mørtelprøverne vil dermed køre et luft-saltvandscyklus, hvor de står skiftevis i saltvand og til tørring.

Prøverne skal være vandmættede for at måle på volt. Der vil nemlig ikke komme nogle resultater ud af nogle tørre mørtelprøver, da der ikke overføres strøm. Det er ioner i væske der overfører strøm. De skal skiftes fra tør tilstand til våd tilstand for at der sker en reaktion. Korrosion vil nemlig opstå via. ilt og klorid. Hvis mørtelprøverne kun ligger i saltvand konstant, vil der ikke ske en hurtig reaktion, fordi ilt mangler som elektronacceptor. Der skal være et elektrisk kredsløb for at der foregår korrosion.

På bilag 8.5 ses en beskrivelse af udførelsen med epoxy maling, og på bilag 8.10 ses billeder af alle epoxy malede mørtelprøver. Det kan være nødvendigt at vide hvordan epoxy maling sidder fast på mørtelprøverne, hvis der vil opstå usikkerheder på de kommende resultater.

Luft-saltvandscyklus kører på følgende måde:

- Stil mørtelprøverne i destilleret vand med 3 % NaCl og mål volt på mørtelprøverne - flere gange den første time.
- 7 døgn efter saltvand (3 % NaCl) → volt måles på prøverne og derefter skal de stå til tørre på et bord i 7 dage.
- 7 døgn efter tørring → Saltvand fornyes og prøverne sættes i saltvand uden at måle volt.
- 7 døgn efter saltvand (3 % NaCl) → volt måles på prøverne og derefter tages de op på et bord og tørres i 7 dage igen.
- 7 døgn efter tørring → Saltvand fornyes og prøverne sættes i saltvand uden at måle, og sådan forsætter det indtil den sidste forsøgsdato.

Nedenunder ses billeder af fremgangsmåden:



Figur 3.19: Armeringsstænger før forsøg



Figur 3.20: Potentialemåling, hvor mørtelprøverne står i saltvand



Figur 3.21: Mørtelprøverne står til tørre

3.3.2. Visuel måling:

Visuel måling gennemføres på samme måde som potentiale måling. Den eneste forskel er at der er malet for begge ender af mørtelprøverne, altså på toppen og bunden af prøverne. Hermed er begge ender af armeringsstålet også malet, da der ønskes at saltvand kun trænger ind på siderne af mørtelprøverne. Prøvernes lægges i 3 %NaCl fuld dækket, og der vil ikke måles for volt, da disse prøver skal skæres over for at se på korrosion af armeringsstålets tværsnit. Disse mørtelprøver skæres over i forskellige perioder, så man kan sammenligne korrosion på dem. Ellers køres der samme luft-saltvandscyklus som mørtelprøverne til potentiale måling.

Fremgangsmåde:

1. Inden mørtelprøverne (1xref + 1x10%cement) stilles i destilleret vand med 3 % NaCl, skal prøverne blive epoxy malet. De males i enderne på mørtelprøverne inkl. armeringsstængerne som stikker ud, så saltvand kun trænger ind langsiderne på prøverne.
2. Efter prøverne er epoxy malet, stilles prøverne i destilleret vand i minimum 3 timer så de bliver vandmættet.
3. Derefter sættes prøverne i saltvand i en spand, som består af 3 % NaCl i destilleret vand (30 g NaCl/liter vand). Det svarer til 210 g NaCl i 7 liter destilleret vand.
4. Mørtelprøverne vil derefter køre samme luft-saltvandscyklus som de prøver til potentialemåling, hvor de står skiftevis i saltvand og til tørring for at der skal ske en reaktion mellem oxygen og klorid.
5. Saltvand skiftes ud med noget nyt saltvand hver anden uge for at have den samme koncentration, det vil være på den sikre side.
6. Når forsøget afsluttes, skæres prøverne over og ser om der er opstået korrosion i armeringen.

Nedenunder ses billeder af fremgangsmåden:



Figur 3.22: Mørtelprøver står i saltvand – fuld dækket



Figur 3.23: Mørtelprøver står til tørre



Figur 3.24: Mørtelprøver skåret over - forsøg slttes

3.4. Diffusion

Formålet med diffusion er at undersøge kloridindtrængning i mørtelprøverne, når mørtelprøverne ligger i saltvand. Dette forsøg er heller ikke gennemført af nogen andre før på den her benyttede metode, derfor er dette også en ny metode. Den nye metode for diffusion af klorid vil beskrives gennemførligt, da der ikke er andre som har skrevet en vejledning til den før.

Der laves to forsøg med diffusion af klorid. Det ene forsøg går ud på at stille mørtelprøverne i 3 % NaCl med destilleret vand. Til dette forsøg påtrykkes der elektrisk strøm, så kloridindtrængningen sker hurtigere i mørtelprøverne (migration). Det andet forsøg går ud på at stille mørtelprøverne i saltvand igen, men denne gang vil der ikke påtrykkes elektrisk strøm, og lader kloridindtrængningen ske på den naturlige måde i stille stillestående vand. I dette forsøg vil der være 2 forskellige saltkoncentrationer, halvdelen af mørtelprøverne isættes i 3 % NaCl med destilleret vand, hvorimod den anden halvdel af mørtelprøverne isættes i 9 % NaCl med destilleret vand. Til sidst sammenlignes alle mørtelprøverne med hinanden, og vurderer hvorvidt tilsætning af aske øger kloridindtrængningen. Disse forsøg gennemføres i forskellige perioder. En mere præcis oversigt over forsøgsdatoer ses på bilag 8.1

Begge er udført med både reference prøver, mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske og mørtelprøver med erstatning af 5 % sand med aske. Disse mørtelprøver blev hærdet i destilleret vand i 32 dage inden de kom i saltvand.

Inden mørtelprøverne bliver brugt videre til forsøget med diffusion af klorid, skal prøverne epoxymales langsiderne for at saltvand trænger ind i enderne på dem, altså på toppen og bunden af mørtelprøverne. Efter epoxy maling skal prøverne ligge i destilleret vand i minimum 3 timer for at de bliver vandmættet, der ønskes nemlig ikke kapillarkræfter men ren diffusion. Det er diffusion der virker på kloridionerne. For at sikre om mørtelprøverne bliver vandmættet, vejes mørtelprøverne løbende i de 3 timer, vægten af mørtelprøverne ses på bilag 8.9.1 og 8.9.2.

På bilag 8.5 ses en beskrivelse af epoxy udførelsen.

3.4.1. Kloridtest - med påtrykning af strøm

Dette forsøg går ud på at undersøge kloridindtrængning via elektrisk strøm (migration). Der vil undersøges hvor hurtig kloridioner trænger ind i mørtelprøverne, når der påtrykkes strøm. Der vil yderligere

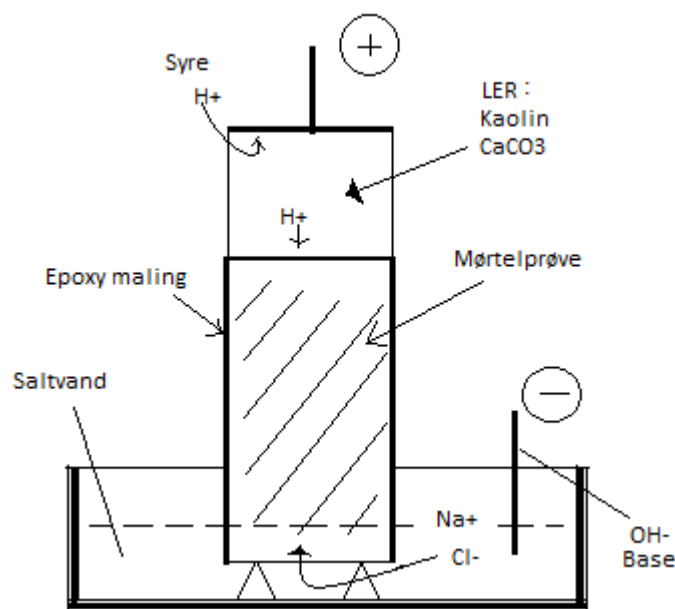
undersøges om asken har en betydning for kloridindtrængning ved at sammenligne med reference prøverne. Da der påtrykkes strøm kan det godt være at kloridioner ikke når at reagere med overfladen af f.eks. aluminiumsforbindelser, derfor laves der også et forsøg hvor strømmen kører hver 12. time, altså der vil være pause i mellem for at se om kloridionerne får lov til at reagere med overfladen. Disse forsøg kaldes for accelererende tests. Mørtelprøvernes størrelse er 16cmx4cmx4cm. I alt er der 9 mørtelprøver til dette forsøg, hvor der bruges 3 prøver af gangen af hver slags mørtelblanding.

I alt laves der 3 forsøg med hensyn til påtrykning af strøm:

- Første forsøg er med påtrykning af strøm – uden automatisk pause. Forsøget varer 7 dage. Forsøget udnyttes som en test ift. de næste forsøg.
- Andet forsøg er med påtrykning af strøm – med automatisk pause. Forsøget varer 2 mdr., hvor der i alt er påtrykning af strøm i 1 måned. Dette forsøg varer længere tid end første forsøg, da der findes ud af at en uges tid er ikke nok til at se kloridindtrængning. Kloridindtrængningen trængte nemlig ikke længere op end fra bunden af mørtelprøverne.
- Tredje forsøg er med påtrykning af strøm – uden automatisk pause. Forsøget varer 1 måned for at sammenligne forsøget fra anden omgang med automatisk pause. Derudover vil det tredje forsøg også sammenlignes med de prøver som har ligget i saltvand i en 1 måned - uden påtrykning af strøm.

På bilag 8.1 ses en oversigt af forsøgene og forsøgsdatoerne.

Nedenunder ses en figur af forsøgsopstilling:



Figur 3.25: Forsøgsopstilling af "Kloridtest – med påtrykning af strøm"

På figur 3.25 ses den forsøgsopstilling når der påtrykkes elektrisk strøm. I forsøget er der brugt ler (300 g Kaolin + 600g CaCO₃ (CalciumKarbonat) + 400g destilleret vand) til at klistre det på toppen af mørtelprøven, da der er høj bufferkapacitet i leret. Når der er høj bufferkapacitet i leret vil syre (H⁺) undgå at komme ned i

mørtelprøverne, og vil i stedet buffer i leret. Hvis bufferkapaciteten bliver overskredet vil der være en risiko for at syre trænger ned i mørtelprøven, derfor er det vigtigt at skifte for ler når det bliver for tørt.

I artiklen med "*L. Tang, Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete – current development, Magazine of Concrete Research. 48 (1996) 173-179*" beskrives en metode som ligner dette forsøg, men der er ikke ler på toppen af prøven. Derfor fravælges forsøg med L. Tang. I denne rapport undersøges der for kloridindtrængning når der er ler på toppen af prøverne, hvilket vil forhindre syre i mørtelprøverne når der påtrykkes strøm. Syre ønskes ikke i betonen, da calciumhydraxid vil ellers gå i opløsning.

I forsøget sættes mørtelprøven i en madkasse med saltvand (3 % NaCl). Der bruges en madkassen da dens geometri i forhold til dybde og bredde er et passende størrelse til forsøget. Madkassens geometri er: 15 x 10 x 7 cm. Mørtelprøven bliver understøttet med et lille plastik låg hvor der skæres huller på siden af den, så saltvand kan sive igennem dette og trænge op i mørtelprøverne fra bunden af. Der sættes et låg på madkassen, hvor der laves et hul til både mørtelprøven og elektroden som sættes i gennem madkasselåget. Der er låg på saltvand, da der ikke ønskes at vandet forsvinder. Der skal være kontakt mellem vand og strøm, hvor leret hjælper med at sørge for kontakten. Dermed vil base(OH⁻) sive op i mørtelprøven fra saltvand, og syre(H⁺) vil forblive i leret og undgår det i mørtelprøven. Saltvand vil sive op i prøven, og calcium vil komme ned i prøven, hvis der er noget. Det gøre ikke noget at der kommer calcium ned i beton, da beton indeholder masser af calcium i forvejen, derfor ses der bort fra det.

Under forsøget skal der skiftes for saltvand en gang om ugen, da der ønskes samme saltkoncentration hele perioden. Det er vigtigt at skifte for saltvand i dette forsøg med påtrykning af strøm i forhold til de andre forsøge uden påtrykning af strøm, da der kun bruges 400 ml saltvand hvorimod i de andre forsøge blev der brugt op til 15 liter saltvand. Saltkoncentrationen vil forsvinde hurtigere i 400 ml saltvand end 15 liter saltvand, derfor skiftes der saltvand en gang om ugen. Derudover skal ler også skiftes hver gang det bliver for tørt. Man kan se på volt målingerne om ler er blevet for tørt, når volt begynder at stige op til 100-150 V og når strømmen [mA] begynder at falde. Hvis det er blevet helt tørt, vil strømforsyningen ikke vise nogle resultater, da der ikke vil være kontakt med leret. Derfor skiftes leret også ca. en gang om ugen, for at have en passende spændingsmåling [V] og strømmåling [mA]. Vådt ler sørger for at der sker en reaktion med strømmingen. Derudover vil pH værdien også ændre når der sættes strøm til, da pH værdierne vil stige op til ca. 12. pH værdien ændres pga. strømreaktion med ioner. På anoden dannes H⁺ (syre) og på katoden dannes der OH⁻ (base). Det samles ligesom celler. Ud fra pH værdien kan man også kontrollere om der er strøm tilstede, da pH værdierne kun stiger med strømmen. Man skal sørge for at ledningerne bliver koblet korrekt på de forskellige elektroder, negativ pol skal forbindes til katoden og positiv pol skal forbindes til anoden for at have en optimal strømning.

Da strømforsyningen ikke viser flere decimaler på maskinen med strømmåling, bruges der en multimeter for at have strømmen til at stå på ca. 1,50 mA. Forsøget kører med jævnstrøm for at have den samme strøm i hele forsøgsperioden og hermed migrerer samme mængde af ioner.

Følgende skal måles i dette forsøg:

Materiale:	Vandindhold	Ledningsevne	pH	Klorid
Mørtelprøve	x	X	x	X
Ler	x	X	x	X
Saltvand				X

Tabel 3.4: Oversigt over forsøgene

3.4.1.1. Kloridtest med påtrykning af strøm - uden automatisk pause

I første omgang tages der hensyn til 7 døgns forsøg, da der er ingen forestilling om hvor hurtigt klorid vil trænge ind i mørtelprøverne, så dette forsøg vil blive foretaget som en test. I de øvrige forsøg vil der tages udgangspunkt fra dette forsøgs resultater.

Beskrivelse af fremgangsmåden og billeder af forsøgets udførelse ses nedenunder:

Fremgangsmåden for hvordan mørtelprøverne placeres i saltvand med påtrykning af strøm:

1. Inden mørtelprøverne (1 x reference, 1 x 5 % sand og 1 x 10% cement) sættes i destilleret vand med 3 % NaCl skal de alle sammen epoxy males inden. De skal kun males langsiderne af prøverne, så saltvand kun trænger igennem fra bunden af mørtelprøverne.
2. Efter epoxy-maling skal mørtelprøverne ligge i destilleret vand i minimum 3 timer så de bliver vandmættet.
3. Der findes 3 madkasser til forsøgene. Madkasserne skal indeholde saltvand. Der bruges en madkasse til en mørtelprøve.
4. Natriumchloride (salt) vejes, da madkassen skal have 30g salt/1 liter destilleret vand.
5. 30 gram NaCl tilføjes i et 1000ml glas med destilleret vand og rystes godt sammen for at opløse saltet i vandet.
6. Derefter laves der et hul i madkassen og skæres et lille plastik låg langsiderne, så saltet kun trænger igennem nedefra. Oppe fra kan der trænge calcium ned i betonen, hvis der er noget.
7. Derefter skæres en karton over som en kasse for at stille det op på prøverne, denne kartonkasse skal indeholde leret. Derefter sættes der et net-elektrode på leret og så en lille smule ler på igen så net-elektroden sidder ordentlig fast. Derefter klistres folie rundt omkring leret, så leret ikke tørrer sig. Leret er lavet for at undgå syre i beton.
8. Kablerne sættes på både net-elektroden og elektroden (den jernstang som kommer ned i madkassen via. et hul i låget). Der skal huskes at have strømmen (current) helt nede og volt (voltage) på max på strømforsyningen.
9. Derefter kan prøverne sættes i 3%-saltvands-opløsning, som består af 3 % NaCl i destilleret vand (30 g NaCl/liter vand).
10. I alt vil der komme 400 ml saltvand ind i madkassen og påtrykkes strøm til ca. 1,5 mA og volt bliver dermed omkring ca. 10, og måler hermed også pH for det.
11. Strømmen bliver målt med multimeter, da den kan måle med flere decimaler, ellers kobles kablerne tilbage til strømforsyningen når der er målt for strømmen. Husk at slukke for maskinen inden man kobler fra og til.
12. Derefter måler man hver dag for strøm, spænding og pH for at holde styr på tallene indtil forsøget afsluttes. Leret skal helst ikke tørre for meget, da det vil ændre på tallene.

Fremgangsmåden for mørtelprøverne når man findervandindhold og kloridindhold:

1. Efter prøverne har fået strøm i en uges tid fjernes epoxy maling på mørtelprøverne.
2. Efter epoxy maling bliver fjernet skæres en prøve i 8 stykker med 2 cm tykkelse. Disse stykker hamres i små stykker og vejes på en petriskål. Prøverne stilles i varmeovn på 105°C indtil dagen efter.
3. Dagen efter tages prøverne ud af varmeovnen (105°C) og vejes igen, for at tjekke for vandindhold.
4. Efter afvejning af prøverne, knuses prøverne med en ringknuser.
5. Derefter følger man vejledning til syreoplukning (se bilag 8.4.1) inden de skal titreres (se bilag 8.4.2) for at regne kloridindhold i procent. Når der titreres måler den sølvnitrat koncentrationen (AgNO_3), og ud fra disse tal kan man måle kloridindhold i procent med en standard ligning som også står i bilag 8.4.2 mht. titrering.
6. Til sidst kan man lave en graf over kloridindhold over en prøve, og se hvor meget klorid har trængt ind i mørtelprøverne.

Fremgangsmåden for mørtelprøverne når man finder pH og ledningsevne:

1. Efter mørtelprøverne er kommet ud af varmeovn (105°C) vejes der 5 g knust mørtelprøve i en plastikbøtte og blander det med 12,5 ml destilleret vand.
2. Disse prøver stilles over til et rystebord indtil dagen efter.
3. Dagen efter måles der for pH og ledningsevne.

Fremgangsmåden for ler når der skal måles vandindhold, pH, ledningsevne og kloridindhold:

1. Efter mørtelprøverne er taget væk fra strøm, skæres leret i små stykker og stiller det i en petriskål.
2. Petriskål og ler vejes og stilles i varmeovn (105°C) indtil dagen efter.
3. Efter mørtelprøverne er kommet ud af varmeovn (105°C) vejes leret med petriskål igen og regner vandindholdet ud.
4. Derefter vejes 10 g knust ler i en plastikbøtte og blander det med 25 ml destilleret vand for at måle pH, ledningsevne og klorid dagen efter.
5. Disse prøver stilles over til et rystebord indtil dagen efter.
6. Dagen efter måles der for pH, ledningsevne og klorid.
7. For at måle klorid skal ler titreres. Ler skal titreres med 5 ml opløst ler som blandes med 2 ml syre (HNO_3) og destilleret vand.
8. Til sidst kan man lave en graf over kloridindhold over ler, og se hvor meget klorid der har trængt ind, hvis der er overhovedet klorid tilstede.

NB: Hvis leret bliver for tørt, skal denne proces gennemføres flere gange for en mørtelprøve, da der skal skiftes ler. Leret skal altid måles for vandindhold, pH, ledningsevne og kloridindhold ved hvert skift.

Fremgangsmåden for saltvand når der skal måles for kloridindhold:

1. Når forsøget bliver færdigt med påtrykning af strøm, måles 0,1 ml saltvand og blandes med 1 ml HNO_3 og 40 ml destilleret vand.
2. Derefter titreres det, og kan lave en graf over kloridindhold.

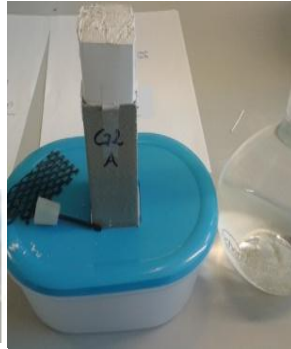
Bemærkninger til forsøgets udførelse:

Den første dag måles der jævnligt (især de første timer) for at holde strømmen på ca. 1,5, og ved siden af det vil der også noteres for volt og pH ned som reagerer med strømmen. Derefter måles der en gang om dagen indtil forsøget afsluttes. Den første dag skal volt helst ikke overstige 20 ellers gøre det ikke så meget i slutningen af forsøgsdagene. Hvis volt stiger for meget og spændingen falder under 1,4 mA, så skiftes der for ler. Det vigtigste er at holde strømmen på ca. 1,5 mA hele tiden ellers gøre det ikke så meget hvis volt stiger og falder lidt. Det vil være ok.

Billeder af udførelsen ses nedenunder:



Figur 3.26: Plastik låg med huller på siden, stilles under mørtelprøven



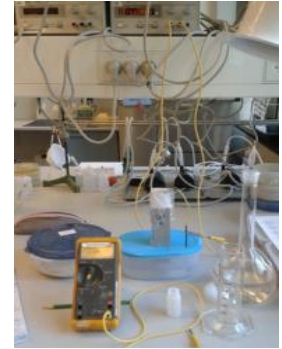
Figur 3.27: Mørtelprøve stilles i en madkasse med saltvand



Figur 3.28: Net-elektrode placeres i leret



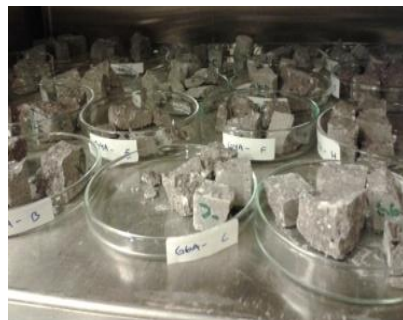
Figur 3.29: Mørtelprøve klistres til med folie



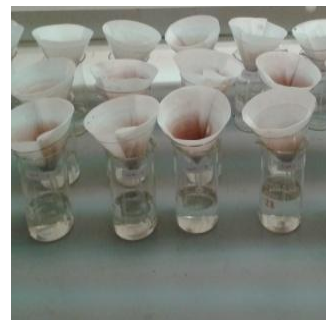
Figur 3.30: Forsøgsopstilling med multimeter



Figur 3.31: Mørtelprøven deles op i 8 dele



Figur 3.32: Mørtel stykkerne sættes over i varmeovn på 105 grader



Figur 3.33: Syreoplukning af mørtelprøverne



Figur 3.34: Titrering (Måling af klorid)

3.4.1.2. Kloridtest med påtrykning af strøm - med automatisk pause

I dette forsøg udføres den samme princip som "Kloridtest med påtrykning af strøm – uden automatisk pause". Den eneste forskel er at strømforsyningen kobles til en 'timer' som er indstillet på at give strøm 12 timer og holde pause i 12 timer (figur 3.35). Sådan vil det køre indtil forsøget afsluttes. I dette forsøg påtrykkes der strøm fra kl. 13.00 til 01.00, og mellem kl. 01.00 og 13.00 er der slukket for påtrykning af strøm.

Dette forsøg varer 60 dage, hvilket betyder at forsøget er udsat for strøm i 30 dage. Dette forsøg varer længere tid end første forsøg, da der findes ud af at en uge er ikke nok til at



Figur 3.35: Timer

se kloridindtrængning i mørtelprøven. Efter en uges tid vil klorid kun sive et par centimeter op i mørtelprøven. Der ønskes mere klorid-indhold i mørtelprøven, derfor kører forsøget længere tid.

I dette forsøg skiftes ler og saltvand lidt oftere end første forsøg, da forsøget varer længere tid.

3.4.1.3. Kloridtest med påtrykning af strøm - uden automatisk pause

I dette forsøg udføres den samme princip som "Kloridtest med påtrykning af strøm – uden automatisk pause". Dette forsøg varer 30 dage, så det kan sammenlignes med "Kloridtest med påtrykning af strøm – med automatisk pause" og første forsøg med "Kloridtest – uden påtrykning af strøm" da der er gået 30 dages forsøg på disse mørtelprøver.

3.4.2. Kloridtest - uden påtrykning af strøm

Dette forsøg går ud på at undersøge kloridindtrængning i mørtelprøverne uden påtrykning af elektrisk strøm. Mørtelprøverne skal kun ligge i nogle kasser med forskellige saltkoncentrationer. Den ene halvdel af mørtelprøverne skal ligge i destilleret vand med 3 % NaCl, hvor den anden halvdel skal ligge i destilleret vand med 9 % NaCl. Der vil undersøges hvor meget kloridioner trænger ind i enderne af mørtelprøverne i forskellige perioder. Der vil yderligere undersøges om asken har en betydning for kloridindtrængning ved at sammenligne med reference prøverne. Efter mørtelprøverne er blevet halveret er størrelserne på prøverne: 8cm x 4cm x 4cm. Der sættes et låg på kasserne med saltvand i, da der ikke ønskes at saltvand forsvinder. Da der er 15 liter saltvand i begge kasser behøves der ikke at skiftes for saltvand løbende, da saltkoncentrationen næsten vil blive det samme.

Beskrivelsen for fremgangsmåden ses nedenunder:

1. Efter mørtelprøverne (1 x reference, 1 x 5 % sand og 1 x 10% cement) har hærdet i 32 dage skal prøverne skæres midt over med en vådsavning. Dette gøres fordi mørtelprøverne skal i saltvand med 2 forskellige saltkoncentrationer. En med 30g NaCl/liter destilleret vand og en med 90 g NaCl/liter destilleret vand.
2. Efter mørtelprøverne er skåret over skal disse prøver epoxy males på langsiderne, så saltvand kun trænger igennem på toppen og bunden af mørtelprøverne.
3. Efter epoxy maling skal mørtelprøverne ligge i destilleret vand i minimum 3 timer så de bliver vandmættet. Der bliver vejtes undervejs for at sikre mørtelprøverne er vandmættet.
4. Der findes 2 kasser frem til forsøgene. Den ene kasse skal indeholde 30 g NaCl / liter destilleret vand og den anden skal indeholde 90 g NaCl / liter destilleret vand.
I forsøget med 3 % NaCl bruges der 15 liter destilleret vand til 450 gram salt, og til forsøget med 9 % NaCl bruges der 15 liter destilleret vand til 1350 gram salt.
5. Dermed skal prøverne ligge i saltvand indtil der skal måles for kloridindhold på forskellige tidspunkter.
6. Efter prøverne har ligget i saltvand indtil den dag der skal måles for kloridindhold, fjernes epoxy maling på mørtelprøverne.
7. Efter epoxy maling bliver fjernet skæres en prøve i 4 stykker med 2 cm tykkelse. Disse stykker knuses i små stykker og vejes på en petriskål. Prøverne stilles i varmeovn på 105°C indtil dagen efter.
8. Dagen efter tages prøverne ud af varmeovnen (105°C) og vejes igen, for at tjekke for vandindhold.

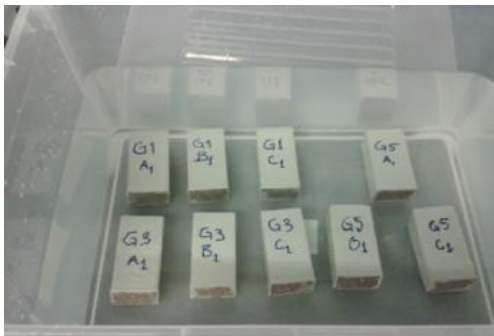
9. Derefter følger man vejledning til syreoplukning (se bilag 8.4.1) inden de skal titreres (se bilag 8.4.2) for at regne kloridindhold i procent. Når der titreres måler den sølvnitrat koncentrationen (AgNO_3), og ud fra disse tal kan man måle kloridindhold i procent med en standard ligning som også står i bilag 8.4.2 mht. titrering.
10. Til sidst kan man lave en graf over kloridindhold over en prøve, og se hvor meget klorid har trængt ind i mørtelprøverne.

I første omgang tages en prøve af hver mørtelblanding. Altså 1 prøve med reference, 1 prøve med erstatning af 5 % sand med aske og 1 prøve med erstatning af 10 % cement med aske. Disse prøver er delt op i 2 dele, hvilket svarer til 6 prøver i alt. Der er derfor 2 prøver med reference, 2 prøver med erstatning af 5 % sand med aske og 2 prøver med erstatning af 10 % cement med aske. Dette betyder at den ene halvdel af reference prøverne er fra 3 %-saltvands-opløsning og den anden halvdel er fra 9 %-saltvands-opløsning. Det samme gælder for de resterende mørtelprøver.

I alt er der 18 prøver til dette forsøg, og for hver omgang (periode) tages der 6 prøver af gangen. 3 prøver fra 3 %-saltvands-opløsning og 3 prøver fra 9 %-saltvands-opløsning for hver mørtelblanding.

I dette forsøg undersøges der ikke for pH og ledningsevne, da disse ikke vil ændre så meget da der ikke blev påtrykket strøm.

Nedenunder ses billeder af forsøgets udførelse:



Figur 3.36: Mørtelprøver i saltvand (3 % NaCl)



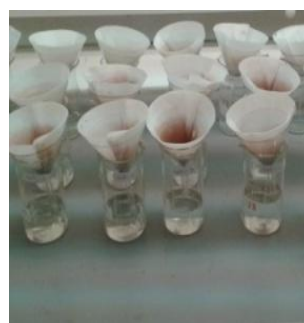
Figur 3.37: Mørtelprøver i saltvand (9 % NaCl)



Figur 3.38: Mørtelprøve deles op i 4 dele



Figur 3.31: Mørtel stykkerne sættes over i varmeovn på 105 grader



Figur 3.40: Syreoplukning af mørtelprøve



Figur 2: Titrering (Måling af klorid)

4. Resultater og diskussion

I dette afsnit vil der være overblik over alle forsøgsresultaterne med tilhørende grafer. Der vil derudover tilføres en deldiskussion for et hvert emne i forhold til resultaterne. Tilhørende rådata til resultaterne vil stå i tabellerne i bilag.

4.1. Karakteristik af asken

I dette afsnit er der foretaget askekarakteristik, hvilket er sammenlignet med tidligere projekter.

4.1.1. Avedøre slamaske sammenlignet med tidligere projekter

I dette projekt er der udført en askekarakteristik for slamaske fra Avedøre I/S (Avedøre Ny – 2). Slamasken fra Avedøre vil blive sammenlignet med tidligere projekter af [Rosenmai og Svendsen, 2012], [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013]. Dette vil blive gjort for at se en sammenhæng i mellem slamaskernes egenskaber i forhold til når det har stået i depot eller kommer fra et andet spildevandsanlæg.

På den nedenstående tabel ses en samlet liste over askekarakteristik for dette projekt og de tidligere projekter. Resultaterne er middelværdier for de forskellige forsøg, hvilket kan ses i den nedenstående tabel, hvorimod de øvrige data ses i bilag 8.6.1.

Forsøgene	Avedøre Ny - 2	Avedøre Ny – 1	Lynette Ny	Lynette Depot
Vandindhold [%]	0,16 ± 0,01	-	0,09 ± 0,04	14,4
Vandopløselighed [%]	29,5	-	5,12 ± 2,65	0,83
ph [-]	9,6 ± 0,10	10,37 ± 0,02	12,5 ± 0,05	8,29
Ledningsevne [mS/cm]	2,52 ± 0,14	2,12 ± 0,02	7,81 ± 0,02	5,59
Glødetab [%]	0,57 ± 0,07	0,3 ± 0,1	0,25 ± 0,05	0,16

Tabel 4.1: Askekarakteristik af de forskellige slamasker (Tallene for Avedøre Ny – 2 er taget fra bilag 8.6.1, de øvrige tal er taget fra følgende rapporter [Rosenmai og Svendsen, 2012], [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013]).

På ovenstående tabel ses Avedøre Ny – 2 (ikke fra depot), som er gennemført i dette projekt. Avedøre Ny – 1 (ikke fra depot), er blevet gennemført af [Rosenmai og Svendsen, 2012], Lynette Ny (ikke fra depot) er gennemført af [Reiff og Meldgaard, 2013] og Lynette Depot (fra depot) er gennemført af [Carlsen og Petersen, 2013].

4.1.2. Vandindhold og vandopløselighed

Som det ses på tabel 4.1, er vandindholdet af asken (Avedøre Ny-2) ca. 0,16 %, hvilket er lidt mere end Lynette Ny. I forhold til Lynette Depot, er slamaskerne fra Avedøre Ny-2 og Lynette Ny betydelig mindre, hvilket kan skyldes at Lynette Depot har stået i depot udenfor, hvor det kan blive påvirket af omgivelser. Det kan være såsom regn og fugt, hvis depotet står tæt på havvandet. I en situation med højt vandindhold skal der tages hensyn til v/c-forholdet, da en høj vandindhold i aske kan mindske betonens styrke. Det gælder specielt for asker fra depot med høj vandindhold. De nye asker har ikke den største indflydelse, da deres vandindhold ikke er ret store. Vandopløseligheden er hermed en del højere for Avedøre Ny – 2 i forhold til askerne fra Lynette I/s. Dette kan evt. skyldes at askerne fra Lynette I/s har stået i et mere fugtigt miljø (tættere på havvand) i forhold til asken fra Avedøre I/s, hvilket kan have en betydning hvis låget har været lidt åbent eller har været mere utæt [Reiff og Meldgaard, 2013]. Miljøet har en stor betydning som det også ses på Lynette Ny og Lynette Depot, da asken udenfor (depot) kan blive ramt af regnvejr og har skyllet noget af de vandopløselige stoffer ud i asken. Asken fra Avedøre Ny - 2 indeholder betydelig mere vandopløselige stoffer end Lynette Ny, selvom begge asker kommer direkte fra ovnen.

4.1.3. pH-målinger og ledningsevne

Som det ses på tabel 4.1 er pH værdierne nogen lunde ens med hinanden, hvor de alle sammen er basiske som beton. Miljøet for asken kan også påvirke pH værdierne, da det kan ses at asken fra Lynette Depot har den mindste pH værdi, hvilket kan skyldes regnen igen. pH værdien i asken vil også have en betydning for betonen, da det kan mindske pH værdien i betonen. Jo mindre pH værdi, jo mere risiko for korrosion i en armeret beton. Ledningsevne fortæller om hvordan en elektrisk strøm vil lede igennem en væske, hvilket vil være afhængig af saltioner. Som det ses på tabel 4.1 er askernes ledningsevne for Avedøre næsten det samme, hvorimod askerne fra Lynette er højere. Jo højere ledningsevnen er, jo mindre saltioner i asken. Dermed kan man konkludere at aske fra Avedøre indeholder flere saltioner end aske fra Lynette. Det passer også godt i forhold til pH værdierne, da Avedøre Ny har en lavere pH værdi end Lynette Ny.

4.1.4. Glødetab

Glødetab bestemmer indholdet af organiske materiale. Som det ses på tabel 4.1 har alle 4 asker en lav værdi mht. glødetab, hvilket overholder kravet fra DS/EN 450 – 1. I DS/EN 450 – 1 er den maksimale værdi for flyveaske 5 % mht. glødetab, hvilket antages at det også gælder for slamaske. Da glødetabet er så lav for dem alle, betyder det at både Avedøre I/S og Lynette I/S forbrænder godt.

4.1.5. Tungmetaller og salte

Salte og tungmetaller er interessant at undersøge med hensyn til slamaskens anvendelighed. Det er vigtigt at vide hvor meget tungmetaller og salte slamasken indeholder, da det både kan påvirke miljøet og være skadelig for konstruktioner. Tungmetaller kan være skadelig for miljøet på grund af deres giftighed, og salte kan være skadelig for konstruktionernes holdbarhed, da det bl.a. medfører korrosion i en armeret beton.

Slamasken bliver igen sammenlignet med tidligere projekter [Rosenmai og Svendsen, 2012], [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013].

Alle rådata for tungmetaller og salte kan ses i bilag 8.6.2 og 8.6.3.

Indhold af mikro og makro elementer:

Dette forsøg er taget udgangspunkt i DS 259. Den danske standard benyttes for at bestemme metalkoncentrationen for udvalgte metaller i asken.

Nedenstående tabel viser gennemsnit af tungmetaller via. ICP-målinger for slamaske (oplukning):

Tungmetaller	Avedøre Ny - 2	Avedøre Ny - 1	Lynette Ny	Lynette Depot
Arsen (As) [mg/kg]	5,25 ± 0,65	-	-	-
Aluminium (Al) [mg/kg]	22100 ± 610	20130 ± 540	21151	19463
Cadmium (Cd) [mg/kg]	3,54 ± 0,35	3,4 ± 0,1	2,21	2,17
Krom (Cr) [mg/kg]	46,9 ± 1,06	80,0 ± 2,0	29,7	28,6
Kobber (Cu) [mg/kg]	815 ± 17,9	550 ± 10,0	711	694
Nikkel (Ni) [mg/kg]	62,0 ± 1,56	60,0 ± 1,0	35,2	35,4
Bly (Pb) [mg/kg]	253 ± 181	90,0 ± 1,0	103	99,47
Zink (Zn) [mg/kg]	2410 ± 72,2	2160 ± 60,0	3060	2810
Jern (Fe) [mg/kg]	53200 ± 1530	78240 ± 2930	44034	-
Fosfor (P) [mg/kg]	112000 ± 2160	105410 ± 3770	161119	-

Tabel 4.2: Resultater for mikro og makro elementer af slamaske (Tallene for Avedøre Ny – 2 er taget fra bilag 8.6.2.1, de øvrige tal er taget fra følgende rapporter [Rosenmai og Svendsen, 2012], [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013]).

Som det ses på tabel 4.2 er slamaskens tungmetaller fra Avedøre Ny - 2 sammenlignet med de tidligere DTU projekter. På disse resultater ser man at værdierne ligger tæt op ad hinanden. Disse værdier vil derudover sammenlignes med miljøstyrelsens grænseværdier for indhold af stoffer [BEK, 2010], se teori afsnittet tabel 2.2. Ud fra [BEK, 2010] kan man finde ud af hvilken kategori disse tungmetaller overholder. Der er 3 forskellige kategorier, hvor kategori 1 gælder for anvendelse for bygge- og anlægsområder og hvor kategori 2 og 3 gælder for begrænsede anvendelsesmuligheder. Ud fra den ovenstående tabel ses at slamaskes tungmetaller fra Avedøre ligger alle i kategori 2, på nær Cr og As som ligger i kategori 1. Som helhed vil slamasken derfor ligge i kategori 2, hvilket gælder for begrænsede områder. Slammaske fra Lynette Ny og Lynette Depot ligger også som helhed i kategori 2, da det kun er Cr og As som overholder kategori 1. Det skal nævnes at kategori 1 er den bedste, da man kan anvende slammaske i alle byggeri- og anlægsområder i stedet for begrænsede områder som kategori 2 tillader. I dette forsøg skylles tungmetaller med syre. Der vil også tages hensyn til udvaskning med vand af slammaske. Der kunne ikke findes grænseværdier for Al, Fe og P, derfor diskuteres disse ikke nærmere. Men en ting kan nævnes, det er at fosfor (P) er betydelig højere end de andre tungmetaller, hvilket er godt da der i fremtiden ønskes at udvinde fosfor. Og Fe ser ud til at være betydelig højere for Avedøre end Lynette Ny, hvilket kan give en mere rødlig farve i beton som er mindre godt.

Inden slamasken bliver anvendt i byggerier kan det være nødvendigt at udtrække tungmetaller fra slamasken i fremtiden for at overholde kategori 1.

Leaching:

Ud over slamasken blev vasket med syre mht. tungmetaller, blev det også vasket med destilleret vand (leaching), hvilket kan ses på den nedenstående tabel (Ud fra ICP-målinger).

Tungmetaller	Avedøre Ny - 2	Lynette Ny	Lynette Depot
Arsen (As) [mg/kg]	0,02 ± 0,03	-	-
Aluminium (Al) [mg/kg]	0,20 ± 0,03	-	-
Cadmium (Cd) [mg/kg]	0,00 ± 0,00	0,00	0,00
Krom (Cr) [mg/kg]	0,00 ± 0,00	0,08	0,02
Kobber (Cu) [mg/kg]	0,01 ± 0,00	0,10	0,03
Nikkel (Ni) [mg/kg]	0,01 ± 0,01	0,00	0,00
Bly (Pb) [mg/kg]	0,05 ± 0,01	0,09	0,03
Zink (Zn) [mg/kg]	0,00 ± 0,00	0,07	0,01
Jern (Fe) [mg/kg]	0,00 ± 0,00	-	-
Fosfor (P) [mg/kg]	0,98 ± 0,14	-	-

Tabel 4.3: Resultater for leaching for slammaske (Tallene for Avedøre Ny – 2 er taget fra bilag 8.6.2.2, de øvrige tal er taget fra følgende rapporter [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013]).

Som det ses på tabel 4.3 er værdierne betydelig mindre end de forrige værdier fra tabel 4.2, hvilket skyldes at slamasken bliver vasket med vand. Dette gælder både for slamasken fra Avedøre og slamasken fra Lynette. Da disse værdier er så lave som de er, vil slamasken både fra Avedøre og slamasken fra Lynette ligge i kategori 1 som kan anvendes for byggeri- og anlægsområder, og kan dermed tillade at benytte slammaske som tillægsstof i beton. Derudover kan man endnu engang se at fosfor giver det højeste værdi, hvilket igen vil være godt for fremtiden da det kan udvindes.

I afsnit 4.2.2 kan man se resultaterne for tungmetaller efter udvaskning af mørtelprøverne, hvor man kan se hvor meget tungmetaller der skylles ud af mørtelprøven ud fra et bestemt indhold af slammaske. Disse resultater vil være vigtige for at se om man kan anvende slammaske som en del af tilsætningsstof uden der skylles for mange tungmetaller ud, da det kan være skadeligt for miljøet i et regnvejr situation.

Vandopløselige anioner (salte):

Ud over tungmetaller blev der også undersøgt for salte i slammaske, da det er vigtigt at vide med hensyn til risiko for korrosion af en armeret beton.

Nedenstående tabel viser salte, via IC-målinger (Ionchromotograf):

Salte	Avedøre Ny - 2	Lynette Ny	Lynette Depot
Cl (Chlorid)	27,8 ± 0,11	96,5 ± 10,0	1330 ± 32,6
NO ₃ (Nitrat)	7,30 ± 0,06	3,72 ± 0,5	98,4 ± 1,1
SO ₄ (Sulfat)	7050 ± 63,8	10200 ± 222	13000 ± 30,6

Tabel 4.4: Resultater for saltindhold for slammaske (Tallene for Avedøre Ny - 2 er taget fra bilag 8.6.3, de øvrige tal er taget fra følgende rapporter [Reiff og Meldgaard, 2013] og [Carlsen og Petersen, 2013]).

Som det ses på tabel 4.4 kan man tydelig se at Lynette Depot indeholder den højeste værdi for salte, hvilket kan skyldes at de i den tidligere DTU projekt har brugt noget slammaske som har lagt i depot ved siden af havvand. Dette kan medføre at slammasken optager noget af havets salte. Regnvejr plejer at skylle noget af slammaskens salte, men at slammasken befinder sig ved siden af havvand giver en mere betydning for saltindholdet. Det kan også komme an på hvor man har taget asken fra, da slammaskens overflade fra depotet kan indeholde mere saltindhold. Når man sammenligner de nye asker med hinanden, kan man se at slammaske fra Avedøre indeholder mindre Cl og SO₄, hvorimod NO₃ er lidt højere, men disse resultater ligger meget tættere på hinanden end slammasken fra depot. Det skal noteres at saltindholdet kan også komme an på hvilken årstid man henter asken, da om vinteren kan der være saltede veje, og dermed påvirker slammasken.

I denne rapport ses der både på mørtelprøverne med og uden armeringsstænger, og som tidligere beskrevet vil der opstå korrosion i armeringsstangen, hvis prøven indeholder meget saltioner. Ud fra DS/EN 206 -1 ses kravene for saltindhold i forhold til cement, hvilket er vist i teori afsnittet, se tabel 2.3. Ud fra disse krav tages der hensyn til mørtelprøverne med slammaske fra Avedøre.

På den nedenstående tabel ses kloridindholdet for de anvendte mørtelblandinger:

Mørtelprøve	Indhold af cement [g]	Indhold af aske [g]	Klorid pr. kg. aske [mg/kg]	Klorid i prøve [g]	Klorid ift. cementvægten [%]
Reference	450	0	0	0	0
5 % sand	450	67,5	27,8	0,0018765	0,0004
10 % cement	405	45	27,8	0,001251	0,0003

Tabel 4.5: Det gennemsnitlige kloridindhold for mørtelblandinger

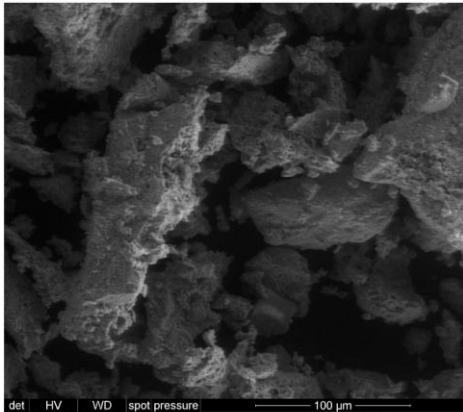
Ud fra DS/EN 206-1 ses det at de beregnede kloridindhold for dette projekts mørtelblandinger overholder kravene, da maksimum værdierne for DS/EN 206 -1 ligger omkring 0,1 til 1 %. I dette projekt er den maksimale kloridindhold på 0,004% for mørtelprøverne med erstatning af 5 % sand med slammaske, hvilket er langt under kravene. Derudover kan man også ud fra teori afsnittet, tabel 2.5 se at for DS/EN 450-1 er den maksimale kloridindhold for beton med flyveaske på 0,1 %, hvilket også er overholdt for slammasken. Ud

fra disse krav kan man godt tillade at bruge slamaske i beton, hvilket er et positivt resultat for både beton med eller uden armeringsstang.

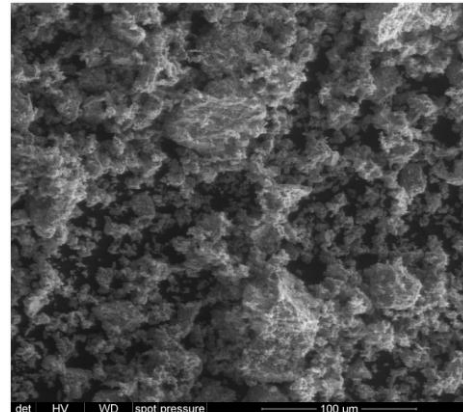
4.1.6. Scanning Elektron Microscopy (SEM) and Mapping

Der er lavet flere undersøgelser med asken. Der er lavet en SEM og Mapping analyse af Avedøre Ny - 2 slamaske, hvilket igen bliver sammenlignet med andre projekter hvor askerne analyseres som både knust og ikke-knust aske.

På nedenstående figurer ses slamaskens struktur fra Avedøre Ny - 2 som er udført med en SEM-analyse:



Figur 4.1: Slamaskens struktur fra Avedøre (ikke knust) x 500

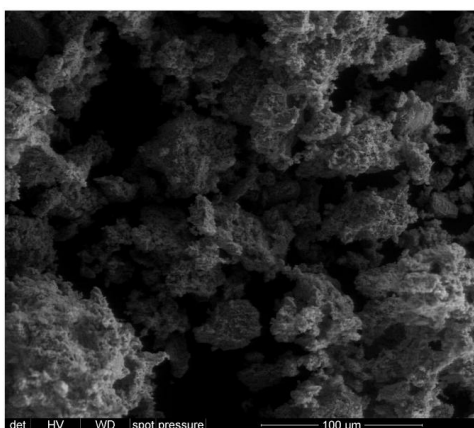


Figur 4.2: Slamaskens struktur fra Avedøre (knust) x 500

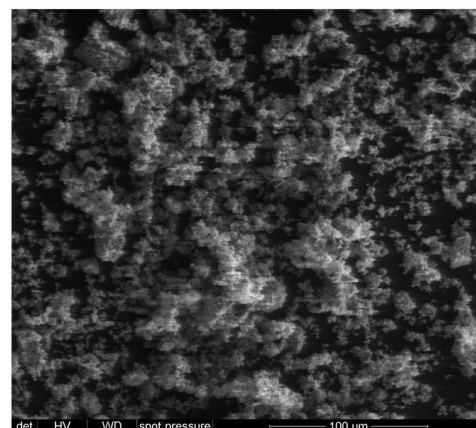
Som det ses på figurerne kan man tydelig se forskellen på en knust og ikke-knust aske. Den ikke-knuste aske ses til at have større partikler end knust aske, da knust aske ser mere fint og mere fordelt ud. Når asken bliver mere fint vil det øge pakningsgraden, hvilket vil også forbedre styrken. Derfor ses det at det er en god idé at knuse asken med en ringknuser inden benyttelse. Billederne er forstørret 500 gange.

I forhold til slamaske fra Lynette ser slamaske fra Avedøre lidt anderledes ud. Slamaske fra Avedøre Ny - 2 er sammenlignet med slamaske fra Lynette Ny som er udført af [Andreasen og Jørgensen, 2014].

Nedenstående billeder viser slamaske fra Lynette Ny, hvor asken er både knust og ikke knust:



Figur 4.3: Slamaskens struktur fra Lynette Ny (ikke-knust) x 500



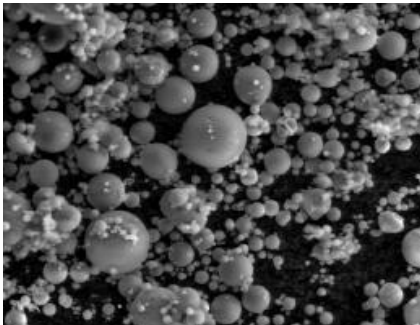
Figur 4.4: Slamaskens struktur fra Lynette Ny (knust) x 500

Som det ses på billederne ovenpå har Lynette Ny (knust) flere af de små askekorn end Avedøre Ny - 2. Når man kigger på Lynette Ny (ikke-knust) kan man se at kornene ser mere kantet ud i forhold til slamasken fra Avedøre Ny - 2, da disse ser mere runde ud. Derudover kan man ud fra billederne vurdere om askerne er

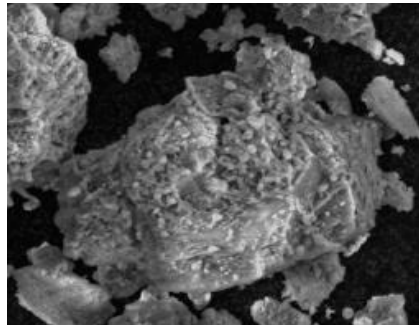
porøse, hvilket man kan definere ud fra deres huller/porer, men da der kun ses på overfladen af asken, kan man ikke være 100 % sikker på om hvordan porøsiteten vil se inden i asken. Ellers kan man i begge situationer se at ringknuseren virker effektivt med hensyn til at askekornene bliver finere og øger pakningsgraden, hvilket er godt.

I de tidligere projekter [Carlsen og Petersen, 2013] har de undersøgt at slamaskens partikler er større end flyveaske, derfor har de knust slamasken med en ringknuser hvilket resulterede i at det lignede flyveasken.

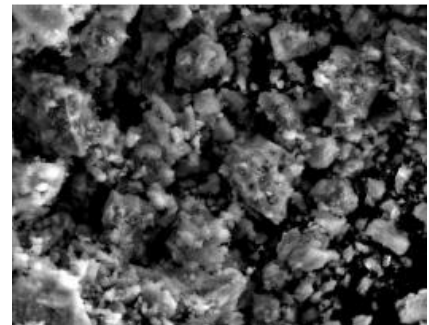
På de nedenstående billeder ses forholdet mellem flyveaske og slamaske:



Figur 4.5: Struktur for flyveaske x 1500



Figur 4.6: Slammaske struktur fra Lynette (ikke-knust) x 1500



Figur 4.7: Slammaske struktur fra Lynette (knust) x 1500

Som det ses på de ovenstående billeder for flyveaske og slammaske fra Lynette er slamasken (ikke-knust) en del større end flyveasken. Efter knusningen af slammaske ligner slamasken mere flyveasken, hvilket ser finere ud. Flyveasken har runde kanter hvorimod slamasken har mere kantede kanter. Flyveasken er kendt for dens positive virkninger, såsom øget pakningsgrad og virkning som puzzolan-effekt, hvilket gør betonen stærkere. Derfor er der endnu en god grund til at slamasken ligner flyveasken efter det bliver knust. Slamasken vil i denne rapport antages som flyveaske, når der tages hensyn til nogle standarder/normer.

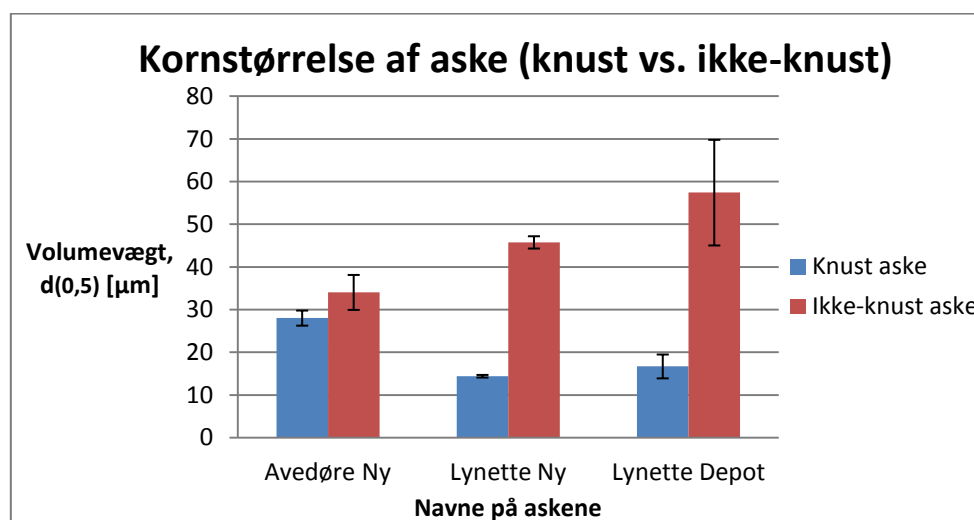
Derudover er der udført Mapping (fra SEM), hvor man kan se askens mineralogi. Man kan se en oversigt over de forskellige elementer på overfladen af slammaske fra Avedøre Ny - 2. Man skal være opmærksom på at målingerne for grundstofferne ikke kan være helt præcise da der kun kigges på overflade af asken, derfor er der lavet en mere præcis måling med ICP mht. askens metaller/tungmetaller. Derudover skal man også være opmærksom på at i "Mapping" ses alle grundstofferne jævnt fordelt på overfladen, men grundstoffet karbon vil være en undtagelse, da det i virkeligheden stammer mest fra den tape som måler disse resultater, og ikke selve asken. Billederne for Mapping ses på bilag 8.6.5, hvor man kan se alle detaljer af grundstoffernes fordeling på overfladen af asken. På billederne kan man se at Cl og NaCl er også fint fordelt på overfladen ligesom de andre grundstoffer såsom Al og Fe, men klorid indholdet ser ud til at være mindre. Klorid og NaCl er vigtig at vide i forhold til de kommende undersøgelser mht. korrosion. Når man sammenligner slamasken fra Avedøre Ny - 2 med en anden gruppe som har arbejdet med ny slammaske fra Lynette [Reiff og Meldgaard, 2013] ses det at slammaske fra Avedøre Ny - 2 indeholder mere Fe, hvilket kan tyde på det mere rødlige farve, se tabel 4.1.

På bilag 8.6.5 ses alle rådata og tilhørende grafer for asken fra Avedøre Ny - 2 mht. SEM og Mapping.

4.1.7. Kornstørrelse:

Sammenligning med to andre grupper [Rem, 2014] og [Andreasen og Jørgensen, 2014] analyseres kornstørrelserne af askerne, hvor der tages hensyn til både knust aske og ikke-knust aske. Ud fra denne analyse kan man se hvor fin og hvor stor den største aske er. Der er taget en tribble-analyse for hver prøve, hvilket er gennemført 2 gange af samme slags aske, f.eks. Avedøre knust aske. Derefter er dette gentaget for Avedøre ikke-knust aske. Der tages et gennemsnit af to middelværdier af tribble-analyserne, hvilket sammenlignes med de 2 andre grupper. Graferne og tilhørende data for kornstørrelserne ses på bilag 8.6.4.

På den nedenstående graf ses værdierne for 50 % ($d_{50\%}$) af kornstørrelserne for både knust aske og ikke-knust aske, hvilket sammenlignes med de to andre grupper, [Andreasen og Jørgensen, 2014] med Lynette Ny og [Rem, 2014] med Lynette Depot.



Figur 4.8: Kornstørrelse for de forskellige asker (Data til 'Avedøre Ny' er taget fra bilag 8.6.4, og de øvrige data for Lynette Ny og Lynette Depot findes i sideløbende rapporter [Andreasen og Jørgensen, 2014] og [Rem, 2014])

Som det ses er kornstørrelsen for Avedøre forholdsvis ens i forhold til knust og ikke knust aske. Dette betyder at knusningen ikke har givet den store forskel for asken. Kornstørrelsen er relativ små i begge situationer. Når der kigges på Lynette Ny, ses det at kornstørrelsen af asken bliver meget mindre efter knusning med en ringknuser. Den knuste aske bliver mere end halveret i størrelsen i forhold til ikke-knust aske, hvilket har virket mere effektivt end asken fra Avedøre Ny. Det samme gælder for Lynette Depot, hvor kornstørrelsen af asken halveres mere end halvdelen, dog er det en smule større end Lynette Ny og mindre en Avedøre Ny. Den store kornstørrelse for Lynette Depot kan skyldes at det indeholder mere vand end de nye slamasker, da det har stået i depot i stedet for at komme direkte fra ovnen. Ringknuseren har virket mest effektiv for slamaske fra Lynette Depot, hvilket har øget pakningsgraden en del. Som det ses bliver spredningen også betydelig mindre for Lynette Depot (knust) i forhold til Lynette Depot (ikke knust), hvilket også betyder at usikkerheden af prøven sænkes. Når man sammenligner disse asker med hinanden kan det ses at det bedste resultat efter knusning mht. kornstørrelse er asken fra Lynette Ny, hvilket er omkring 14 µm, hvorimod Avedøre Ny giver den største kornstørrelse på omkring 28 µm, hvilket svarer til det dobbelte. Når der kigges på ikke-knust aske, vil asken fra Avedøre Ny have det bedste resultat, hvilket er omkring 34 µm, hvorimod den største korn ses ved Lynette Depot på omkring 57 µm. Alt i alt kan det konkluderes at asken fra Avedøre Ny påvirkes mindst mht. knusning, og at det indeholder små kornstørrelser fra starten, inden knusningen.

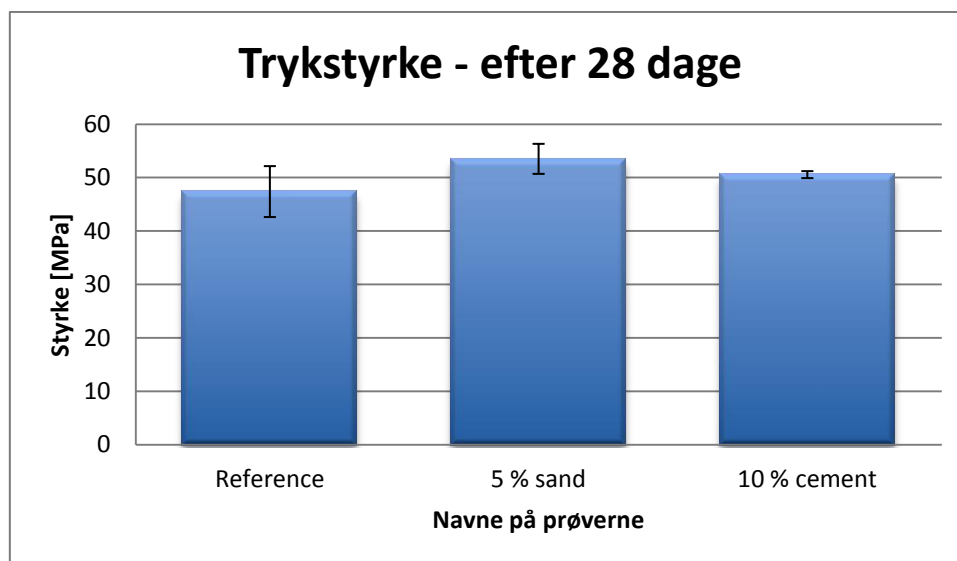
4.2. Materialeprøvning

I denne rapport er der yderligere undersøgt for trykstyrke mht. de forskellige mørtelblandinger. Det er vigtigt at vide hvor meget styrke beton har når det skal bruges i den virkelige verden for at undgå brud og revner. Dette gøres med en tryktestmaskine, Toni 3000, hvilket er beskrevet i afsnit 3.2.2. Derudover er der lavet en "leaching" for at finde tungmetaller i mørtelprøverne. Nogen af tungmetaller kan godt være vandopløselige, hvilket ikke vil være sundt for miljøet, da tungmetaller indeholder giftige stoffer. Dette undersøges i tilfælde af regnvejr. "Leaching" er lavet via. ICP-måling.

4.2.1. Trykstyrke

I denne rapport er der foretaget et forsøg med trykstyrke, hvor mørtelprøverne kommer igennem en trykmaskine (Toni 3000) efter 28 dages hærdning, hvilket er en standard periode for hærdning af mørtelprøver. Der er taget hensyn til referenceprøver (uden aske), mørtelprøver med erstatning af 5 % sand med aske og mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske. Ud fra disse trykstyrker kan man vurdere hvor god asken har virket i forhold til referenceprøverne. Referenceprøverne er udført efter DS/EN 196-1.

På den nedenstående graf ses trykstyrken for de forskellige mørtelprøver, hvor man kan se om slamasken giver en positiv virkning.



Figur 4.9: Trykstyrke og spredning for mørtelprøverne (Data er taget fra bilag 8.7.1)

Som det ses på grafen får referenceprøverne den mindste værdi ift. trykstyrken og mørtelprøverne med erstatning af 5 % sand med aske giver den højeste værdi ift. trykstyrken, hvilket betyder at slamasken virker godt med hensyn til styrken. På grafen ses middelværdierne for trykstyrkerne, samt spredningen ud fra 3 test for hver mørteltype. Den største spredning ses på referenceprøven, hvilket også betyder at den største usikkerhed findes på denne prøve. Grafen er lavet på baggrund af nogle målinger og resultater fra Toni 3000 maskinen, hvilket kan ses på bilag 8.7.1.

Selvom der ikke ses så meget forskel imellem disse prøver mht. trykstyrken, er der enighed med de tidligere projekter mht. at knust slamaske giver en bedre styrke i beton, det har en tendens til at blive lidt stærkere. Ud fra tidligere projekter [Reiff og Meldgaard, 2013] blev det nemlig fundet at mørtelprøverne med erstatning af 10 % cement med *knust* slamaske giver en bedre styrke end en referenceprøve, derudover

har de også konkluderet at knust aske generelt giver en bedre styrke end ikke-knust aske [Rosenmai og Svendsen, 2012]. Disse grupper er også kommet frem til at styrken udvikler sig med tiden, da de har taget nogle prøver efter forskellige uger efter hærningen. Ud fra deres resultater kan det siges at styrkeudviklingen sker mest op til 28 dage, hvor det så derfra stiger en lille smule. Derfor er det antaget at mørtelprøverne skal hærde i 28 dage. Derudover kan man også konkludere fra de tidligere projekter at den knuste aske giver en god mulighed for at starte hydratisering, hvilket giver en hurtigere styrkeudviklingen. Når asken bliver knust, vil der nemlig være mange små askepartikler hvilket giver en større overfladeareal og dermed starter hydratisering. Dette vil sige at blandingen kittes hurtigere sammen og dermed afbinder mørtlen sig hurtigere. Alt i alt kan det siges at *knust* slamaske i mørtelprøve virker positivt mht. styrken, da asken har et bidrag til pakningsgraden.

4.2.2. Leaching

Ud over trykstyrken er der også foretaget leaching for mørtelprøverne efter 28 dages hærning, hvor der tages hensyn til tungmetaller i tilfælde af at mørtelprøverne bliver udsat for regnvejr. Tungmetaller kan være giftige og skadelig for miljøet, derfor er det vigtigt at undersøge hvor meget tungmetaller siver ud af betonen når der bliver en kontakt med vand.

På den nedenstående tabel ses resultaterne for tungmetaller:

Tungmetaller	REFERENCE	5 % SAND	10 % CEMENT
Aluminium (Al) [mg/kg]	0,19 ± 0,06	0,18 ± 0,02	0,15 ± 0,00
Cadmium (Cd) [mg/kg]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Krom (Cr) [mg/kg]	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,00	0,09 ± 0,00
Kobber (Cu) [mg/kg]	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00
Nikkel (Ni) [mg/kg]	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,01
Bly (Pb) [mg/kg]	0,06 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,02
Zink (Zn) [mg/kg]	0,07 ± 0,03	0,04 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Jern (Fe) [mg/kg]	0,02 ± 0,03	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Fosfor (P) [mg/kg]	0,49 ± 0,06	0,48 ± 0,20	0,79 ± 0,21

Tabel 4.6: Leaching for mørtelprøver (Data er taget fra bilag 8.7.2)

Som det ses på tabel 4.6 ligger alle værdier for tungmetaller indenfor kategori 1 i [BEK, 2010], hvilket betyder at de tre forskellige mørtelblandinger kan anvendes i byggeri- og anlægsområder.

Det kan hermed konkluderes at tilsætningsstof som slamaske godt kan benyttes og kan give et positiv bidrag i fremtidens byggerier uden der siver for mange tungmetaller ud i forhold til referenceprøverne uden slamaske i. Som det ses er det mest fosfor der siver ud i alle tre mørtelblandinger men mørtelprøven med erstatning af 10 % cement med slamaske giver den højeste værdi for fosfor og mindste værdier for de øvrige tungmetaller, hvilket er rigtig godt. Derfor kan man med en fordel anvende slamaske i beton i stedet for en del af cementen.

Derudover er der i tidligere DTU projekt [Rosenmai og Svendsen, 2012] også undersøgt slamaske ift. behandlet og ikke behandlet. Hvis der opstår en situation, hvor slamaske indeholder høje værdier for tungmetaller kan man evt. behandle slamasken, hvilket kan give en mindre værdi af tungmetaller.

4.3. Korrosion

Formålet med korrosionsforsøgene er at finde ud af hvor meget armeringsstålet i mørtelprøverne bliver korroderet når mørtelprøverne bliver udsat for saltvand og oxygen (luft-saltvandscyklus). Når armeringsstål bliver påvirket af luft og vand, vil armeringsstålet nedbrydes hvilket kaldes for korrosion. Det kan påvirke holdbarheden af en armeret konstruktion. Det er vigtigt at undersøge korrosion for armeret beton, da det ofte bruges til byggerier og broer.

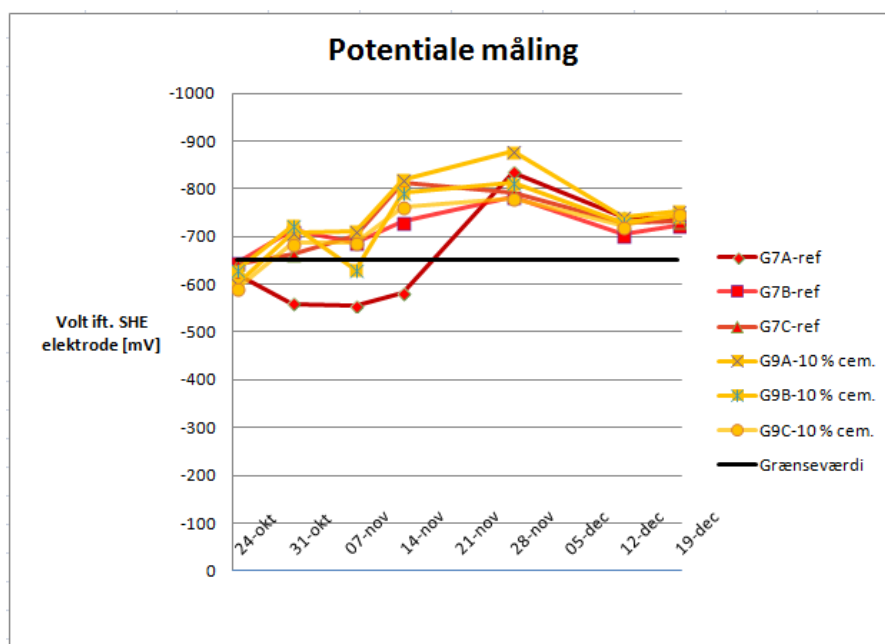
Der laves to forsøg med armeringskorrosion. Det ene forsøg er Elektrokemisk Potentiale måling (EKP) af armeringsstålet, og det andet er visuel undersøgelse. I dette afsnit vil resultaterne for armeringskorrosion diskuteres.

Begge forsøg er taget udgangspunkt i både referenceprøver og mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske. I midten af disse mørtelprøver er der placeret armeringsstænger. Der er 3 mørtelprøver med reference og 3 mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske for hvert forsøg.

4.3.1. Potentiale måling:

Der er lavet Elektrokemisk Potentiale måling (EKP) på mørtelprøverne, hvor der målttes for volt hver anden uge indtil den sidste forsøgsdato. Ud fra voltmålinger kan det vurderes hvor stor en risiko der vil være for korrosion. For jo mere volt, jo hurtigere korrosion i armeringsstængerne.

På den nedenstående graf ses potentiale målingerne for både referenceprøver og prøver med erstatning af 10 % cement med aske:



Figur 4.10: Potentiale målinger for mørtelprøverne (Data er taget fra bilag 8.8.1)

Som det ses på figur 4.10 ser de første uger meget svingende ud i forhold til volt-målingerne, hvor det i slutningen af forsøget ser mere stabilt ud. Efter ca. 1,5 måned ses at volt-målingerne falder, men i slutningen af forsøget begynder tallene at stige lige så stille igen. Det kan derudover ses at prøverne med slamaske får i gennemsnit en lidt højere værdi i volt i den første måned, hvilket kan skyldes slamaskens kloridindhold. Klorid vil nemlig passivisere stålet, hvilket giver en mindre levetid. Klorids påvirkning mht.

korrosion læses nærmere i teori afsnittet 2.3. Efter ca. 1 måneds forsøg ser mørtelprøverne med slamaske mere ens ud med referenceprøverne, hvor man herudfra kan konkludere at prøverne med slamaske egentlig ikke giver en meget større risiko for korrosion i forhold til referenceprøverne. Dette er et godt tegn, da der ønskes at anvende slamaske i stedet for noget af cementen.

Ud fra [Klinghoffer, 1993] ses at når $< - 350$ mV betyder det at der er mere en 90 % sandsynlighed for i gang værende korrosion i forhold til CSE elektrode, og når $> - 200$ mV betyder det at der er mere end 90 % sandsynlighed for at der ikke er korrosion i gang i forhold til CSE elektrode. Volt-målingerne i denne rapport er målt i forhold til SCE elektrode. Alle disse værdier laves om i forhold til SHE elektrode, hvilket gøres ud fra tabel 4.7 [Hansen, 2011]. På de målte voltmålinger er der lagt 242 mV til, og for grænseværdierne i [Klinghoffer, 1993] er der lagt 300 mV til, hvilket svarer til en grænseværdi på -650 mV i stedet for -350 mV.

Elektrode	Elektrolyt	Potentiale (V SHE)
Standard brint elektrode (SHE)	H_2 (1 atm) H^+ ($a = 1$)	0
Mættet kalomel (SCE)	Mættet KCl	+0,2420
1 N Kalomel (NCE)	1,0 M KCl	+0,2810
Kalomel	0,1 M KCl	+0,3335
Sølv/sølvklorid (SSC)	1,0 M KCl	+0,2224
Kobber/kobber-sulfat (CSE)	Havvand	ca. + 0,30
Zink	Havvand	ca. - 0,79

Tabel 4.7: Standardpotentialer for reference elektroder [Hansen, 2011]

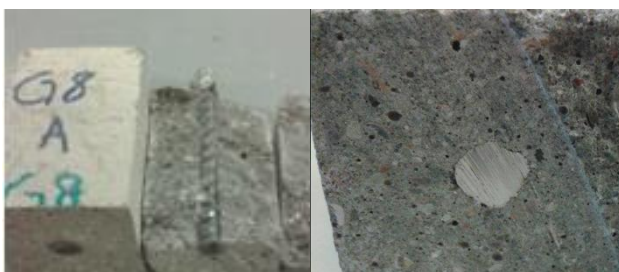
Ud fra SHE elektrode ses der på ovenstående graf at referenceprøven efter ca. 3 uger ligger på korrosionsrisiko område og mørtelprøverne med slamaske ligger i korrosionsrisiko område allerede efter 1 uge. Grænseværdien hvor der vil opstå risiko for korrosion med 90 % er markeret som den sorte streg på grafen. Det er ikke 100 % sikkert at der vil opstå korrosion, men der er en stor sandsynlighed for det. I dette projekt foregår forsøget i ca. 2 mdr., hvilket evt. ikke har haft nok tid til at korrodere. Dette kan ses videre i visuel måling om det har nået at korrodere eller ej.

4.3.2. Visuel måling:

Ud over EKP måling er der også lavet visuelle målinger for samme slags mørtelprøver. Denne gang måles der ikke for volt, men skærer prøverne over i forskellige perioder og ser om der er opstået korrosion på armeringsstængerne.

På de nedenstående figurere ses billeder af mørtelprøverne hvor de er blevet skåret over i forskellige perioder, der ses både på overfladen af armeringen og i tværsnittet af armeringen:

Visuelmåling efter 30 dage:



Figur 4.11: Resultat af referenceprøven (overflade & tværsnit)



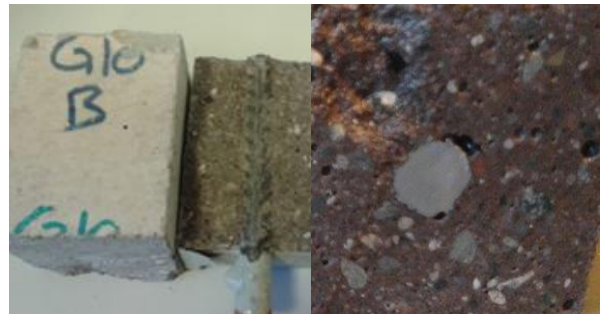
Figur 4.12: Resultat af askeprøven (overflade & tværsnit)

Som det ses på begge figurere er der ingen rust på armeringsstænger, hvilket betyder at armeringsstålet ikke er korroderet.

Visuelmåling efter 45 dage:



Figur 4.13: Resultat af referenceprøven (overflade & tværsnit)



Figur 4.14: Resultat af askeprøven (overflade & tværsnit)

Som det ses på figurerne er der intet tegn på rust i armeringsstængerne igen.

Visuelmåling efter 60 dage:



Figur 4.15: Resultat af referenceprøven (overflade & tværsnit)



Figur 4.16: Resultat af askeprøven (overflade & tværsnit)

Efter 60 dage, ses der igen intet tegn på rust på begge figurerne.

På det nedenstående figurere ses armeringsstængerne inden de blev støbt i mørtelprøverne:



Figur 4.17: Før anvendelse: De brugte armeringsstænger

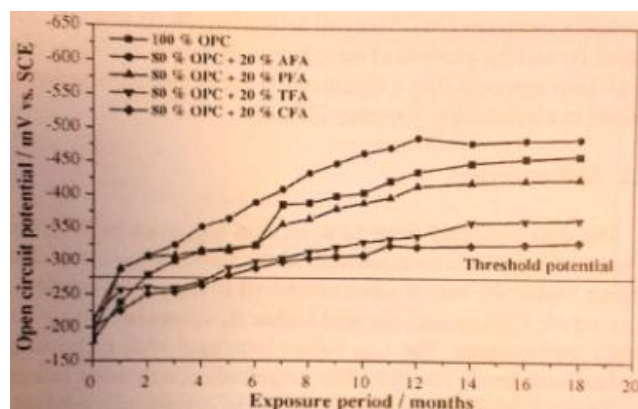


Figur 4.18: Før anvendelse: Forstørret billede af armeringsstænger

Som det ses på ovenstående figurere ses der ikke noget rust på nogen af dem, hvilket vil konkludere at der ikke nået klorid ind i armeringsstangen. Derudover kan man også konkludere at armeringsstangen ikke er påvirket af askens kloridindhold, da armeringsstængerne ser mere rent ud end inden de blev støbt i

mørtelprøverne. Der kigges både på tværsnittet af armering og uden på armeringen, men i begge situationer ses der ingen rust, hvilket betyder korrosion ikke er nået i midten af prøverne.

Ud fra artiklen [Saraswathy og Song, 2006] ses en figur, hvor der er foretaget et forsøg med potentiale målinger i en længere periode, se figur 4.19. I denne figur ses der at, korrosion begynder faktisk at opstå først efter 3 mdr. og voltmålingerne bliver ved med at stige indtil 12. måned og derefter bliver mere stabil. I denne rapport er der kun gået ca. 2 mdr., hvor der ikke blev set noget rust på armeringsstængerne, selvom de lå på korrosionsrisiko område, dette kan evt. skyldes at prøverne ikke har stået der længe nok. Hvis der skal laves en videre forskning på dette område vil det være en god idé at have mørtelprøverne i en længere periode, så man tydelig kan se hvilken type der korrodere mest når prøverne opnår sin maksimale voltmåling. I dette projekt har det indtil videre givet et positivt resultat af slamaske i mørtelprøver, da det ikke har vist noget rust på armeringsstængerne, selvom de lå på korrosionsrisiko området.



Figur 4.19: Potentiale måling fra [Saraswathy og Song, 2006]

I dette projekt blev der ikke brug for mikroskop undersøgelse, da der på overfladen af armeringsstængerne ikke blev set noget rust. Hvis der var lidt rust på overfladen og intet rust midt i stålarmingen, kunne man via mikroskop se hvor meget overfladen af armeringsstængerne blev påvirket af klorid.

Det skal derudover noteres at den del af armeringsstangen som stak ud af mørtelprøven blev rustet, hvilket viser korrosion. Dette kan skyldes fordi armeringsstangen ikke var beskyttet, og bliver mere påvirket af oxygen og saltvand end armeringsstangen midt i mørtelprøverne, og derudover bliver det heller ikke beskyttet af højt pH. Armeringsstangen i mørtelprøven er ikke ramt så hårdt, hvilket også er vigtigst da det er det man bruger i bygningskonstruktioner. Man ser nemlig ikke at armeringen stikker ud af betonen i den virkelige verden. Volten er det samme både inde i mørtelprøven og udenpå mørtelprøven, da der ikke er elektrisk ledning i luft.

På de nedenstående figurer ses situationen for armeringsstænger som stikker ud af mørtelprøverne:



Figur 4.20: Korrosion på armeringsstangen som stikker ud af betonen

Der har været to sideløbende projekter ved siden af dette projekt, som også har undersøgt korrosion for armeret beton [Rem, 2014] og [Andreasen og Jørgensen, 2014]. Gruppen med [Andreasen og Jørgensen, 2014] har arbejdet med noget nyt slammaske fra Lynette Ny, hvilket også kom frem til ingen rust efter ca. 2 mdr., hvorimod [Rem, 2014] som har brugt slammaske fra depot (Lynette Depot) har fået korrosion i alle sine prøver, inkl. referenceprøver. [Rem, 2014] er endnu ikke færdig med sit projekt, men hendes mørtelprøver har stået i længere tid. Hvis hendes referenceprøver ikke blev korroderet kunne det konkluderes at der har været mere klorid i hendes aske, da asken stammer fra depot. Men da alle hendes prøver er blevet korroderet kan man konkludere at hendes prøver har fået mere tid til at reagere, hvilket resulterede mere korrosion end prøverne fra dette projekt. Hvis der skal laves videreforskning i dette område, vil det være en god idé at have prøverne stående i længere tid end de 2 mdr. som er brugt i dette projekt.

Alt i alt kan det i dette forsøg konkluderes at selvom mørtelprøverne har ligget i korrosionsrisiko område, blev der ikke dannet rust. Derfor ses der ikke tegn til, at slammasken ikke kan anvendes i armeret beton.

På bilag 8.10 ses billeder af hver mørtelprøve efter epoxy maling, hvis der er nogle huller som ikke er malet igennem, hvilket kan evt. bruges videre som usikkerheder.

4.4. Diffusion

Klorid indtrængning i betonkonstruktioner er et problematisk forhold i hverdagen, hvilket kan skyldes havvand eller vejsalt. Kloriddiffusion vil også have en stor betydning i en armeret beton med hensyn til holdbarheden.

I dette projekt undersøges kloridindtrængning i mørtelprøverne når mørtelprøverne ligger i saltvand. Der laves to forsøg med diffusion af klorid. Det ene forsøg går ud på at stille mørtelprøverne i 3 % NaCl med destilleret vand. Til dette forsøg påtrykkes der elektrisk strøm, så kloridindtrængningen sker hurtigere i mørtelprøverne (migration). Det andet forsøg går ud på at stille mørtelprøverne i stillestående saltvand med to forskellige saltkoncentrationer (3 % NaCl og 9 % NaCl), hvor der denne gang ikke påtrykkes elektrisk strøm, og således sker kloridindtrængningen på den naturlige måde. Til sidst sammenlignes alle mørtelprøverne med hinanden, og der vurderes hvor meget tilsætning af aske øger kloridindtrængningen. Disse forsøg gennemføres i forskellige perioder. En mere præcis fremgangsmåde ses i afsnit 3.4.

Begge forsøg er udført med både reference prøver, mørtelprøver med erstatning af 10 % cement med aske og mørtelprøver med erstatning af 5 % sand med aske.

På nedenstående tabel ses en oversigt over hvilke prøver der tilhører hvilket forsøg:

Type forsøg	Prøve navne
Uden påtrykning af strøm, type 1: 30 g salt/1 liter destilleret vand	G1A1-ref, G1B1-ref, G1C1-ref, G3A1-5% sand, G3B1-5% sand, G3C1-5% sand, G5A1-10% cem, G5B1-10% cem, G5C1-10% cem
Uden påtrykning af strøm, type 2: 90 g salt/1 liter destilleret vand	G1A2-ref, G1B2-ref, G1C2-ref, G3A2-5% sand, G3B2-5% sand, G3C2-5% sand, G5A2-10% cem, G5B2-10% cem, G5C2-10% cem
Med påtrykning af elektrisk strøm	G2A-ref, G2B-ref, G2C-ref, G4A-5% sand, G4B-5% sand, G4C-5% sand, G6A-10% cem, G6B-10% cem, G6C-10% cem

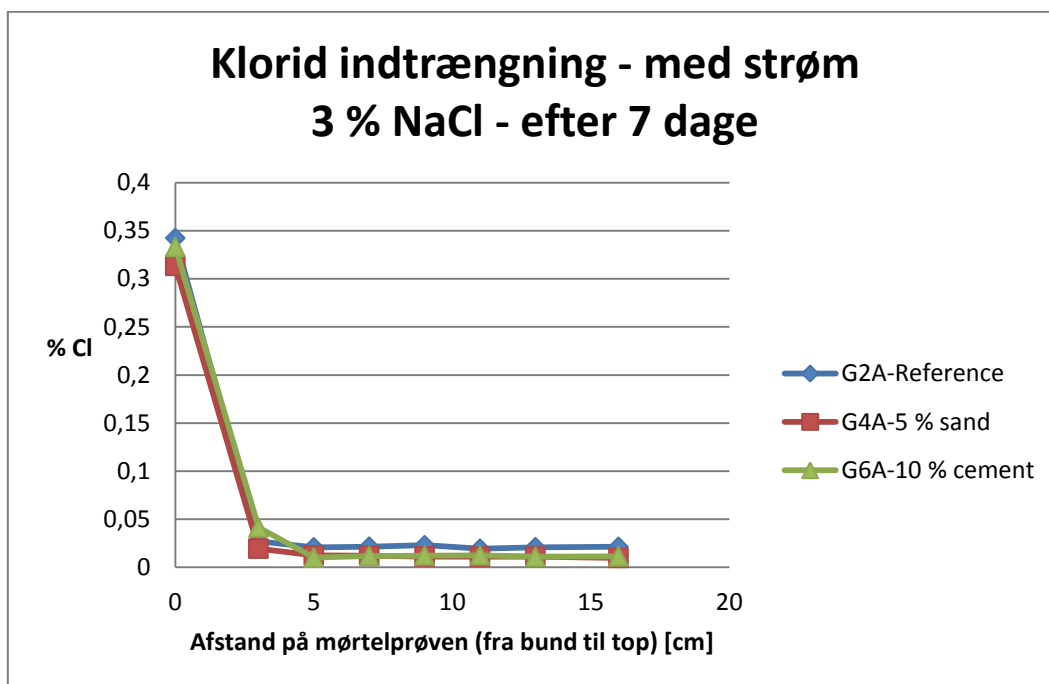
Tabel 4.8: Oversigt over mørtelprøver

Alle rådata for diffusion af klorid målingerne ses på bilag 8.9

4.4.1. Kloridtest - med påtrykning af strøm

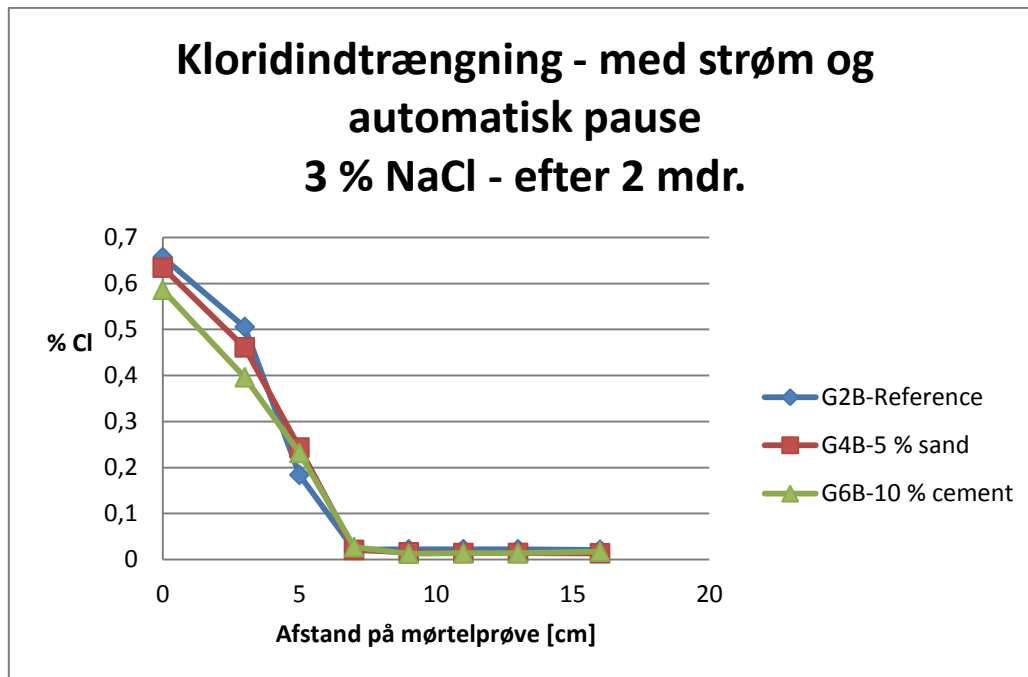
Dette forsøg går ud på at undersøge kloridindtrængning når der påtrykkes elektrisk strøm (migration). Der vil undersøges hvor hurtig kloridioner trænger ind i mørtelprøverne, når der påtrykkes strøm. Der vil yderligere undersøges om slamasken har en betydning for kloridindtrængning ved at sammenligne med referenceprøverne. Da der påtrykkes strøm kan det godt være at kloridioner ikke når at reagere med overfladen af f.eks. aluminiumsforbindelser, derfor laves der et andet forsøg hvor strømmen kører hver 12. time. Således vil der være pause i mellem det påtrykkede strøm for at se om kloridionerne får lov til at reagere med overfladen. Disse forsøg kaldes for accelererende tests. Kloridindtrængningen vil ske fra bunden af mørtelprøven hvor det står i saltvand (0 cm) og til toppen af mørtelprøven hvor der er klistret ler på (16 cm).

På de nedenstående grafer ses kloridindtrængning i mørtelprøver i forskellige perioder:



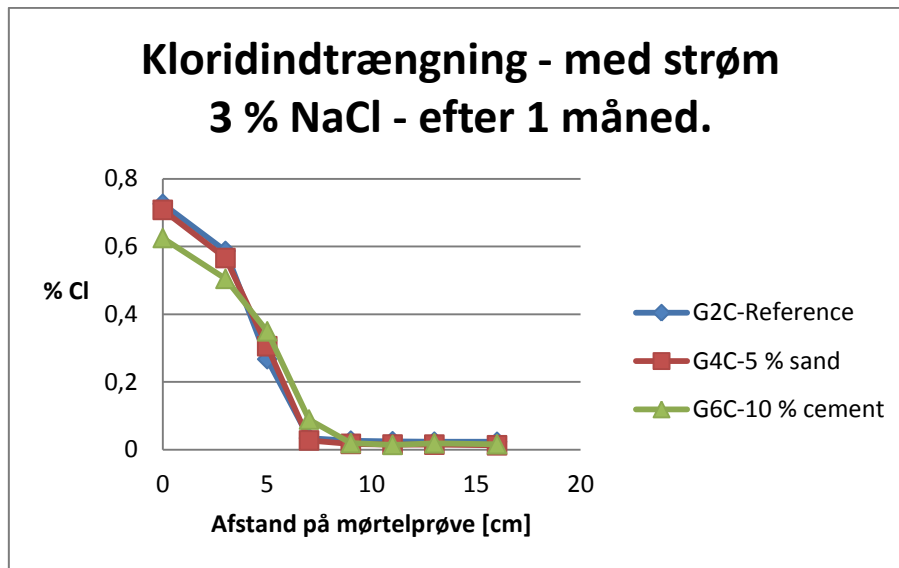
Figur 4.21: Kloridindtrængning efter 7 dage (med påtrykning af strøm) (Data er taget fra bilag 8.9.1)

Som det ses på figur 4.21 er der ikke en stor forskel på kloridindholdet for de forskellige mørtelblandinger. Man kan også se at kloridindtrængningen i mørtelprøverne ikke er mere end 2 cm, hvilket ikke er nok til at komme frem til en konklusion. Derfor forlænges de næste forsøg med ca. en måned, og der kigges på kloridindtrængningen igen. Forsøget med automatisk pause vil blive forlænget med ca. 2 mdr., hvilket vil svare til ca. 1 måned med påtrykning af strøm og dermed kan man bedre sammenligne resultaterne for kloridindholdet af de forskellige mørtelblandinger. I dette forsøg kan der være usikkerheder på de første 2 cm., da der kun bruges 5 grams prøve, hvilket enten kan være fra den første centimeter eller fra den anden centimeter, dette vil have en stor betydning for kloridindholdet. Derefter kan man se at der efter 2 cm og opefter er et minimalt indhold af klorid, hvilket kan skyldes mørtelprøvernes egen kloridindhold. I dette forsøg er mørtelprøverne ikke knust med en ringknuser, men hamret i små stykker med en hammer, hvilket kan give en større usikkerhed i kloridindholdet. Knust prøve vil give en mere jævnlig fordeling. Derfor er mørtelprøverne i de kommende forsøg knust med en ringknuser.



Figur 4.22: Kloridindtrængning efter 2 mdr. (med påtrykning af strøm og automatisk pause) (Data er taget fra bilag 8.9.1)

Som det ses på figur 4.22 sker der betydelig mere kloridindtrængning på disse mørtelprøver, det trænger helt op til halvdelen i mørtelprøven (op til 8 cm). I denne situation kan man bedre sammenligne kloridindholdet mellem disse prøver. Det kan ses at referenceprøven starter med at have et højere kloridindhold end askeprøverne, hvorimod der midt på prøven ses at kloridindholdet begynder at ligne de to øvrige askeprøver. Midt på mørtelprøven bliver kloridindholdet for referenceprøven endda lidt mindre end askeprøverne. På toppen af mørtelprøverne kan man se at alle 3 prøver ligger med et lavt kloridindhold, men referenceprøven indeholder en smule mere, hvilket kan ses nærmere i rådata, bilag 8.9.1. Der kan evt. være mere kloridindhold i midten af askeprøverne, da det stopper med at trænge længere ind ved midten, hvorimod referenceprøven fordeler sig mere jævnlig opad. I dette forsøg har prøverne været udsat for strøm i en måned, da halvdelen af tiden gik uden strøm. Den benyttede "timer" virkede hver 12. time. I dette forsøg er mørtelprøverne også knust, hvor man kan regne med en mere jævnlig fordeling (gennemsnit) af kloridindholdet. Resultatet ser indtil videre positivt ud, da prøverne med slammaske ikke giver en mere negativ indflydelse på kloridindtrængning i forhold til referenceprøverne.



Figur 4.23: Kloridindtrængning efter 1 måned (med påtrykning af strøm) (Data er taget fra bilag 8.9.1)

Som det ses på figur 4.23 er kloridindtrængningen igen nået op til halvdelen af mørtelprøven (op til ca. 8 cm), hvilket betyder at kloridindtrængningen efter 1 måned med påtrykning af strøm giver et mere præcist resultat end 7 dage. Som det ses på grafen, starter og slutter referenceprøven med et højere kloridindhold end askeprøverne, hvor det igen har et lavere kloridindhold i midten. Det kan igen skyldes at asken forhindrer indtrængningen af kloridioner i askeprøverne, hvorimod det ved referenceprøver er nemmere at trænge ind, da det er mindre pakket. I dette forsøg er prøverne knust med en ringknuser igen. Ud fra figur 4.22 og figur 4.23 ses at i begge situationer starter referenceprøverne med at indeholde mest klorid og at mørtelprøverne med erstatning af 10 % cement med slamaske indeholder mindst klorid. I midten af prøverne indeholder mørtelprøverne med erstatning af 10 % cement med slamaske lidt højere værdi for kloridindhold, men ender med et lavere kloridindhold på toppen af mørtelprøven igen. I mørtelprøven med erstatning af 5 % sand med slamaske indtrænger der mere klorid end mørtelprøven med erstatning af 10 % cement med slamaske. Dette kan komme an på mørtelprøvens porøsitet. Da aske er finere end sand, vil det derfor blive mindre porøst. Der ses hermed ingen forskel på resultaterne for forsøgene med automatisk pause og uden automatisk pause. Ud fra disse resultater kan man derfor være rolig med at bruge slamaske som tillægsstof, da det ikke giver en dårligere virkning, men til gengæld et bedre resultat end referenceprøverne.

Under forsøget kunne man også lugte noget klor fra leret for referenceprøverne efter flere uger, hvilket betyder at der ikke skal så meget til for at det lugter af klor, da kloridindholdet på toppen max lå på omkring 0,02 %. Lugten af klor kan enten komme fra slamasken eller saltvand, men da der intet slamaske er i referenceprøverne tyder det på at kloridionerne stammer fra saltvand. Det kan tyde på at kloridionerne ikke har siddet helt fast på overfladen af referenceprøverne som ved mørtelprøverne med slamaske i, da mørtelprøverne med slamaske giver lov til at kloridionerne kan sidde mere fast og har sværere ved at komme væk igen når der påtrykkes strøm. Kloridindtrængningen kan ske lidt langsommere i mørtelprøver med slamaske end referenceprøverne.

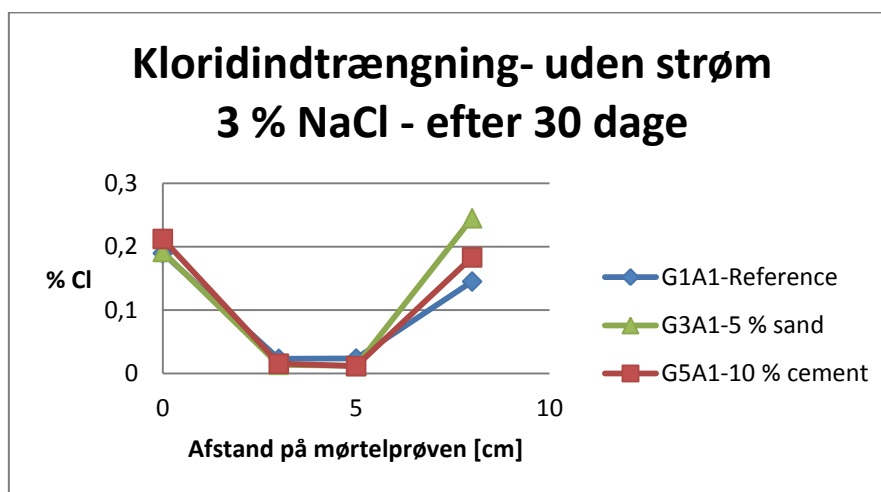
I et af forsøgene blev det hurtigt opdaget at ledningerne blev koblet forkert på elektroderne den første dag, da pH værdien i saltvand stadig forblev lav efter en time. Ud fra pH værdien kan man kontrollere om der er strøm tilstede, da pH værdien ændres pga. strømreaktion med ioner.

pH, ledningsevne, vandindhold og kloridindhold for ler og saltvand ses i bilag 8.9.1, sammen med alle de øvrige rådata for diffusion af klorid.

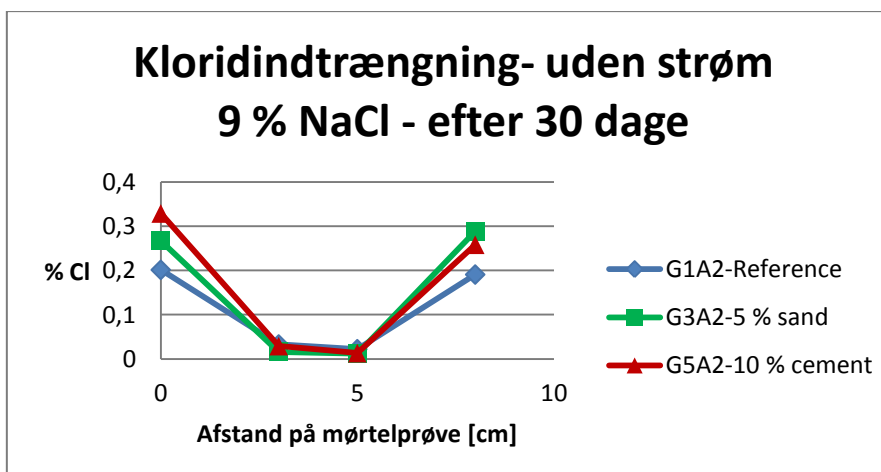
4.4.2. Kloridtest - uden påtrykning af strøm

Dette forsøg går ud på at undersøge kloridindtrængning i mørtelprøverne uden påtrykning af elektrisk strøm. Mørtelprøverne skal ligge i nogle kasser med forskellige saltkoncentrationer. Den ene halvdel af mørtelprøverne skal ligge i destilleret vand med 3 % NaCl, hvor den anden halvdel skal ligge i destilleret vand med 9 % NaCl. Der vil undersøges hvor meget kloridioner trænger ind i enderne af mørtelprøverne i forskellige perioder. Der vil blive undersøgt om asken har en betydning for kloridindtrængning ved at sammenligne med reference prøverne.

På de nedenstående grafer ses kloridindtrængningen for mørtelprøverne med forskellige saltkoncentrationer i forskellige perioder:



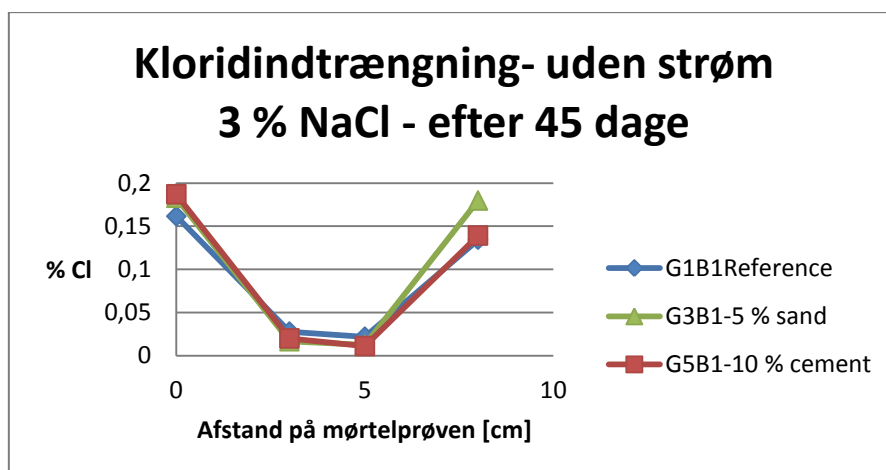
Figur 4.24: Kloridindtrængning efter 30 dage med 3% NaCl (uden påtrykning af strøm) (Data taget fra bilag 8.9.2)



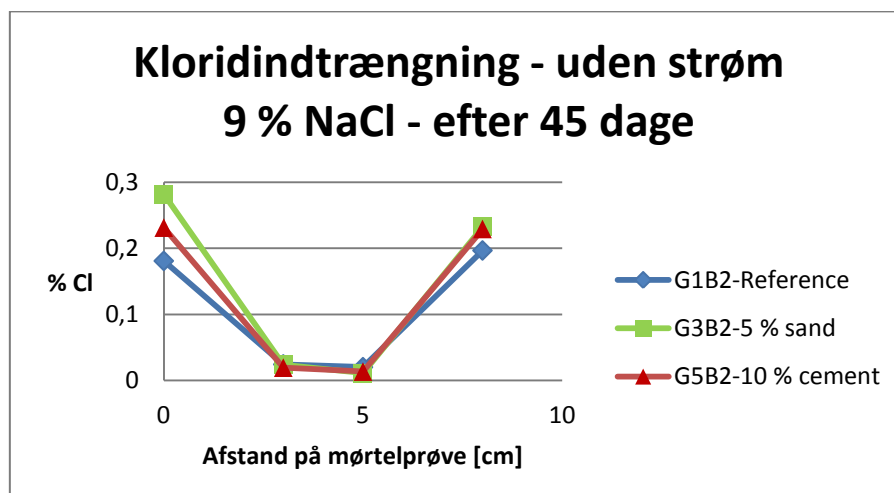
Figur 4.25: Kloridindtrængning efter 30 dage med 9% NaCl (uden påtrykning af strøm) (Data taget fra bilag 8.9.2)

Som det ses på figur 4.24 og figur 4.25 trænger kloridionerne ind fra begge ender af mørtelprøven, hvor kloridindholdet svinger meget i forhold til hinanden. Som erfaringen fra de forrige forsøg med påtrykning af elektrisk strøm (migration), kan man igen konkludere at de første 2 cm er usikkert. Kloridindholdet kommer igen an på hvor man har taget prøven fra. Enderne af mørtelprøverne indeholder meget mere klorid end 2 cm længere inde i mørtlen. Selvom prøverne har lagt i stillestående saltvand i en måned ser man usikkerheder. Klorid-ionerne er ikke trængt længere ind end de første 1,5-2 cm, da man ud fra graferne kan se at kloridindholdet falder med det samme igen. Dette gælder for begge situationer. Prøverne som er udsat med 9% NaCl indeholder mere klorid i de første 2 centimeter end prøverne som er udsat med 3% NaCl, men kloridindholdet falder med det samme igen. Det kan hermed konkluderes at klorid ikke trænger længere ind i en mørtelprøve med en højere saltkoncentration, men at det indeholder mere klorid i enderne af mørtelprøven. Der skal enten gå flere måneder for at se et mere præcist resultat, eller skal den accelererende metode benyttes. Et forsøg med 7 dages påtrykning af strøm med 3% NaCl svarer ca. til en måneds forsøg uden påtrykning af strøm med 9% NaCl.

Derudover er der også undersøgt nogle prøver efter 45 dage i saltvand, hvor resultaterne ses på de nedenstående grafer:



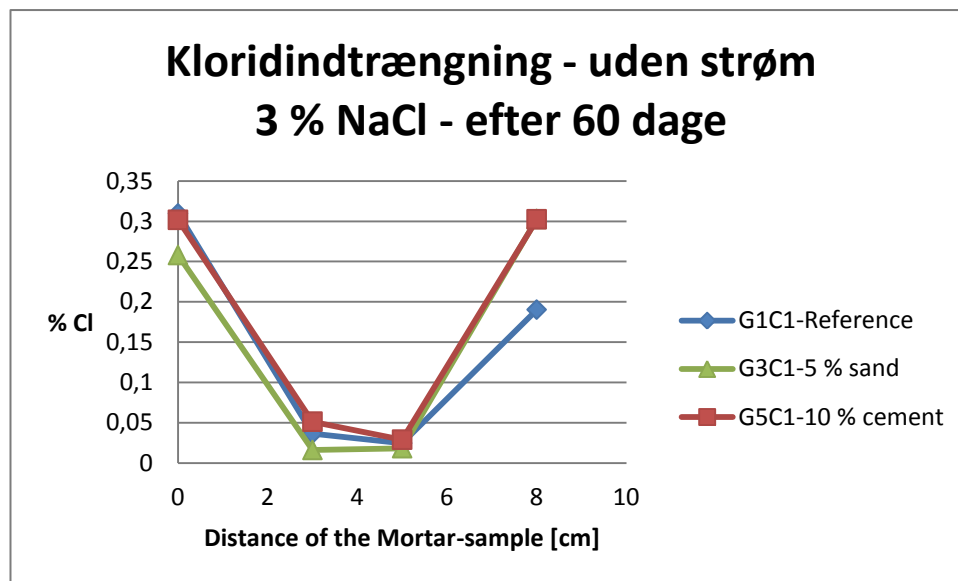
Figur 4.26: Kloridindtrængning efter 45 dage med 3% NaCl (uden påtrykning af strøm) (Data taget fra bilag 8.9.2)



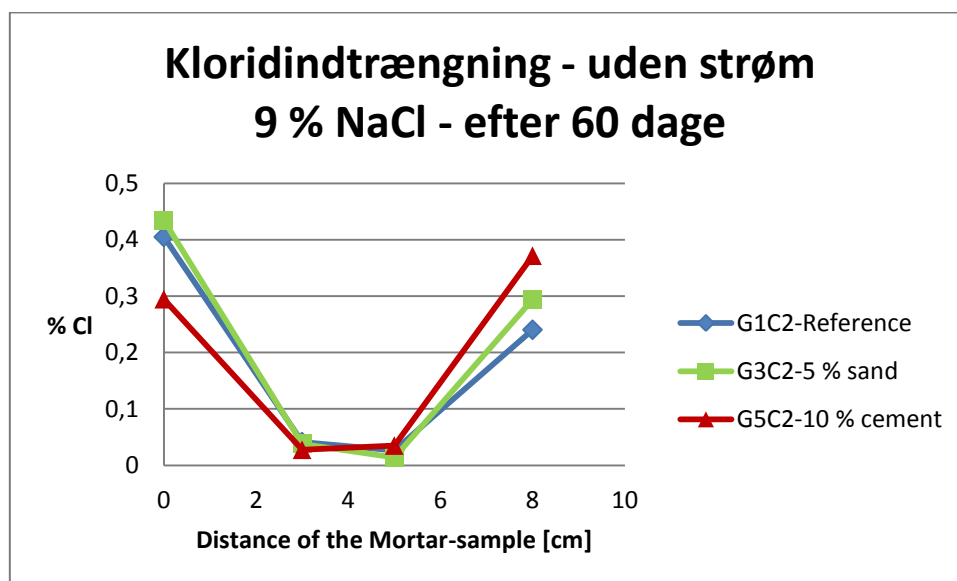
Figur 4.27: Kloridindtrængning efter 45 dage med 9% NaCl (uden påtrykning af strøm) (Data taget fra bilag 8.9.2)

Som det ses på de ovenstående grafer er der igen nogle store usikkerheder mht. kloridindholdet på de første 2 cm, da der er forskel på kloridindholdet i enderne af en prøve. Når man sammenligner disse prøver med de forrige grafer efter 30 dage i saltvand, ses der ikke en stor forskel. Kloridindholdet for både 3 % NaCl og 9 % NaCl indeholder nemlig stadig nogenlunde det samme indhold efter 45 dage som efter 30 dage. Det kommer igen an på hvor man har taget prøven fra, da der altid vil være mere kloridindhold i enderne af prøven end 2 cm længere inde i prøven. Dette kan tydeligt ses, når kloridindholdet lige pludselig falder med det samme. Yderligere kan man også ud fra graferne se at der er usikkerheder mht. hvilken mørtelblanding der bliver mest påvirket af klorid, da kloridindholdet for de første 2 cm er meget ustabil.

De sidste prøver efter 60 dage uden påtrykning af strøm ses på de nedenstående grafer:



Figur 4.28: Kloridindtrængning efter 60 dage med 3% NaCl (uden påtrykning af strøm) (Data taget fra bilag 8.9.2)



Figur 4.29: Kloridindtrængning efter 60 dage med 9% NaCl (uden påtrykning af strøm) (Data taget fra bilag 8.9.2)

De sidste resultater for diffusion af klorid uden påtrykning af strøm ses på de ovenstående grafer, hvor man igen kan se at kloridindholdet efter 2 cm falder voldsomt meget, hvilket betyder at der skal gå mange flere måneder for at se et mere præcist resultat for kloridindhold. Ud fra disse resultater kan man ikke helt præcis konkludere om mørtelprøverne med slamaske giver en større fordel eller ulempe, da kloridindholdet ser forskelligt ud i enderne. Det skal dermed noteres at kloridindholdet er steget med ca. 0,1 % i forhold til mørtelprøverne efter 30 dage, hvilket stadig ikke er nok til at konkludere noget præcist. I disse forsøg blev mørtelprøverne også knust inden der blev målt for kloridindhold, men det har tydet på at det ikke viser et bedre resultat, da der kun benyttes 5 gram mørtelprøve på en 2 cm's mørtelstykke hvor kloridindholdet svinger rigtig meget.

Derfor har det været bedre at arbejde med nogle mørtelprøver med påtrykning af elektrisk strøm (migration), hvilket gav en mere præcis og sikker konklusion, da det har vist at referenceprøverne i en længere periode bliver lidt mere påvirkede af kloridioner. Disse resultater giver endnu en god grund til at anvende slamaske i beton.

Rådata for vandindhold og kloridindhold ses på bilag 8.9.2

På bilag 8.10 ses billeder af alle mørtelprøver til diffusionsforsøgene efter epoxy maling, hvis der evt. skulle være nogle huller som ikke er malet igennem, hvilket kan give usikkerheder.

4.4.3. Sammenligning imellem diffusionsforsøgene

Når man sammenligner diffusionsforsøgene med hinanden kan det tydeligt ses at forsøget med 1 måneds strømpåtrykning (uden pause) giver meget højere værdier for kloridindhold end forsøget med 1 måned uden påtrykning af strøm, hvilket kan konkludere at forsøget med påtrykning af strøm har virket meget effektivt. Forsøget med 7 dages strømpåtrykning svarer nærmest til forsøget med 2 måneder uden påtrykning af strøm, hvor det endda indeholder mere NaCl. For at have et fornuftigt svar på kloridindhold i mørtelprøverne skal forsøgene med påtrykning af strøm foregå i minimum 1 måned, hvorimod forsøgene uden påtrykning af strøm skal foregå i flere måneder, da der efter 2 mdr. stadig opstår usikkerheder. Det kan hermed konkluderes at det er en god idé at lave et forsøg med påtrykning af strøm, da hastigheden for kloridindtrængning øges ind i mørtelprøverne, og man dermed kan få et hurtigere resultat.

Alt i alt, kan det i dette projekt igen konkluderes at slamaske har positive egenskaber i mørtelprøverne, da kloridindholdet er gennemsnitlig mindre end referenceprøverne efter en længere periode med påtrykning af strøm, hvilket er rigtig godt for fremtiden.

I de fremtidige projekter (videre forskning), vil det være en fordel at starte diffusionsprøverne uden påtrykning af strøm flere måneder før, da det vil give et bedre resultat end de 2 måneder som er gennemført i dette projekt. Kloridionerne når ikke at trænge længere ind end de 1-2 cm. Hvis tiden er begrænset, vil det være en god idé at påtrykke strøm (migration), hvilket øger hastigheden af kloridindtrængningen og dermed få nogle mere præcise resultater. Derudover kan der også sættes armeringsstænger i prøverne og man kan se om korrosionen sker hurtigere ved påtrykning af strøm.

5. Generel diskussion/Opsummering

Laboratorieforsøgene: Ud fra laboratorieforsøgene ses det at slamaske fra Avedøre Ny - 2 indeholder mere jern-indhold end Lynette Ny fra tidligere DTU projekt [Reiff og Meldgaard, 2013], hvilket kan give en mere rødlig farve af betonen. Dette er mindre godt, da dette kan være problematisk at benytte i bestemte byggeriområder, hvor der skal benyttes evt. andre betonelementer. Derfor skal man tænke over hvor man kan tillade sig at benytte sådan en mere rødlig farve, da det kan påvirke udseende af et byggeri. Til gengæld benyttes der ofte facadebeklædning på de fleste bygninger såsom mursten og plader, hvilket kan skjule den rødlige farve. Lynette indeholder betydelig mindre jern-indhold, hvor det evt. kunne være en fordel med hensyn til farven af betonen og nemmere at sælge produktionen. Generelt vil det blive mere økonomisk med hensyn til anvendelse af slamaske i stedet for cement eller sand, da slamaske i depot vil koste meget mere og fordi cement er generelt dyrere. Miljømæssigt vil det være en fordel ved anvendelse af slamaske i stedet for en del af cement pga. CO₂-udledningen.

Derudover blev det fundet at tungmetaller i forsøget med "Indhold af mikro og makro elementer" ikke overholdt totalkoncentration for kategorien for anvendelse til et bygge- og anlægsarbejde (kategori 1) i miljøstyrelsens bekendtgørelse, men at det overholdt kategori 2 hvor det gælder for begrænsede områder. Derefter blev det fundet at udvaskning af tungmetaller fra mørtelprøverne overholdt totalkoncentrationen for kategori 1 i miljøstyrelsens bekendtgørelse. Udvaskning af tungmetaller viste sig mindre i mørtelprøver med slamaske end referenceprøverne, hvilket indikerer at anvendelse af slamaske i mørtelprøver ikke vil være skadelig for miljøet. Dette blev fundet både for slamaske fra Avedøre Ny – 2, slamaske fra Lynette Ny [Reiff. og Meldgaard, 2013] og Lynette Depot [Carlsen og Petersen, 2013]. Grundstoffet fosfor siver mere ud i forhold til andre tungmetaller efter udvaskning, hvilket er en fordel for fremtiden, da der vil være mangel på fosfor. Uanset om slamasken skal i depot eller viderebruges i beton, vil det være en god idé at vaske slamasken og lade fosforen sive ud i fremtiden. I forhold til salte i slamaske indeholder slamaske fra depot mere kloridioner end de nye slamasker, hvilket kan være mere risikabelt for korrosion i en armeret beton.

Trykstyrketests: Ud fra trykstyrke tests blev det fundet at mørtelprøverne med knust slamaske fra Avedøre har en lidt bedre styrke end referenceprøverne, hvilket er endnu et godt tegn på slamaskens virkning i beton. Det har ligeledes også vist i tidligere DTU projekt [Rosenmai og Svendsen, 2012] at knust aske giver en bedre styrke end ikke-knust aske, da knusningen øger pakningsgraden, hvilket vil være en god idé at benytte i fremtiden. Ud fra SEM-analyse og kornstørrelse-analysen kan man også se at slamasken bliver finere efter knusningen og får dermed mindre kornstørrelse, dette gælder både for Avedøre Ny 2, Lynette Ny [Reiff. og Meldgaard, 2013] og Lynette Depot [Carlsen og Petersen, 2013].

Korrosionsforsøgene: Ud fra visuelmålinger blev det fundet at mørtelprøverne med og uden slamaske ikke er blevet korroderet i armeringsstængerne efter ca. 2 mdr., derfor er det svært at komme med en præcis konklusion på dette. Der skal gå længere tid for at have et mere præcist resultat med hensyn til om mørtelprøverne med slamaske giver mere korrosion eller ej, således at kloridioner fra saltvand kan nå at trænge længere ind i mørtelprøverne så det rammer armeringsstængerne. Det har nemlig ud fra diffusionsforsøgene vist at kloridioner trænger max. 1,5-2 cm ind i mørtelprøven i stillestående saltvand efter 2 mdr., hvilket lige når at ramme armeringsstangen som er placeret midt i mørtelprøven i korrosionsforsøgene. Med hensyn til Elektrokemisk Potentiale målingerne har referenceprøverne et mindre volt værdi end askeprøverne, men det er ikke meget. Det kan evt. skyldes slamaskens egne kloridioner. En

medstuderende [Rem, 2014] er også i gang med korrosions undersøgelse for mørtelprøver med og uden slamaske i en længere periode, hvilket viste at både referenceprøverne og askeprøverne blev korroderet. Derfor kan man ud fra hendes resultater ikke sige at det skyldes slamaskens kloridioner, men at det kan skyldes saltvandet, idet referenceprøverne også er påvirkede. [Rem, 2014] laver forsøgene med slamaske fra Lynette Depot, hvilket vil indeholde mere kloridioner. Prøverne har ikke stået længe nok i dette projekt, derfor er der ikke kommet frem til et præcist resultat med hensyn til slamaskens betydning i en armeret beton. Men ud fra disse resultater blev der ikke set tegn på at slamasken ikke kan anvendes i armeret beton, selvom det har ligget i risikoområde med korrosion.

Diffusionsforsøgene: Ud fra diffusionsforsøgene blev det fundet at kloridionerne i stillestående saltvand uden påtrykning af elektrisk strøm ikke trænger længere ind end 1,5 – 2 cm i mørtelprøverne efter en periode på 2 mdr., hvilket giver usikkerheder omkring resultaterne for kloridindholdet. Derudover kan man bedre se at kloridioner med påtrykning af elektrisk strøm (migration) trænger hurtigere og længere ind i mørtelprøverne, hvilket giver et mere præcist resultat. Det blev fundet at mørtelprøver med slamaske har optaget mindre kloridioner end referenceprøverne efter 1-2 måneders tid, hvilket er et godt tegn med hensyn til anvendelse af slamaske i beton. Det vil være en god idé at benytte den accelererende metode i fremtiden, da man både kan spare på tiden og få et mere præcis resultat med hensyn til kloridindholdet.

I dette projekt kan man konkludere ud fra flere forskellige forsøg at generel anvendelse af slamaske som erstatningsstof i mørtelprøver har både givet økonomiske og miljømæssige fordele, derfor ses der ikke nogle forhindringer i at anvende slamaske i betonproduktionen i fremtiden. Derudover blev der heller ikke set tegn til, at slamasken ikke kan anvendes i armeret beton.

5.1. Videreforskning

Laboratorieforsøgene: Fremover kan man sammenholde resultaterne med nye standarder for slamaske i stedet for flyveaske, hvis det bliver udgivet i fremtiden. Derudover kan der undersøges om slamasken stadig virker effektivt efter flere år, og se om slamaskens salte evt. påvirker bygningernes holdbarhed.

Ud fra ICP-målinger fra "Indhold af mikro og makro elementer" viste det at slamaske indeholder høje værdier af tungmetaller efter [BEK, 2010] hvilket evt. kan løses med en metode hvor tungmetaller udtrækkes inden det leveres videre til anvendelse. Derudover viste IC-målingerne salt-indholdet for slamaske, hvilket kan påvirkes af årstid (sæson). I et vintervejr kan der være mere saltede veje hvilket kan påvirke saltindholdet i slamasken. Derfor vil det være en god idé at notere hvilke sæson på året slamasken er taget fra.

Trykforsøgene: Styrkeudviklingen for mørtelprøverne kan tjekkes efter en længere periode (efter flere måneder), da der ikke ses en stor forskel mellem trykstyrkerne for de forskellige mørtelblandinger.

Korrosionsforsøgene: Fremover kan man stille mørtelprøver i saltvand flere måneder før eller foretage en accelererende metode med armeringsjern i mørtelprøverne, så man hurtigere kan se hvor meget mørtelprøver med slamaske korroderer i forhold til referenceprøver.

Diffusionsforsøgene: Hvis diffusionsforsøgene foretages uden den accelererende metode anbefales det at stille mørtelprøverne i saltvand flere måneder før, da klorider ikke trænger mere end 1,5-2 cm ind i en mørtelprøve efter 2 mdr., hvilket ikke er tilstrækkeligt for en præcis konklusion med hensyn til kloridindholdet.

6. Konklusion

Ud fra laboratorieforsøgene kan det konkluderes at slamaske ikke giver problematiske egenskaber. I ICP-målingerne kunne der ses at der var nogle tungmetaller som ikke overholdt grænseværdierne for totalconcentration for bygge- og anlægsområder under kategori 1 [BEK, 2010], men da der blev foretaget udvaskning (leaching) for mørtelprøverne kunne man konkludere at tungmetaller i slamasken ikke gav et dårligere miljø i forhold til referenceprøverne, da der sivede mindre tungmetaller ud af mørtelprøverne med slamaske. Fe-indholdet er høj i slamaske fra Avedøre, hvilket giver den mere rødlig farve end en almindelig beton. Fosforen siver derimod mere ud end de andre tungmetaller, hvilket er godt for fremtiden. Kloridindholdet i slamasken overholdte også maksimum kravene, da kloridindholdet ikke måtte overstige 0,1 % i normerne. Derudover viste det også at knust slamaske bliver finere i strukturen end ikke-knust slamaske, og dermed ligner mere flyveasken. Kornstørrelserne bliver lidt mindre, hvilket øger pakningsgraden og dermed øger kvaliteten i betonen.

Ud fra trykstyrketests ses der ikke store forskelle mellem mørtelblandinger, men referenceprøverne uden slamaske havde en lidt lavere styrke end askeprøverne. Der ses dermed ingen problemer med at erstatte slamaske med sand eller cement.

I korrosionsforsøgene blev der både arbejdet med Elektrokemisk Potentiale måling (EKP) og visuel undersøgelse med hensyn til armeringskorrosion. Forsøget med EKP måling har vist at mørtelprøverne med slamaske ikke havde den store forskel end reference prøverne. Prøverne med slamaske havde en lidt højere volt værdi end referenceprøverne. Alle mørtelprøver lå i korrosionsrisiko område ud fra EKP målinger, men efter visuelle målinger viste det at der ikke blev dannet rust på armeringen inde i mørtelprøven, hvilket indikerer at der ikke ses tegn på at slamasken ikke kan anvendes i armeret beton. For at have et mere præcist resultat over voltmålingerne og herunder se hvilken mørtelblending der korroderer først, vil det anbefales at forlænge forsøget fremover.

Ud fra diffusionsforsøgene blev det fundet at den accelererende metode giver et mere præcis resultat med hensyn til, at mørtelprøver med slamaske optager mindre klorider end referenceprøverne, når disse bliver udsat for saltvand. Derfor ses der endnu en god grund til at anvende slamaske i beton.

Alt i alt kan det konkluderes at slamaske fra Avedøre Ny - 2 giver flere fordele end ulemper, da der ud fra flere forskellige forsøg er kommet frem til, at mørtelprøve med slamaske giver højere styrke, kvalitet og holdbarhed. Derudover giver slamasken også både økonomiske og miljømæssige fordele, da CO₂-udledning sænkes og fordi slamaske ikke går til deponi. Der ses dermed heller ingen forhindringer i at anvende slamaske i armeret beton mht. korrosion. Projektet har vist at man både kan erstatte slamasken med cement eller sand, hvor man i begge situationer kan spare på de naturlige ressourcer.

7. Litteratur

[Andreasen og Jørgensen, 2014] Andreasen, J. S. og Jørgensen, L. (2014). Slammaske i armeret beton. Korrosionsrisiko. Sideløbende bachelorprojekt. Institut for Byggeri og Anlæg i Lyngby, DTU.

[Averill og Elredge, 2007] Averill, B., & Eldredge, P. (2007). Chemistry: Principles, patterns, and applications, San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings. s. 1790.

[BEK, 2010] BEK nr. 1662 (24. november 2010). Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenede bygge- og anlægsaffald. Miljøministeriet. Hentet 23. december 2013. <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=134831#K3>.

[Carlsen og Petersen, 2013] Carlsen, A. B. og Petersen, S. R. (2013). Slammaske i beton – undersøgelse af anvendelsesmuligheder. Bachelorprojekt. Institut for Byggeri og Anlæg i Lyngby, DTU.

[Chang et al., 2010] Chang, F. C., Lin, J. D., Tsai, C. C. and Wang, K. S. (2010). Study cement mortar and concrete made with sewage sludge ash. Water Science & Technology – WST 62(7), 1689-1693.

[Cyr et al., 2007] Cyr, M., Coutand, M. and Clastres, P. (2007). Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials. Cement and Concrete Research, 37, 1278-1289.

[Donatello et al., 2010] Donatello, S., Freeman-Pask, A., Tyrer, M. og Cheeseman, C. R. (2010). 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, 2. udgave (2003). Vandundersøgelse - Bestemmelse af metaller i vand, jord, slam og sedimenter – Almene principper og retningslinjer for bestemmelse ved atomabsorptionsspektrofotometri i flamme. Dansk Standard.

[DS/EN 196-1, 2005] DS/EN 196-1, 2. udgave (2005). Metoder til prøvning af cement – del 1: Styrkebestemmelse. Dansk Standard.

[DS/EN 196-2, 2005] DS/EN 196-2, 1. udgave (2005). Metoder til prøvning af cement - del 2: Kemisk analyse af cement. Dansk Standard.

[DS/EN 206-1, 2002] DS/EN 206-1, 2. udgave (2002). Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse. Dansk Standard.

[DS/EN 450-1, 2012] DS/EN 450-1, 3. udgave (2012). Flyveaske til beton - del 1: Definition, specifikationer og overensstemmelseskriterier. Dansk Standard.

[DS/EN 1992-1-1, 2008] DS/EN 1992-1-1+ AC, 3. udgave (2008). Betonkonstruktioner – del 1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner. Dansk Standard.

[Eriksen et al., 1985] Herholdt, A. D., Justensen, C. F. P., Nepper-Christensen, P., Eriksen, K. and Nielsen, A. (1985). Betonmaterialer: Tilsætningsstoffer. Beton bogen. Aalborg Portland, 2. udgave. , 328-341

[Geiker et al., 2008] Hansen, K. K., Linnet, E., Nielsen, A., Geiker, M. Jensen, O. M. og Hoffmeyer, P. (2008). Beton. Bygningsingeniørens materialer - uddrag af Materialebogen. Nyt Teknisk Forlag, 1. udgave., 49-78

[Gottfredsen og Nielsen, 2010] Gottfredsen, F. R. og Nielsen, A. (2010). Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber. 6. Polyteknisk Forlag, 1. udgave.

[Gulikers et al., 2005] Böhni, H. (Ed.), Hunkeler, F., Schiegg, Y., Gulikers, J., Schiessl, P., Nürnberger, U., Raupach, M., Büchler, M. & Polder, R. B. (2005). Numerical modelling of reinforcement corrosion in concrete. Corrosion in reinforced concrete structures, 71-90

[Hansen, 2011] Hansen, K. K. (ed) (juni 2011). Øvelser i byggematerialer. Ståløvelse. DTU Byg. E6

[Hasholt og Mathiesen, 2002] Hasholt, M. T. & Mathiesen, D. (2002). Beton med slammaske. Center for Grøn Beton. Rapport udført på Teknologisk Institut

[Hunkeler et al., 2005] Böhni, H. (Ed.), Hunkeler, F., Schiegg, Y., Gulikers, J., Schiessl, P., Nürnberger, U., Raupach, M., Büchler, M. & Polder, R. B. (2005). Corrosion in reinforced concrete: processes and mechanisms. Corrosion in reinforced concrete structures, 1-45

[Kjersgaard et al., 2007] Kjersgaard, D., Jacobsen, B. N., Rindel, K., Andreasen, L., Larsen, F., Nyegaard, P., Pade, C. & Bodker, J. (2007). The reuse of bio ash for the production of concrete. A Danish case study. 957-963.

[Klinghoffer, 1993] Klinghoffer, O. (1993). Katodisk beskyttelse af stål i beton. Overvågning af korrosionsrelevante parametre og katodisk beskyttelse. DSM Materialenyt, 4, 28-39.

[Nepper-Christensen et al., 1985] Herholdt, A. D., Justensen, C. F. P., Nepper-Christensen, P., Eriksen, K. and Nielsen, A. (1985). Hvad er beton? Beton bogen. Aalborg Portland, 2. edition. 13-20

[Nielsen et al., 1985-1] Herholdt, A. D., Justensen, C. F. P., Nepper-Christensen, P., Eriksen, K. and Nielsen, A. (1985). Betons brugsegenskaber: Fugtmekanik. Aalborg Portland, 2. edition. 165-204

[Nielsen et al., 1985-2] Herholdt, A. D., Justensen, C. F. P., Nepper-Christensen, P., Eriksen, K. and Nielsen, A. (1985). Betons brugsegenskaber: Holdbarhed. Aalborg Portland, 2. edition. 205-251

[Nielsen et al., 2008] Hansen, K. K., Linnet, E., Nielsen, A., Geiker, M. Jensen, O. M. og Hoffmeyer, P. (2008). Uorganisk bindemidler. Bygningsingeniørens materialer - uddrag af Materialebogen. Nyt Teknisk Forlag, 1. udgave., 39-48

[Ottosen et al., 2013 - 1] Ottosen, L. M., Jensen, P. E., Golterman, P. og Kirkelund, G. (2013). Sewage sludge ash as cement replacement after simple pretreatment. Udført på baggrund af tidligere DTU-projekter.

[Ottosen et al., 2013 - 2] Ottosen, L. M., Kirkelund, G. M., and Jensen, P. E. (2013). Extracting phosphorous from incinerated sewage sludge ash rich in iron or aluminium. Chemosphere, 91, 963-969.

[Ottosen, 2014] Ottosen, L. M. (2014). Personlig mundtlig kommunikation, d. 15. januar 2014.

[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

[Reiff og Meldgaard, 2013] Reiff, M. og Meldgaard, M. G. (2013). Slammaske i beton - effekt af knusning og syrevask af slammaske. Bachelorprojekt, Institut for Byggeri og Anlæg i Lyngby, DTU.

[Rem, 2014] Rem, C. (2014). Use of sewage sludge ash in reinforced concrete - risk of corrosion. Titlen er foreløbig. Sideløbende kandidatspeciale, Institut for Byggeri og Anlæg i Lyngby, DTU.

[Rosenmai og Svendsen, 2012] Rosenmai, L. og Svendsen S. (2012). Slamaskes anvendelighed i beton. Anvendelse af slamaske i beton efter fosfor indvinding. Bachelorprojekt, Institut for Byggeri og Anlæg i Lyngby, DTU.

[Saraswathy og Song, 2006] Saraswathy, V. og Song, H. W. (2006). Electrochemical studies on the corrosion performance of steel embedded in activated fly ash blended concrete. *Electrochimica acta*, 51(22), 4601-4611.

[Sodapatrone, 2009] Sodapatrone.de (2009). Information over CO₂. Hentet d. 21. december 2013. <http://www.sodapatrone.de/information-over-co2.html>

[Tang, 1996] Tang, T. (1996). Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete – current development. *Magazine of Concrete Research*, 48 (176): 173 – 179.

[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.

[Zielinski, 2006] Zielinski, T. J. (2006). Diffusion: A Brief Review. Department of Chemistry, Medical Technology, and Physics. Monmouth University. West Long Branch, NJ 07764. Hentet d. 28. december 2013. <http://www.chemeddl.org/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/f6da9e2a-0af5-4b6c-8223-0e7789dfb252/FicksLaw12.pdf?guest=true>

8. Bilag

8.1	<u>Tidsplan over forsøgene</u>	75
8.2	<u>Forsøgsvejledning for askekarakteristik</u>	76
8.2.1	<u>pH i 1 M KCl opslemning. Jord-væske forhold 1:2,5</u>	76
8.2.2	<u>Vandindhold i jord</u>	78
8.2.3	<u>Oplukning af jordprøve efter DS 259</u>	80
8.2.4	<u>Glødetab i jord</u>	83
8.2.5	<u>Måling af ledningsevne i jord</u>	85
8.2.6	<u>Vandopløselighed</u>	87
8.2.7	<u>Vandopløselige anioner</u>	88
8.2.8	<u>Leaching</u>	89
8.2.9	<u>Knusning af aske</u>	89
8.3	<u>Forsøgsvejledning for mørtelstøbning</u>	90
8.3.1	<u>Beskrivelse af mørtelstøbning</u>	90
8.3.2	<u>Leaching</u>	90
8.4	<u>Forsøgsvejledning for at finde kloridindhold</u>	91
8.4.1	<u>Syreoplukning på hærdet beton</u>	91
8.4.2	<u>Bestemmelse af klorid ved titrering</u>	92
8.5	<u>Forsøgsvejledning for epoxy-maling</u>	96
8.6	<u>Data fra askekarakteristik</u>	97
8.6.1	<u>Data fra laboratoriet</u>	97
8.6.2	<u>Data fra ICP-målinger – Avedøre Ny - 2</u>	98
8.6.3	<u>Data fra IC-målinger – Avedøre Ny - 2 (vandopløselige anioner)</u>	98
8.6.4	<u>Data fra kornstørrelse</u>	99
8.6.5	<u>Data fra SEM og Mapping</u>	116
8.7	<u>Data fra mørtelprøvning</u>	118
8.7.1	<u>Trykstyrke</u>	118
8.7.2	<u>ICP-målinger fra leaching af mørtelprøver</u>	119
8.8	<u>Data fra korrosionsforsøgene</u>	120
8.8.1	<u>Potentialemålinger (EKP-målinger)</u>	120
8.9	<u>Data fra diffusionsforsøgene</u>	121
8.9.1	<u>Diffusion af klorider – med påtrykning af elektrisk strøm</u>	121
8.9.2	<u>Diffusion af klorider – uden påtrykning af elektrisk strøm</u>	137
8.9.3	<u>Billeder af knust og ikke-knust mørtelprøver</u>	141
8.10	<u>Billeder fra epoxy-maling</u>	142
8.11	<u>Sammenligning af slammaske fra Avedøre I/S og slammaske fra Lynette I/S</u>	162
8.12	<u>Sammenligning af referenceprøver og askeprøver fra Avedøre I/S</u>	162
8.13	<u>Poster præsentation fra mødet d. 18/11 2013</u>	163

8.1 Tidsplan over forsøgene

På den nedenstående graf ses forsøgsdatoerne.

Dato	Laboratoriet	Trykprøve	Udvaskning af mørtelprøver	EKP	Visuel	Diffusion med påtrykning af strøm	Diffusion uden påtrykning af strøm
1. omgang: Start	10.9.2013	4.10.2013	4.11.2013	24.10.2013	22.10.2013	14.10.2013	12.10.2013
1. omgang: Slut	17.9.2013	1.11.2013	5.11.2013	19.12.2013	21.11.2013	21.10.2013	12.11.2013
2. omgang: Start					22.10.2013	22.10.2013	12.10.2013
2. omgang: Slut					6.12.2013	21.12.2013	26.11.2013
3. omgang: Start					22.10.2013	11.11.2013	12.10.2013
3. omgang: Slut					21.12.2013	11.12.2013	11.12.2013

Tabel 8.1: Oversigt over forsøgsdatoer

Hærdningsperioder for de forskellige forsøg:

Trykforsøg + Udvaskning af mørtelprøver: 28 dage

Korrosionsforsøgene: 33 dage

Diffusionsforsøgene: 32 dage

Epoxy-maling:

Efter mørtelprøverne bliver hærdnet, epoxy-males mørtelprøverne 2 dage inden diffusions- og korrosionsforsøgene.

8.2 Forsøgsvejledning for askekaraktistik

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

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

A Princip

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

B Specielt apparatur

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

C Kemikalie sikkerhed

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

- 1) **Kaliumchlorid 1 M KCl:**
74,56 g KCl afvejes på teknisk vægt og opløses i destilleret vand i en 1000,00 mL målekolbe.
- 2) **Bufferopløsning, pH 4,01:**
Radiometer pH 4.
- 3) **Bufferopløsning, pH 7,00:**
Radiometer pH 7.

E **Analysens udførelse**

1) Fremstilling af jordopslemningen

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

8.2.2 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.

8.2.3 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 atomabsorptionsspektrofotometer (AAS).

C Kemikalie sikkerhed

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

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

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

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

E Analysens udførelse

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

Autoklavflaskerne lukkes helt til, da HNO₃ 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.

Ekstrakeme hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinkskalet.

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

8.2.4 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 tungmetalforurenede jord vil tungmetallerne i høj grad reagere med det organiske materiale i jorden og sidder bundet i denne fraktion.

B Specielt apparatur

Til analysen benyttes et muffelovn.

C Analysens udførelse

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

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

Derefter afvejes 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 eksikator og vejes på analyse vægt.

D Beregning af resultat

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

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

E **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

8.2.5 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. ½ 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:

$$S_{\text{sam}} \text{ (møkv. / L)} = \frac{10 \text{ cm}^3 \text{ møkv.} \cdot \text{ledningsev. nen (mS / cm)}}{L \cdot \text{mS}}$$

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).

8.2.6 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.

8.2.7 Vandopløselige anioner

Vandopløselige anioner

Analyse:

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

Prøven stilles på rystebord natten over.

Prøven filtreres med sprøjtefilter og prøven gemmes til ionchromotograf og AAS

8.2.8 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.

8.2.9 Knusning af aske



Figur 8.1: Ringknuseren

Formål: Slammaske fra Avedøre I/S blev knust for at det kan have en bedre styrke i betonen. Det vil fylde de mellemrum (de små huller i betonen), så det hele bliver dækket. Sidste år har de nemlig undersøgt forskellen mellem knuste og ikke-knuste asker. Og det resulterede i at knuste asker gav en bedre styrke, hvilket skyldes det enten klistrer bedre eller fylder de mellemrum (de små huller) i betonen.

Det knuste slammaske skal viderebruges til støbning af mørtelprøver.



Figur 8.2: Ikke-knust aske

Fremgangsmåde: Det startes med at fylde ca. 50-70% aske i "krusen". I dette projekt arbejdes der med slammaske fra Avedøre og de andre sideløbende projekt-grupper havde fra slammaske fra Lynette. Derefter lukkes der for beholderen, og til sidst sættes det ind i knusemaskinen og knuse slamasken i 20 sek. Og det blev gentaget op til 10 gange, hvor der i alt blev knust 1160 gram slammaske.

Resultat: Der blev knust 1160 gram slammaske fra Avedøre firmaet. Der laves forsøg med slammaske i stedet for flyveaske fordi slammaske ikke er testet så meget som flyveaske. Flyveaske er bevist flere gange at det er godt, så nu tjekkes der om slammaske også er godt.

Forskellen på knust og ikke-knust slammaske fra Avedøre kan ses i afsnit 8.6.4.

8.3 Forsøgsvejledning for mørtelstøbning

8.3.1 Beskrivelse af mørtelstøbning

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 skræbes af
- Dæk prøven af under plastik
- Læg en tilhørseddél på

8.3.2 Leaching

Samme forsøgsbeskrivelse som i afsnit 8.2.8, men denne gang anvendes 10 gram mørtelprøve i stedet for 10 gram aske.

8.4 Forsøgsvejledning for at finde kloridindhold

8.4.1 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. HNO_3 til opsløsningen som derefter blandes godt og stilles til afkøling til stuetemperatur.

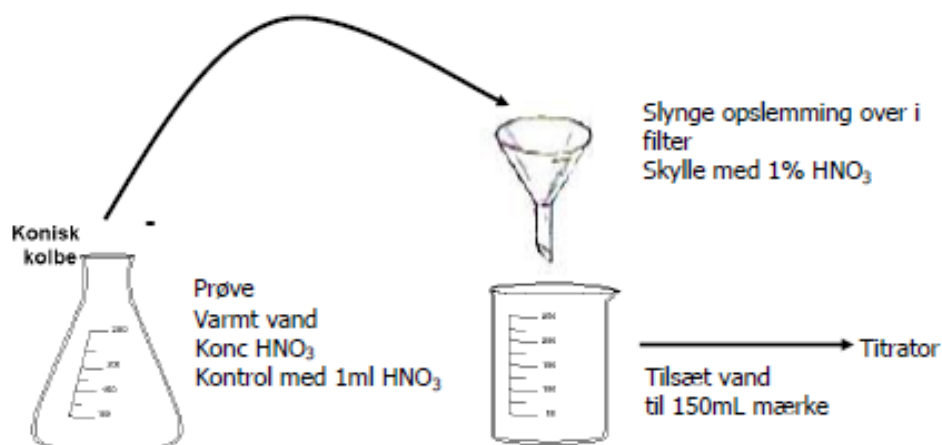
Der tilsættes ca. 1 mL HNO_3 for at kontrollere at alt materiale er opløst (ingen luftudvikling). Fortsæt med at tilsætte HNO_3 indtil der ikke er mere luftudvikling.

Filtrer opløsningen gennem alm filter ned i et bægerglas. Skyl filtreret med 1% HNO_3 . Tilsæt destilleret vand til ca. 150 mL volumen.

Titre prøven på Chlorid-titratoren

Sikkerhed:

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

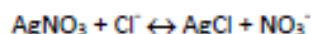


8.4.2 Bestemmelse af klorid ved titrering

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 udrystet med vand (husk L/S forhold ved udregning).

Udstyr:

- Titrator 716 DMS Titrino
- 5ml brun burette enhed
- AgNO₃ elektrode (6.0430.100)
- Måleglas 50 mL
- Bægerglas 100 – 150 mL
- Magnetstave til omrøring

Reagenser:

- 0,1N AgNO₃ færdig købt
- 1M HNO₃
- Destilleret vand

Opstart:

1. Tjek at AgNO₃ elektroden (6.0430.100) sidder i input 1
2. Tryk på ON bag på titratoren (den røde)
3. Tænd for printeren bag på.
4. Sæt elektroden og buretteslangen i holderen ved magnetomrøreren
5. Sæt et spildglas under elektroden og buretteslangen
6. Hold DOS inde for at tømme buretten, samtidig med at der slås forsigtig på slangen for at løsne bobler
7. Tryk på Stop/Fill for at fylde buretten.
8. Pkt. 6 og 7 gentages 3 gange
9. Sæt buretteslangen og AgNO₃ elektroden i holderen. Tjek højden

Kontrol af AgNO_3 :

1 mL 0,1M NaCl afpipetteres til et 100 mL bægerglas. Tilsæt 40 mL dest.vand og 1 mL 1M HNO_3 . Magneten lægges i glasset.

1. Stil bægerglasset med prøven på omrøreren
2. Kør holden ned eller op således at omrøreren starter
3. Sæt fuld drøn på omrøringen
4. Tryk på Start
5. Når titreringen er færdig printes resultatet automatisk
6. Resultatet beregnes efter formlen og den rigtige konc af AgNO_3 anvendes til beregning af prøvens koncentration.

Beregning af AgNO_3 :

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

Måling af udrystet prøver:

Afmål 1-5 mL prøve til et 100 mL bægerglas. Tilsæt 40 mL dest.vand og 1 mL 1M HNO_3 . Magneten lægges i glasset.

7. Stil bægerglasset med prøven på omrøreren
8. Kør holden ned eller op således at omrøreren starter
9. Sæt fuld drøn på omrøringen
10. Tryk på Start
11. Når titreringen er færdig printes resultatet automatisk

Beregning af prøver i mg/kg:

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

mL AgNO_3 = den mængde der er brugt til titreringen
mol/L (AgNO_3) = den beregnet koncentration af AgNO_3
g/mol Cl = 35,45

Kontrol af AgNO_3 :

1 mL 0,1M NaCl afpipetteres til et 100 mL bægerglas. Tilsæt 40 mL dest.vand og 1 mL 1M HNO_3 .
Magnetten lægges i glasset.

1. Stil bægerglasset med prøven på omrøreren
2. Kør holden ned eller op således at omrøreren starter
3. Sæt fuld drøn på omrøringen
4. Tryk på Start
5. Når titreringen er færdig printes resultatet automatisk
6. Resultatet beregnes efter formlen og den rigtige konc af AgNO_3 anvendes til beregning af prøvens koncentration.

Beregning af AgNO_3 :

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

Måling af syreoplukket prøver:

Prøven syreoplukkes efter forskriften. Bægerglasset med de 150 mL prøves anvendes direkte.

1. Stil bægerglasset med prøven på omrøreren
2. Kør holden ned eller op således at omrøreren starter
3. Sæt fuld drøn på omrøringen
4. Tryk på Start
5. Når titreringen er færdig printes resultatet automatisk

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 AgNO_3 = den mængde der er brugt til titreringen
mol/L AgNO_3 = den beregnet koncentration af AgNO_3
g/mol Cl = 35,45
g prøve (den afvejede mængde prøve til syreoplukning)

Fit til at gøre det hurtigere:

1 mL 0,1M NaCl = 1mL 0,1M AgNO₃ = 90-120 mV

Prøve mindre end 90 mV bør komme med et resultat inden 2 mL AgNO₃. Ellers kan der trykkes på stop, da maskinen bliver med at tilsætte AgNO₃ indtil 5mL er brugt.

Hvis prøven viser over 120 mV kan det godt svare sig at bruge mindre mængde prøve.

8.5 Forsøgsvejledning for epoxy-maling

Denne forsøgsvejledning blev skrevet af Lisbeth M. Ottosen, da Kurt K. Hansen gennemgik forsøget. Epoxy-maling gentages 2 dage efter hinanden så prøverne bliver helt dækket.

Arbejdsbeskrivelse til epoxy-maling

1. Sørg for at reservere stinkskaftet og husk at lægge en seddel ved prøverne med navn, telefonnummer og vejleder.
2. Læg plastik i hele bunden af stinkskaftet 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 stinkskaftet.
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 stinkskaftet.
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 stinkskaftet som derefter smides i den blå tønde.
16. Alting ryddes op og stilles på plads, lyset i stinkskaftet slukkes og glasset køres ned.
17. Husk at vaske hænder!



Figur 8.3: De benyttede spande til epoxy-maling



Figur 8.4: Mørtelprøver som står til tørre efter epoxy-maling

8.6 Data fra askekarakteristik

8.6.1 Data fra laboratoriet

Vandindhold: Forsøget blev udført d. 10. og 11. september 2013:

Forsøg nr.	Før varmeskab			Efter varmeskab		Resultater		Gennemsnit %
	Bægerglas [g]	Bægerglas + aske [g]	Kun aske [g]	Bægerglas + aske [g]	Kun aske [g]	Vand [g]	Vandindhold %	
1	106,98	240,02	133,04	239,79	132,81	0,23	0,173	0,163222301
2	108,61	225,98	117,37	225,79	117,18	0,19	0,162	Stand.afv.:
3	105,25	221,45	116,2	221,27	116,02	0,18	0,155	0,00906223

Tabel 8.2: Vandindhold i slamaske for Avedøre Ny - 2

Vandopløselighed: Forsøget blev udført d. 10. og 11. september 2013:

Vægt af filter [g]	Vægt af petriskål [g]	Vægten af petriskål + filtre + våd aske [g]	Vægten af petriskål + filtre + tør aske [g]	Vægt kun af våd aske [g]	Vægt kun af tør aske [g]	Opløst vand [g]	Beregnet asketab [%]
10,5	230,52	438,23	379,96	197,21	138,94	58,27	29,54718

Tabel 8.3: Vandopløselighed i slamaske for Avedøre Ny - 2

pH og ledningsevne: Forsøget blev udført d. 16. september 2013:

Navn	Destilleret vand [mL]	Tør aske [g]	pH _{KCl}	pH _{H2O}	Ledningsevne [ms/cm]
A _{H2O}	12,5	5	-	7,54	2,355
B _{H2O}	12,5	5	-	7,34	2,594
C _{H2O}	12,5	5	-	7,42	2,612
A _{KCl}	12,5	5	9,67	-	-
B _{KCl}	12,5	5	9,56	-	-
C _{KCl}	12,5	5	9,47	-	-

Gennemsnit: pH	Gennemsnit: ledningsevne	Standard afvigelse pH	Standard afvigelse ledningsevne
9,566666667	2,520333333	0,10016653	0,143465443

Tabel 8.4: pH og ledningsevne i slamaske for Avedøre Ny - 2

Glødetab: Forsøget blev udført d. 16. og 17. september 2013:

Forsøgs nr:	Vægt af digel [g] (før muffelovn)	Vægt af aske [g] (før muffelovn)	Vægt af aske + digel [g] (efter muffelovn)	Vægt af kun aske [g] (efter muffelovn)	% glødetab	Gennemsnit %:
1	13,5277	2,5004	16,013	2,4853	0,607572526	0,565743622
2	14,345	2,5001	16,8301	2,4851	0,603597441	Stand.afv
3	14,314	2,5015	16,8034	2,4894	0,486060898	0,069035879

Tabel 8.5: Glødetab i slamaske for Avedøre Ny - 2

8.6.2 Data fra ICP-målinger – Avedøre Ny - 2

8.6.2.1 Indhold af mikro og makro elementer

Prøve	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/L Ba	mg/kg Ba	mg/L Cd	mg/kg Cd	afvejet [g]	mL målekolbe
GK - avedøre- A	225,105	22510,5000	0,053133	5,3133	8,04521	804,5210	0,039512	3,9512	1,0000	100,00
GK - avedøre- B	214,055	21405,5000	0,05863	5,8630	7,60626	760,6260	0,033635	3,3635	1,0000	100,00
GK - avedøre- C	224,043	22404,3000	0,045595	4,5595	7,92452	792,4520	0,033156	3,3156	1,0000	100,00
Gennemsnit		22106,76667		5,245266667		785,8663333		3,543433333		
Spredning		609,631703		0,654407719		22,67644175		0,353947515		
	mg/L Ca	mg/kg Ca	mg/L Cr	mg/kg Cr	mg/L Cu	mg/kg Cu	mg/L Ni	mg/kg Ni		
GK - avedøre- A	1512,77	151277,0000	0,474932	47,4932	8,32366	832,3660	0,626709	62,6709	Faststofindhold i mg/kg:	
GK - avedøre- B	1455,69	145569,0000	0,457295	45,7295	7,96578	796,5780	0,602492	60,2492	$mg/kg = \frac{A \cdot mg/L * 0,100L * C}{B * 10^{-3} kg/g_{Aske}}$	
GK - avedøre- C	1488,97	148897,0000	0,476243	47,6243	8,16935	816,9350	0,631622	63,1622		
Gennemsnit		148581		46,949		815,293		62,02743333		
Spredning		2867,090511		1,058150268		17,95041389		1,559464416		
	mg/L Pb	mg/kg Pb	mg/L Zn	mg/kg Zn	mg/L Na	mg/kg Na	mg/L Fe	mg/kg Fe		
GK - avedøre- A	4,62277	462,2770	24,7767	2477,6700	52,6359	5263,5900	530,572	53057,2000		
GK - avedøre- B	1,47517	147,5170	23,3373	2333,7300	41,9134	4191,3400	516,669	51666,9000		
GK - avedøre- C	1,48642	148,6420	24,1557	2415,5700	42,8865	4288,6500	547,265	54726,5000		
Gennemsnit		252,812		2408,99		4581,193333		53150,2		
Spredning		181,4028833		72,19524361		592,9723577		1531,918663		
	mg/L K	mg/kg K	mg/L P	mg/kg P	mg/L Mg	mg/kg Mg	mg/L Mn	mg/kg Mn	mg/L V	mg/kg V
GK - avedøre- A	67,5287	6752,8700	1141,08	114108,0000	152,988	15298,8000	8,28062	828,0620	0,54108	54,1080
GK - avedøre- B	53,6341	5363,4100	1098,07	109807,0000	144,866	14486,6000	7,95569	795,5690	0,530076	53,0076
GK - avedøre- C	55,4881	5548,8100	1122,78	112278,0000	152,27	15227,0000	8,1876	818,7600	0,543359	54,3359
Gennemsnit		5888,363333		112064,3333		15004,13333		814,1303333		53,81716667
Spredning		754,4018309		2158,446278		449,632487		16,73392131		0,710305035

Tabel 8.6: Indhold af mikro og makro elementer i slamaske for Avedøre Ny - 2

8.6.2.2 Leaching

Prøve	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/L Cd	mg/kg Cd	mg/L Cr	mg/kg Cr	afvejet [g]	mL målekolbe
GK aske 1	0,088458	0,1769	0,025176	0,0504	0	0,0000	0	0,0000	10	20
GK aske 2	0,099708	0,1994	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	10	20
GK aske 3	0,111201	0,2224	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	10	20
Gennemsnit aske		0,1996		0,0168		0,0000		0,0000		
Spredning aske		0,0227		0,0291		0,0000		0,0000		
	mg/L Cu	mg/kg Cu	mg/L Ni	mg/kg Ni	mg/L Pb	mg/kg Pb	mg/L Zn	mg/kg Zn	mg/L P	mg/kg P
GK aske 1	0,003487	0,0070	0,006643	0,0133	0,021256	0,0425	0	0,0000	0,422597	0,8452
GK aske 2	0,005134	0,0103	0,009127	0,0183	0,028196	0,0564	0,000917	0,0018	0,563259	1,1265
GK aske 3	0,00388	0,0078	0	0,0000	0,023717	0,0474	0	0,0000	0,486156	0,9723
Gennemsnit aske		0,0083		0,0105		0,0488		0,0006		0,9813
Spredning aske		0,0017		0,0094		0,0070		0,0011		0,1409
	mg/L Na	mg/kg Na	mg/L Fe	mg/kg Fe	mg/L K	mg/kg K	mg/L Ca	mg/kg Ca	mg/L Mg	mg/kg Mg
GK aske 1	133,625	267,2500	0	0,0000	110,543	221,0860	577,625	1155,2500	56,8301	113,6602
GK aske 2	124,757	249,5140	0	0,0000	104,207	208,4140	545,99	1091,9800	54,5616	109,1232
GK aske 3	128,21	256,4200	0	0,0000	108,47	216,9400	556,578	1113,1560	57,2318	114,4636
Gennemsnit aske		257,7280		0,0000		215,4800		1120,1287		112,4157
Spredning aske		8,9401		0,0000		6,4609		32,2062		2,8795
	Faststofindhold i mg/kg:									
	$mg/kg = \frac{A \cdot mg/L * 0,100L * C}{B * 10^{-3} kg/g_{Aske}}$									

Tabel 8.7: Leaching i slamaske for Avedøre Ny - 2

8.6.3 Data fra IC-målinger – Avedøre Ny - 2 (vandopløselige anioner)

Ionchromotograf for salte								
Prøve	afvejet [g]	tilsat	mg/L Cl	mg/kg Cl	mg/l NO3	mg/kg NO3	mg/L SO4	mg/kg SO4
GK - anion avedøre A	10,0000	50,00	5,5673	27,8364	1,4440	7,2201	1403,1182	7015,5908
GK - anion avedøre B	10,0000	50,00	5,5783	27,8915	1,4692	7,3461	1424,2629	7121,3147
GK - anion avedøre C	10,0000	50,00	5,5373	27,6865	1,4602	7,3012	1401,3382	7006,6908
Gennemsnit				27,8048		7,2891		7047,8654
Spredning				0,1061		0,0638		63,7644
	$mg/kg = \frac{A [mg/L] \times 0,080 [L] \times C}{B [g] \times 10^{-3} [kg/g]}$							

Tabel 8.8: Vandopløselige anioner i slamaske for Avedøre Ny - 2

8.6.4 Data fra kornstørrelse

Alle data for kornstørrelserne vil blive vist for Avedøre I/S. Der tages hensyn til både knust aske og ikke-knust aske. Der er taget en triple-analyse for hver prøve, hvilket er gennemført 2 gange af samme slags aske, f.eks. Avedøre knust aske (KNUST). Derefter er dette gentaget for Avedøre ikke-knust aske (RAA). Der ses derefter et gennemsnit af to middelværdier af triple-analyserne (AVERAGE). Navnene på hver forsøg ses på venstre side øverst på de følgende arker i dette afsnit.

På nedenstående tabel, ses de værdier som blev brugt til figur 4.8 i rapporten:

	Knust 1 (Average)	Knust 2 (Average)	Ikke-knust 1 (Average)	Ikke-knust 2 (Average)	Gennemsnit af knust aske	Gennemsnit af ikke-knust aske	Difference - knust	Difference - ikke knust
Avedøre Ny	25,024	31,024	26,557	41,523	28,024	34,04	3,541179714	8,198820397
Lynette Ny	14,312	14,492	43,255	48,275	14,402	45,765	0,621058666	2,875027142
Lynette Depot	12,164	21,233	34,924	79,907	16,6985	57,4155	5,587787627	24,74208335

Tabel 8.9: Gennemsnitsværdier af kornstørrelse (d50%) for slamaske Avedøre Ny - 2

Data fra Lynette Ny og Lynette Depot ses i sideløbende rapporter [Andreasen og Jørgensen, 2014] og [Rem, 2014]. Data fra Avedøre Ny ses på de følgende sider i dette afsnit.

Forskellen på knust aske fra Avedøre og ikke-knust aske fra Avedøre ses på det nedenstående billede:



Figur 8.5: Ikke-knust aske og knust aske fra Avedøre I/S

Som det ses på billedet ser knust aske mere fint ud, dermed også mere pakket ud end ikke-knust aske.

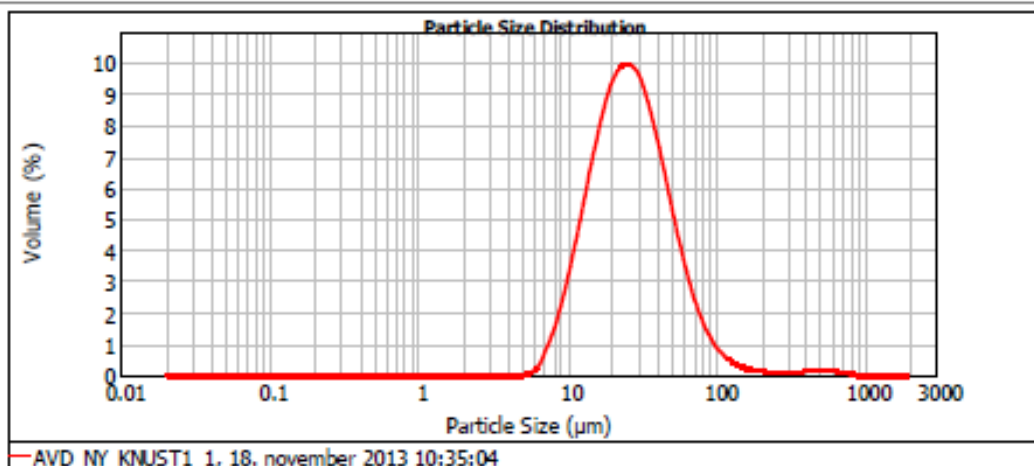
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_1	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:35:04
Sample Source & type: Paris	Measured by: f-user	Analysed: 18. november 2013 10:35:06
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 16.86 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.441 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0562 %Vol	Span : 1.794	Uniformity: 0.704	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.268 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 22.403 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 35.422 um	

d(0.1): 12.337 um d(0.5): 25.908 um d(0.9): 58.825 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 %
0.090	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.78	50.238	3.58	355.656	0.08
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.29	56.368	2.82	390.052	0.09
0.025	0.00	0.178	0.00	1.282	0.00	8.994	1.94	63.246	2.14	447.744	0.09
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.034	1.94	70.963	2.14	502.577	0.09
0.032	0.00	0.224	0.00	1.580	0.00	11.247	2.71	79.621	1.58	563.677	0.09
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	3.55	89.337	1.14	632.466	0.08
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	4.43	100.257	0.57	709.627	0.07
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	5.31	112.468	0.57	796.214	0.07
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	6.11	126.191	0.39	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	6.78	141.589	0.28	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.00	22.440	7.25	158.866	0.20	1124.625	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.00	25.179	7.48	178.250	0.14	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.00	28.251	7.21	200.000	0.08	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.00	31.698	7.21	224.404	0.06	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.00	35.566	6.72	251.785	0.07	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.02	39.905	6.05	282.508	0.07	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.889	0.00	6.325	0.11	44.774	5.25	316.979	0.07		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.37	50.238	4.42	355.656	0.07		

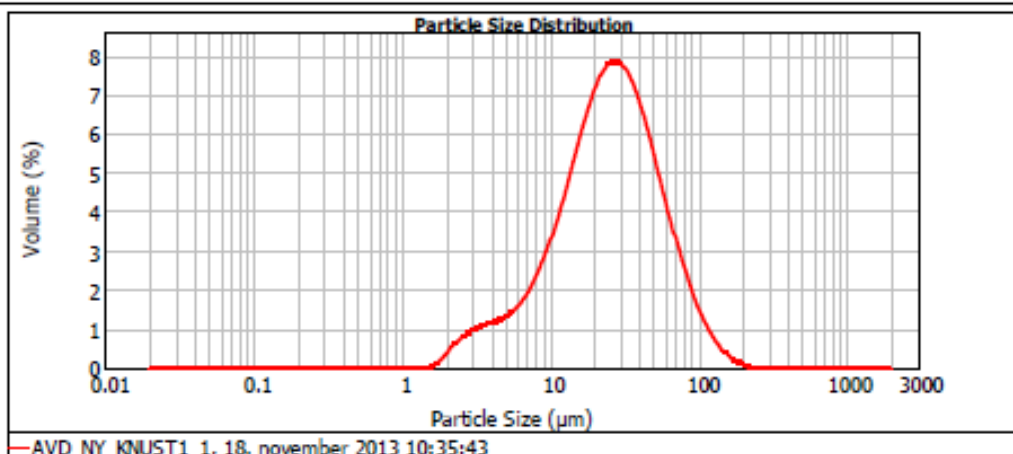
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_1	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:35:43
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:35:45
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 19.64 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.469 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0416 %Vol	Span : 2.292	Uniformity: 0.722	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.389 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 15.434 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 32.003 um	

d(0.1): 7.344 um d(0.5): 25.070 um d(0.9): 64.802 um



AVD_NY_KNUST1_1, 18. november 2013 10:35:43

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	1.98	50.258	3.82	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.88	56.368	3.25	390.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.88	63.246	2.69	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.415	0.00	10.024	2.34	70.963	2.69	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.68	79.621	2.17	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.08	12.619	3.16	89.337	1.71	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.19	14.159	3.68	100.257	1.30	709.627	0.00
0.046	0.00	0.317	0.00	2.244	0.39	15.887	4.21	112.468	0.97	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.51	17.825	4.72	126.191	0.69	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.63	20.000	5.18	141.589	0.47	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.72	22.440	5.54	158.866	0.31	1124.628	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.79	25.179	5.80	178.250	0.18	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.84	28.251	5.91	200.000	0.10	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.89	31.698	5.86	224.404	0.02	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.96	35.566	5.67	251.785	0.00	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.05	39.905	5.35	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	1.17	44.774	4.91	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.35	50.258	4.30	355.656	0.00		

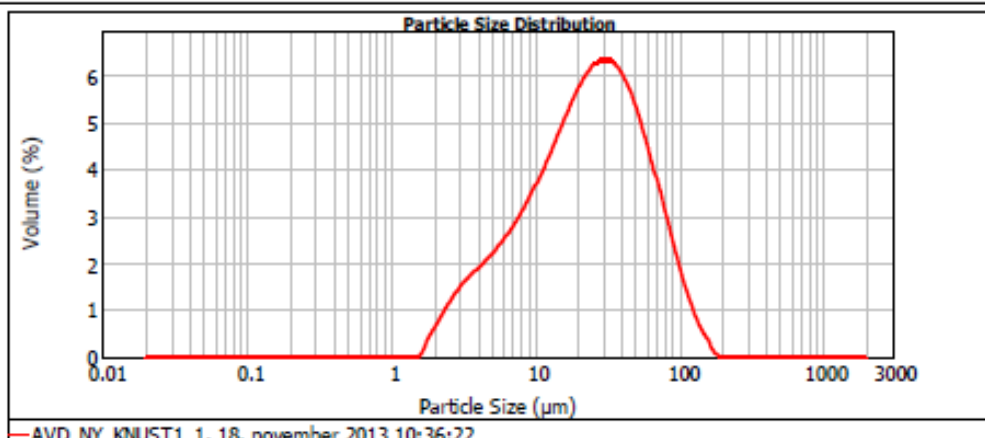
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_1	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:36:22
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:36:24
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 20.96 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.524 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0363 %Vol	Span : 2.740	Uniformity: 0.853	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.467 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 12.857 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 31.753 um	

d(0.1): 5.158 um d(0.5): 23.594 um d(0.9): 69.806 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	2.20	50.258	3.84	355.056	0.00
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.962	2.40	56.368	3.45	399.052	0.00
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	0.00	8.954	2.40	63.240	3.45	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	2.62	70.963	3.01	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.86	79.621	2.56	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.763	0.13	12.619	3.12	89.337	2.10	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.39	14.150	3.39	100.237	1.66	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.57	15.867	3.67	112.468	1.26	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.77	17.825	3.94	126.191	0.90	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.95	19.980	4.19	141.589	0.59	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.11	22.440	4.41	158.866	0.37	1124.680	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	1.25	25.179	4.59	178.250	0.17	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	1.37	28.251	4.72	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.49	31.698	4.77	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	1.60	35.566	4.74	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.73	39.905	4.64	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.125	0.00	0.890	0.00	6.325	1.87	44.774	4.45	315.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	2.02	50.238	4.18	355.056	0.00		

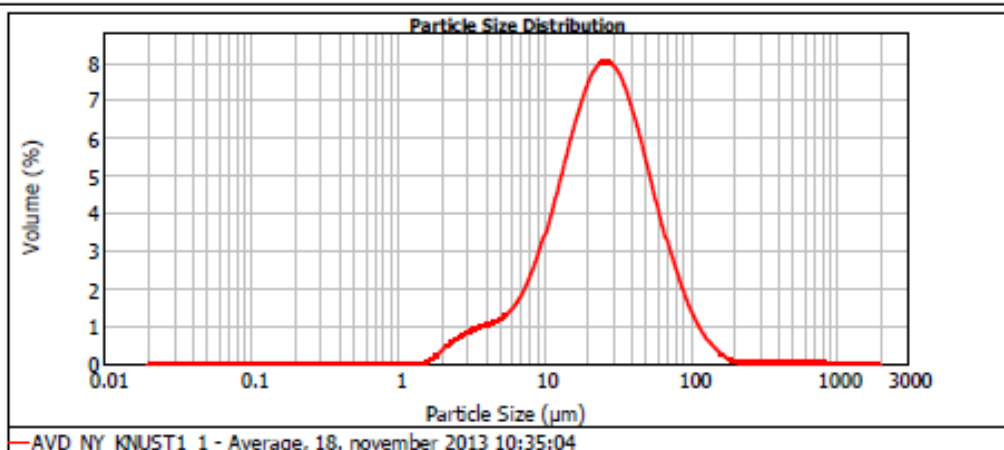
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_1 - Average	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:35:04
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:35:06
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Averaged	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 19.16 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.478 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0447 %Vol	Span : 2.261	Uniformity: 0.754	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.374 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 16.025 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 33.059 um	

d(0.1): 7.990 um d(0.5): 25.024 um d(0.9): 64.572 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	1.52	50.238	3.75	355.056	0.03
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.86	56.368	3.17	399.052	0.03
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	0.00	8.994	1.86	63.246	3.17	447.744	0.03
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.094	2.27	70.963	2.61	502.377	0.03
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.75	79.621	2.10	563.677	0.03
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.08	12.619	3.27	89.337	1.65	632.456	0.03
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.17	14.159	3.83	100.237	1.36	709.627	0.03
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.33	15.887	4.39	112.468	0.93	796.214	0.02
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.43	17.825	4.92	126.191	0.66	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.52	20.000	5.38	141.589	0.45	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.61	22.440	5.73	158.866	0.29	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.68	25.179	5.96	178.250	0.17	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.74	28.251	6.03	200.000	0.07	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.79	31.698	5.95	224.404	0.03	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.85	35.566	5.71	251.785	0.02	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.93	39.905	5.35	282.508	0.02	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	1.05	44.774	4.87	316.319	0.02		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.25	50.238	4.33	355.056	0.02		

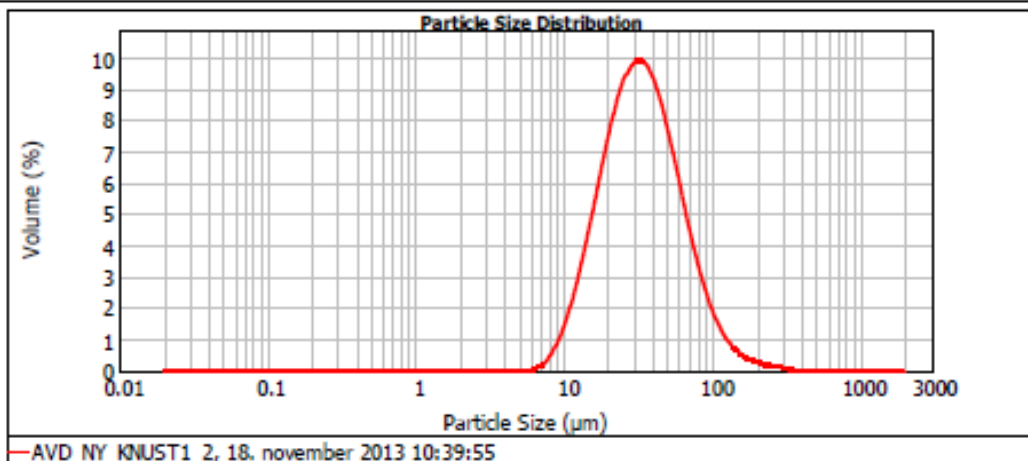
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_2	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:39:55
Sample Source & type: Parts	Measured by: Fuser	Analysed: 18. november 2013 10:39:57
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 14.83 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.366 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0615 %Vol	Span : 1.785	Uniformity: 0.59	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.214 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 28.019 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 40.908 µm	

d(0.1): 15.392 µm d(0.5): 32.790 µm d(0.9): 73.927 µm



—AVD_NY_KNUST1_2, 18. november 2013 10:39:55

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	0.21	50.238	5.34	365.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.40	56.368	4.53	399.052	0.00
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	0.00	8.934	0.84	63.246	3.70	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.034	1.33	70.963	2.93	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.94	79.621	2.25	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	2.67	89.337	1.68	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	3.48	100.237	1.23	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	4.34	112.468	0.93	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	5.20	126.191	0.73	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	6.07	141.589	0.63	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.00	22.440	6.97	158.866	0.55	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.00	25.179	7.91	178.250	0.48	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.00	28.251	8.89	200.000	0.43	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.00	31.698	9.91	224.404	0.39	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.00	35.566	10.97	251.785	0.36	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.00	39.905	12.07	282.508	0.34	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.00	44.774	13.21	316.979	0.32		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.09	50.238	14.39	365.656	0.31		

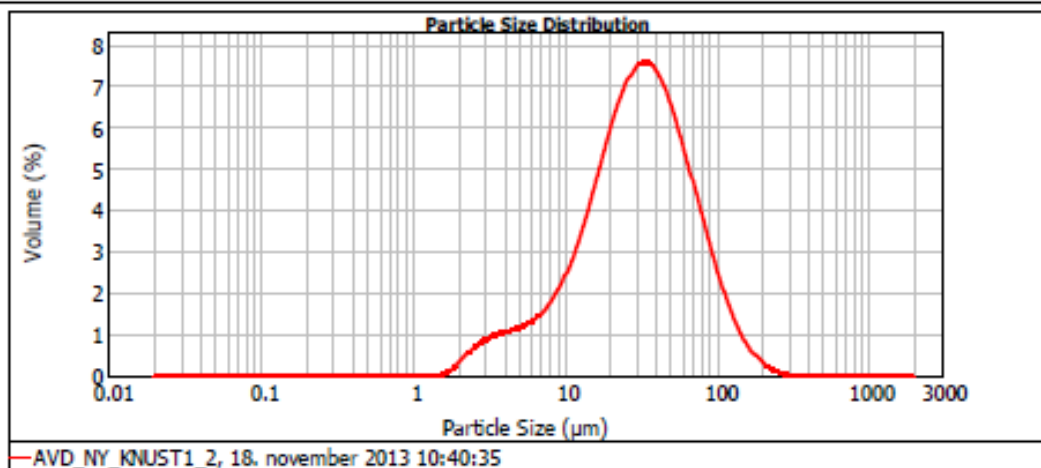
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_2	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:40:35
Sample Source & type: Paris	Measured by: f-user	Analysed: 18. november 2013 10:40:36
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 18.03 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.414 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0437 %Vol	Span : 2.386	Uniformity: 0.747	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.338 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 17.758 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 39.673 µm	

d(0.1): 8.372 µm d(0.5): 30.709 µm d(0.9): 81.648 µm

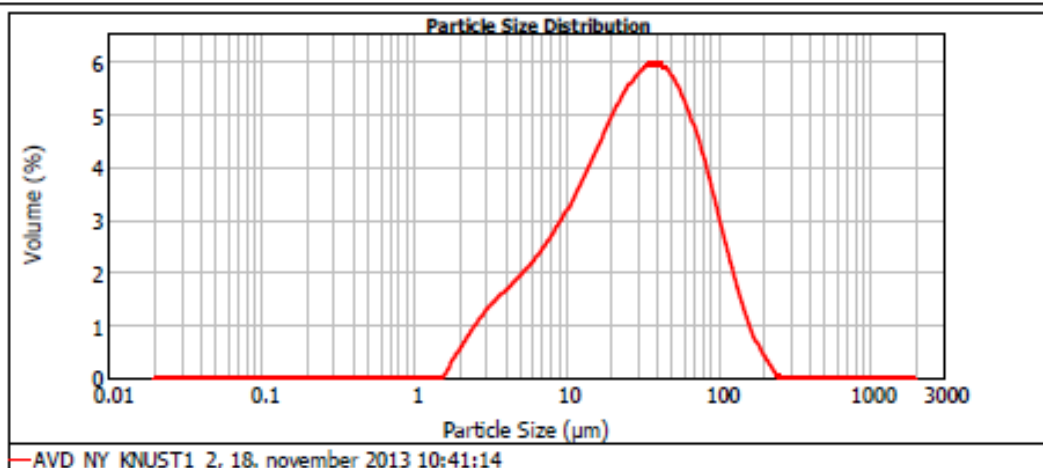


Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.21	50.238	4.72	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.942	1.40	56.368	4.24	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	1.40	63.246	4.24	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.094	1.65	70.963	3.72	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.96	79.621	3.19	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.789	0.06	12.519	2.33	89.337	2.67	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.15	14.150	2.76	100.237	2.17	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.32	15.887	3.23	112.468	1.72	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.44	17.825	3.73	126.191	1.32	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.55	20.000	4.23	141.589	0.98	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.64	22.440	4.70	158.866	0.69	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.71	25.179	5.11	178.250	0.47	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.76	28.251	5.43	200.000	0.30	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.80	31.638	5.64	224.404	0.18	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.85	35.566	5.71	251.785	0.09	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.90	39.905	5.65	282.508	0.05	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.97	44.774	5.45	315.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.07	50.238	5.13	355.656	0.00		

Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_2		SOP Name: Flyveaskeaske våd		Measured: 18. november 2013 10:41:14	
Sample Source & type: Paris		Measured by: Fuser		Analysed: 18. november 2013 10:41:15	
Sample bulk lot ref: 123-ABC		Result Source: Measurement			
Particle Name: aska		Accessory Name: Hydro 2000SM (A)		Analysis model: General purpose	
Particle RI: 1.500		Absorption: 0		Size range: 0.020 to 2000.000 μm	
Dispersant Name: Water		Dispersant RI: 1.330		Weighted Residual: 0.462 %	
				Sensitivity: Enhanced	
				Obscuration: 19.37 %	
				Result Emulation: Off	
Concentration: 0.0377 %Vol		Span : 2.930		Uniformity: 0.914	
Specific Surface Area: 0.414 m^2/g		Surface Weighted Mean D[3,2]: 14.502 μm		Vol. Weighted Mean D[4,3]: 39.728 μm	
				Result units: Volume	

d(0.1): 5.725 μm d(0.5): 28.586 μm d(0.9): 89.480 μm



— AVD_NY_KNUST1_2, 18. november 2013 10:41:14

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	1.91	50.298	4.22	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	2.08	56.368	4.00	399.052	0.00
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	0.00	8.904	2.26	63.246	3.71	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	2.46	70.963	3.37	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.66	79.621	2.98	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.11	12.619	2.89	89.337	2.56	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.33	14.159	3.12	100.257	2.14	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.48	15.887	3.36	112.468	1.71	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.61	17.825	3.59	126.191	1.32	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.75	20.000	3.82	141.589	0.96	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.95	22.440	4.02	158.866	0.66	1124.628	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.567	1.19	25.179	4.20	178.250	0.41	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	1.29	28.251	4.35	200.000	0.24	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.29	31.638	4.44	224.404	0.05	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	1.40	35.566	4.48	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.51	39.905	4.47	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.889	0.00	6.325	1.63	44.774	4.38	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.77	50.298	4.38	355.656	0.00		

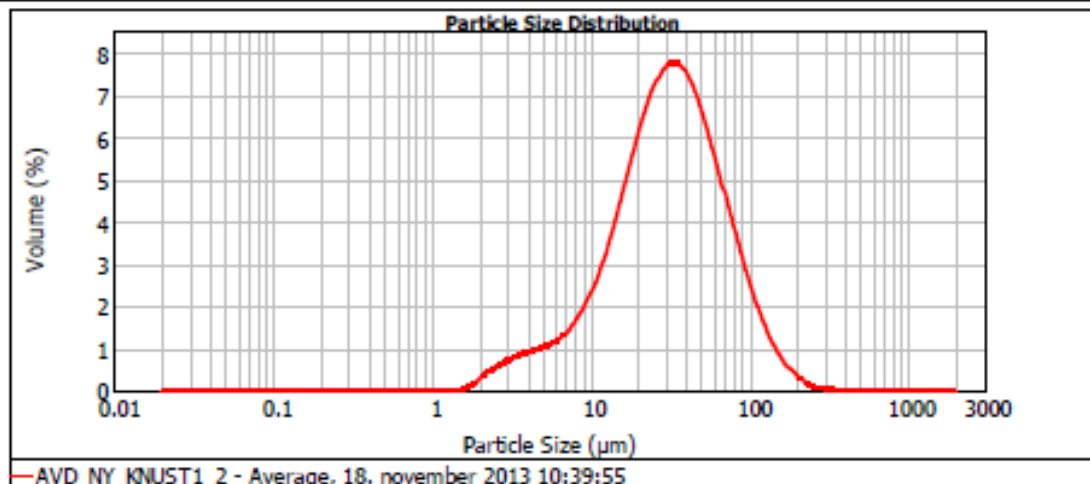
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_KNUST1_2 - Average	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:39:55
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:39:57
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Averaged	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 17.41 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.414 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0476 %Vol	Span : 2.334	Uniformity: 0.735	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.322 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 18.638 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 40.103 um	

d(0.1): 9.220 um d(0.5): 31.024 um d(0.9): 81.825 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.12	50.238	4.76	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.32	56.368	4.26	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	1.52	63.246	3.71	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.59	70.963	3.16	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.91	79.621	2.63	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.07	12.619	2.31	89.337	2.14	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.14	14.159	2.77	100.237	1.69	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.27	15.887	3.28	112.468	1.09	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.36	17.825	3.81	126.191	1.30	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.45	20.000	4.34	141.589	0.97	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.53	22.440	4.89	158.866	0.70	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.59	25.179	5.27	178.250	0.48	1261.916	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.65	28.251	5.60	200.000	0.31	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.70	31.638	5.80	224.404	0.20	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.75	35.566	5.86	251.785	0.09	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.80	39.905	5.78	282.508	0.05	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.87	44.774	5.55	316.597	0.03		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.97	50.238	5.21	355.656	0.00		

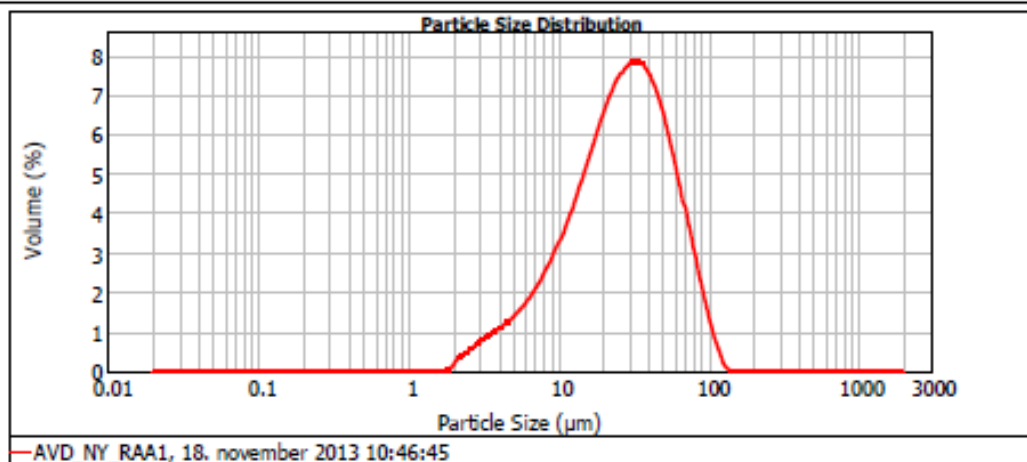
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA1	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:46:45
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:46:45
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 15.13 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.631 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0347 %Vol	Span : 2.102	Uniformity: 0.646	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.36 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 16.646 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 32.056 um	

d(0.1): 7.764 um d(0.5): 26.778 um d(0.9): 64.044 um

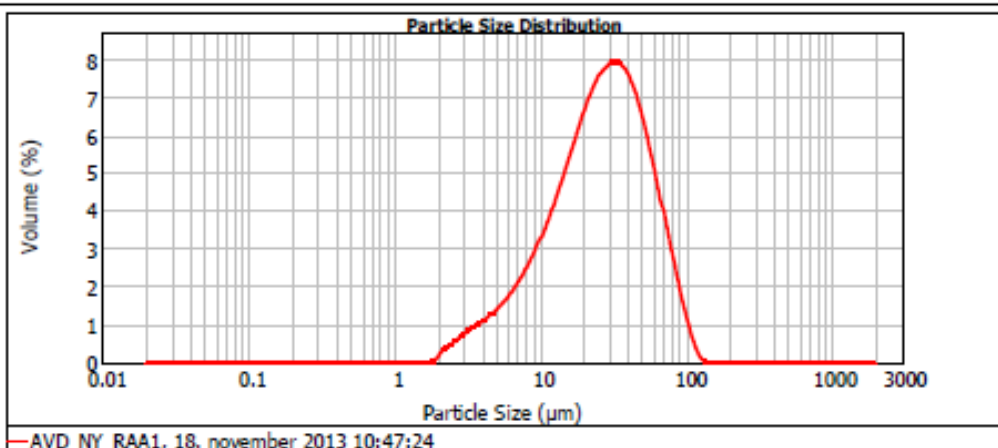


Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.70	50.238	4.63	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.96	56.368	4.82	399.092	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	2.26	63.246	5.34	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.034	2.51	70.963	5.84	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.99	79.621	6.54	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	3.40	89.337	7.34	632.496	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.04	14.159	3.83	100.257	8.24	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.22	15.887	4.27	112.468	9.24	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.33	17.825	4.70	126.191	10.34	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.44	20.000	5.10	141.589	11.54	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.55	22.440	5.46	158.966	12.84	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.76	25.179	5.71	178.250	14.24	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.97	28.251	5.71	200.000	15.74	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.96	31.638	5.87	224.404	17.34	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.98	35.566	5.90	251.785	19.04	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.12	39.905	5.80	282.508	20.84	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.898	0.00	6.325	1.28	44.774	5.54	316.979	22.74		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.47	50.238	5.15	355.656	24.74		

Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA1	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:47:24	
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:47:25	
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement		
Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 µm	Obscuration: 15.09 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.648 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0342 %Vol	Span : 2.075	Uniformity: 0.638	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.364 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 16.492 µm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 31.503 µm	

d(0.1): 7.700 µm d(0.5): 26.471 µm d(0.9): 62.626 µm



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	1.71	50.238	4.60	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.98	56.368	3.96	399.052	0.00
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	0.00	8.934	2.28	63.246	3.25	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.034	2.63	70.963	2.53	502.577	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.83	79.621	1.83	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	3.02	89.337	1.39	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.04	14.159	3.43	100.237	0.66	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.23	15.887	3.67	112.468	0.22	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.33	17.825	4.32	126.191	0.22	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.45	20.000	4.76	141.589	0.01	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.56	22.440	5.17	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.567	0.66	25.179	5.52	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.77	28.251	5.78	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.87	31.698	5.94	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.99	35.566	5.96	251.785	0.00	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.13	39.906	5.84	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	1.29	44.774	5.57	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.49	50.238	5.15	355.656	0.00		

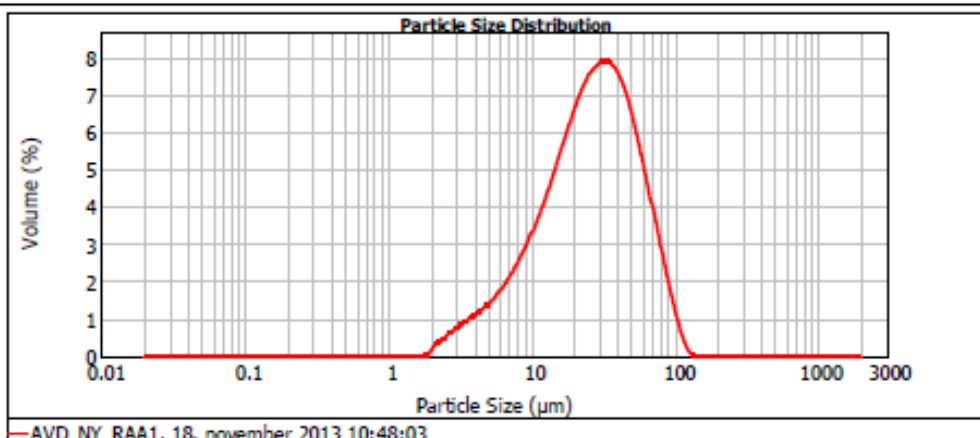
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA1	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:48:03
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:48:04
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 15.05 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.670 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0340 %Vol	Span : 2.083	Uniformly: 0.641	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.365 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 16.447 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 31.486 um	

d(0.1): 7.685 um d(0.5): 26.426 um d(0.9): 82.701 um

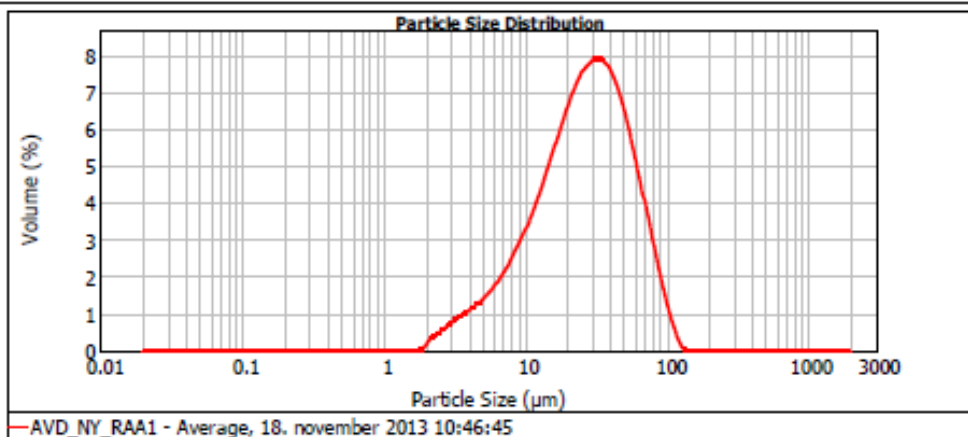


Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.72	50.238	4.59	355.036	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.99	56.368	4.99	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	2.30	63.246	5.96	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	2.65	70.963	7.54	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	3.03	79.621	9.14	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	3.44	89.337	1.20	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.04	14.159	3.88	100.237	1.20	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.23	15.887	4.32	112.468	0.66	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.45	17.825	4.76	126.191	0.61	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.45	20.000	5.15	141.589	0.01	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.67	22.440	5.50	158.866	0.00	1134.689	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.657	0.77	25.179	5.76	178.250	0.00	1281.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	4.201	0.88	28.251	5.91	200.000	0.00	1451.992	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.817	1.00	31.698	5.94	224.404	0.00	1648.036	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.504	1.14	36.566	5.82	251.785	0.00	1872.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	6.267	1.30	41.905	5.55	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.898	0.00	7.206	1.50	47.774	5.14	316.579	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00								

Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA1 - Average	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:46:45	
Sample Source & type: Patis	Measured by: Fuser	Analysed: 18. november 2013 10:46:46	
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Averaged		
Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 15.09 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.650 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0343 %Vol	Span : 2.086	Uniformly: 0.642	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.363 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 16.528 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 31.682 um	

d(0.1): 7.709 um d(0.5): 26.557 um d(0.9): 63.115 um



size (um)	Volume (%)	size (um)	Volume (%)	size (um)	Volume (%)	size (um)	Volume (%)	size (um)	Volume (%)	size (um)	Volume (%)
0.030	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.71	50.258	4.61	355.656	0.00
0.032	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.962	1.98	56.368	3.98	399.952	0.00
0.035	0.00	0.176	0.00	1.282	0.00	8.994	2.28	63.246	3.28	447.744	0.00
0.038	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	2.28	70.963	3.28	502.577	0.00
0.042	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	2.63	79.621	2.57	563.577	0.00
0.046	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	3.01	89.337	1.87	632.496	0.00
0.050	0.00	0.283	0.00	2.000	0.02	14.159	3.42	100.257	1.24	709.627	0.00
0.046	0.00	0.317	0.00	2.244	0.03	15.887	3.96	112.468	0.70	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.03	17.825	4.30	126.191	0.26	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.45	20.000	4.74	141.589	0.02	1002.574	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.66	22.440	5.14	158.866	0.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.567	0.76	25.179	5.40	178.250	0.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.76	28.251	5.75	200.000	0.00	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.87	31.698	5.91	224.404	0.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.99	35.566	5.98	251.795	0.00	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	1.13	39.905	5.82	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	1.29	44.774	5.55	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	1.48	50.258	5.15	355.656	0.00		

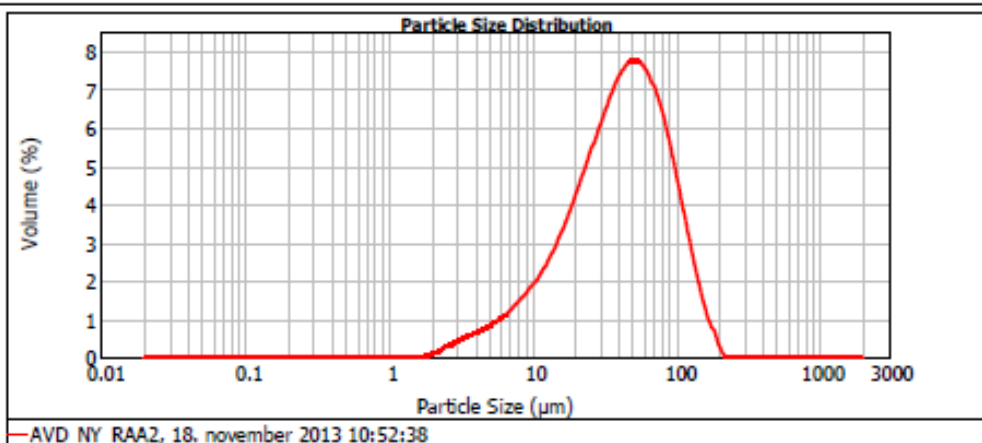
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA2	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:52:38
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:52:39
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 14.98 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.437 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0502 %Vol	Span : 2.143	Uniformity: 0.661	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.25 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 23.999 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 50.046 um	

d(0.1): 11.329 um
d(0.5): 41.722 um
d(0.9): 100.727 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.90	50.258	5.80	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.14	56.368	5.73	390.952	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	1.31	63.246	5.47	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.51	70.963	5.47	502.577	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.51	79.621	5.07	563.577	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.73	89.307	4.55	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.02	14.159	1.90	100.257	3.90	709.627	0.00
0.046	0.00	0.317	0.00	2.244	0.08	15.887	2.20	112.468	3.25	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.17	17.825	2.61	126.191	2.55	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.24	20.000	2.97	141.589	1.80	1002.574	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.30	22.440	3.36	158.866	1.27	1124.680	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.657	0.37	25.179	3.78	178.250	0.78	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.43	28.251	4.20	200.000	0.39	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.50	31.698	4.63	224.404	0.03	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.57	35.566	5.02	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.65	39.905	5.37	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.75	44.774	5.64	316.579	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.066	0.86	50.238	5.90	355.656	0.00		

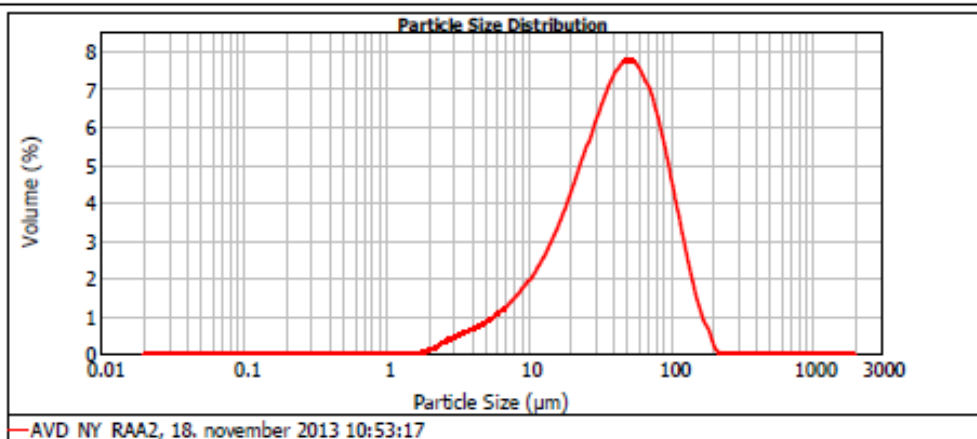
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA2	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:53:17
Sample Source & type: Paris	Measured by: f-user	Analysed: 18. november 2013 10:53:18
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 14.85 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.432 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0497 %Vol	Span : 2.144	Uniformity: 0.662	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.252 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 23.848 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 49.801 um	

d(0.1): 11.232 um d(0.5): 41.510 um d(0.9): 100.247 um

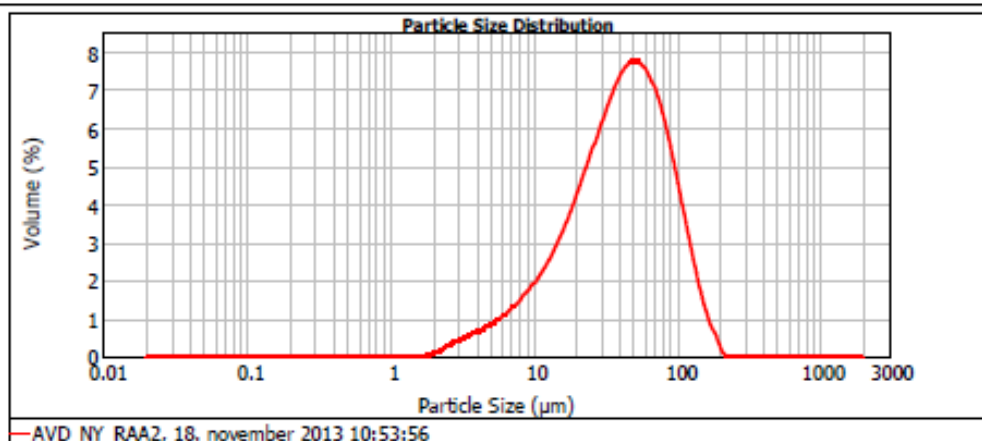


Size (µm)	Volume In%	Size (µm)	Volume In%	Size (µm)	Volume In%	Size (µm)	Volume In%	Size (µm)	Volume In%	Size (µm)	Volume In%
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.00	50.238	5.80	355.056	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	1.15	56.368	5.72	390.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	1.15	63.246	5.72	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.004	1.30	70.963	5.46	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.52	79.621	5.05	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.789	0.00	12.619	1.75	89.337	4.52	632.456	0.00
0.040	0.00	0.280	0.00	2.000	0.02	14.159	2.00	100.257	3.80	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.06	15.887	2.30	112.468	3.21	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.17	17.825	2.62	126.191	2.51	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.24	20.000	2.98	141.589	1.86	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.31	22.440	3.37	158.866	1.25	1124.680	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.37	25.179	3.79	178.250	0.76	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.44	28.251	4.21	200.000	0.38	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.50	31.698	4.64	224.404	0.03	1588.056	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.58	35.566	5.09	251.795	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.66	39.905	5.38	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.888	0.00	6.325	0.76	44.774	5.64	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.87	50.238	5.80	355.056	0.00		

Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA2	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:53:56	
Sample Source & type: Paris	Measured by: f-user	Analysed: 18. november 2013 10:53:58	
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Measurement		
Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 14.81 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.430 %	Result Emulation: Off
Concentration: 0.0492 %Vol	Span : 2.139	Uniformly: 0.66	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.253 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 23.711 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 49.521 um	

d(0.1): 11.138 um d(0.5): 41.338 um d(0.9): 99.562 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.02	50.238	5.85	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.942	1.17	56.368	5.73	399.952	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	1.34	63.246	5.46	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.53	70.963	5.04	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.53	79.621	4.50	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.76	89.337	3.86	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.02	14.159	2.01	100.257	3.18	709.627	0.00
0.046	0.00	0.317	0.00	2.244	0.08	15.887	2.30	112.468	2.47	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.17	17.825	2.62	126.191	1.81	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.24	20.000	2.99	141.589	1.81	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.31	22.440	3.37	158.866	1.21	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.657	0.38	25.179	3.79	178.250	0.73	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	4.201	0.44	28.251	4.22	200.000	0.36	1415.882	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.817	0.51	31.638	4.65	224.404	0.03	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.504	0.59	35.566	5.05	251.785	0.00	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	6.267	0.67	39.905	5.39	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	7.225	0.89	44.774	5.66	316.379	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	0.89	50.238	5.82	355.656	0.00		

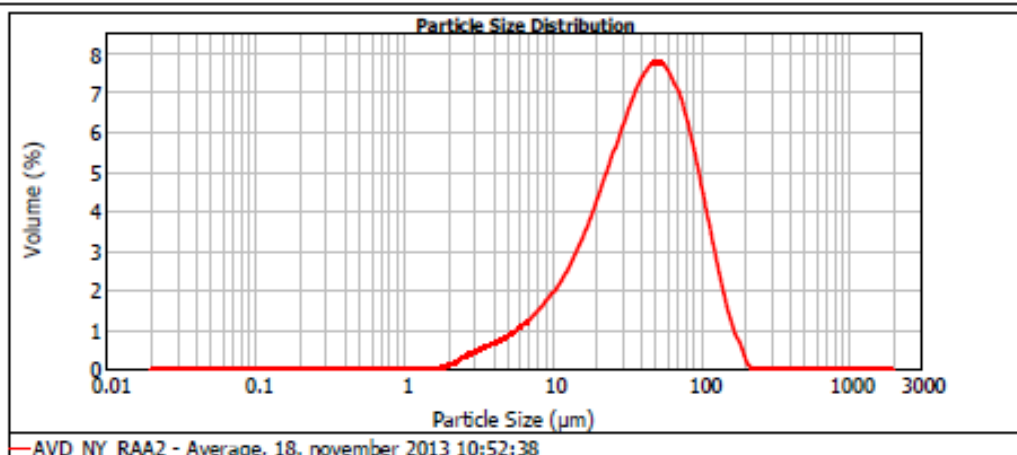
Result Analysis Report

Sample Name: AVD_NY_RAA2 - Average	SOP Name: Flyveaskeaske våd	Measured: 18. november 2013 10:52:38
Sample Source & type: Paris	Measured by: F-user	Analysed: 18. november 2013 10:52:39
Sample bulk lot ref: 123-ABC	Result Source: Averaged	

Particle Name: aske	Accessory Name: Hydro 2000SM (A)	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 14.84 %
Dispersant Name: Water	Dispersant RI: 1.330	Weighted Residual: 0.433 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0497 %Vol	Span : 2.142	Uniformity: 0.661	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.252 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 23.852 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 49.789 um	

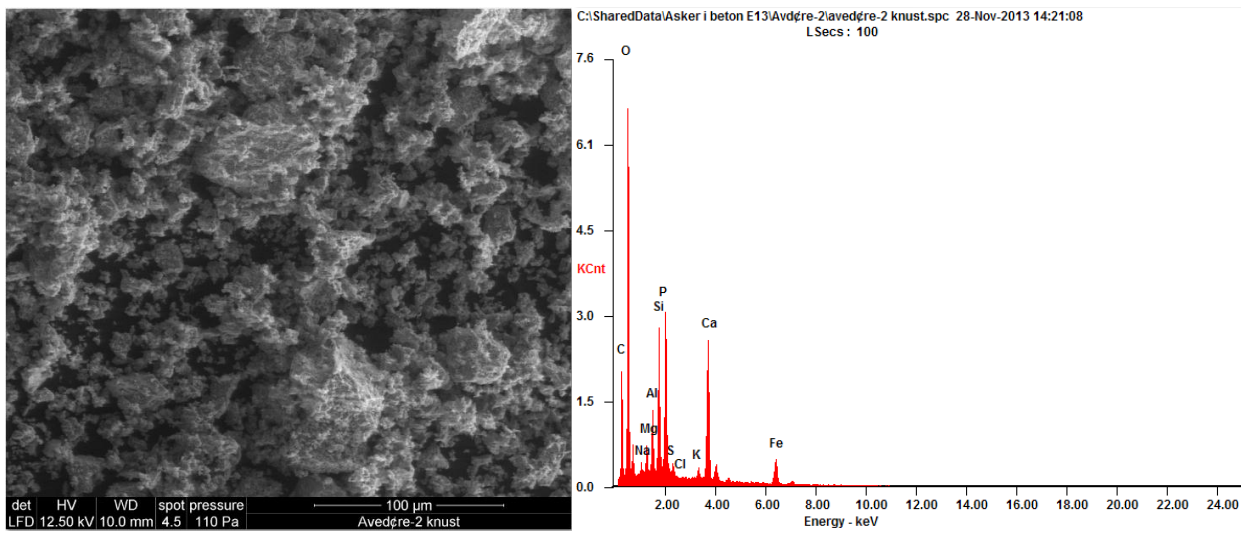
d(0.1): 11.232 um d(0.5): 41.523 um d(0.9): 100.181 um



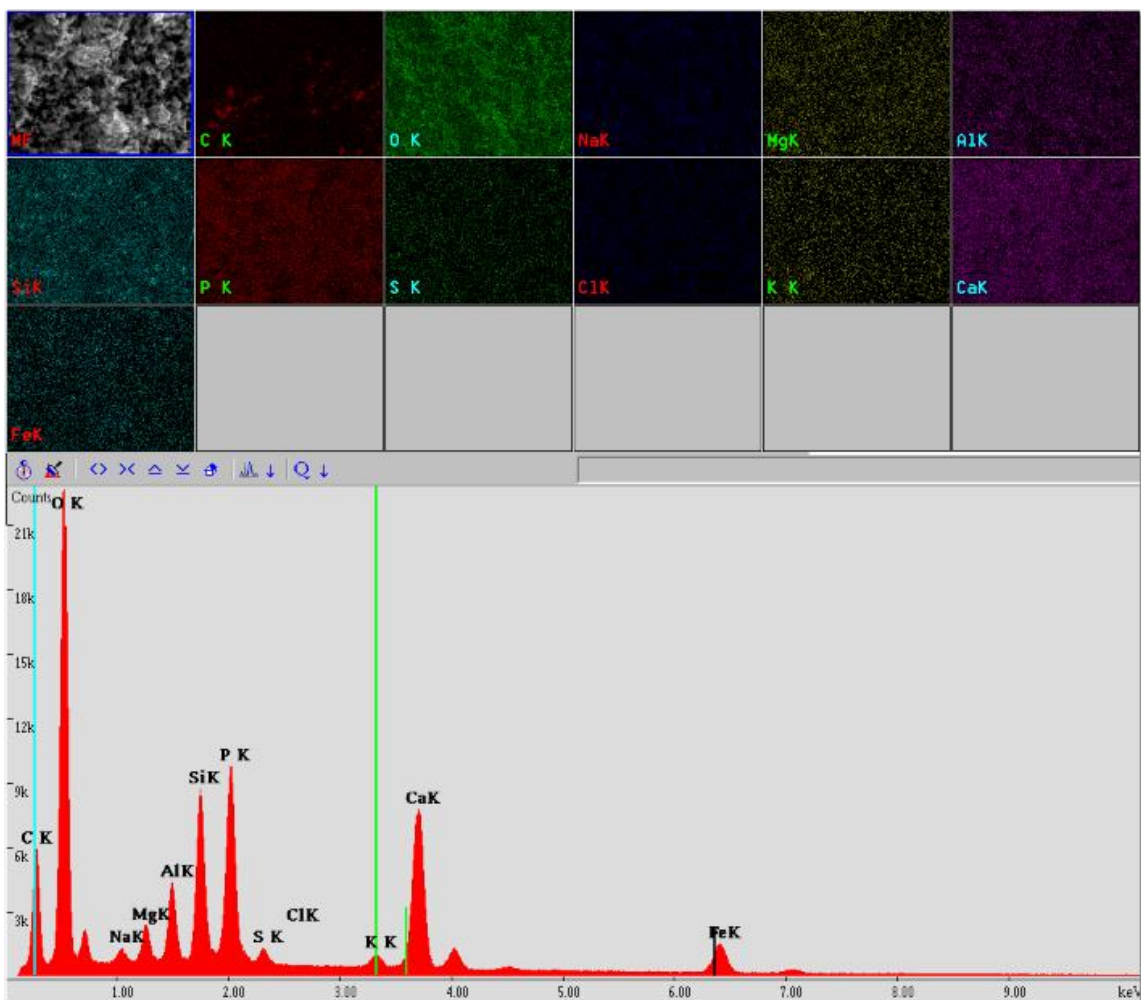
Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.006	1.00	50.238	5.84	355.056	0.00
0.022	0.00	0.150	0.00	1.125	0.00	7.962	1.15	56.368	5.72	399.052	0.00
0.025	0.00	0.176	0.00	1.262	0.00	8.904	1.15	63.246	5.72	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	1.32	70.963	5.46	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	1.52	79.621	5.05	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	1.75	89.337	4.52	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.02	14.150	2.00	100.257	3.89	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.08	15.867	2.29	112.468	3.21	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.17	17.825	2.62	126.191	2.51	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.24	20.000	2.98	141.589	1.85	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.31	22.440	3.37	158.866	1.24	1124.628	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.37	25.179	3.79	178.250	0.75	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.44	28.251	4.21	200.000	0.38	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.50	31.638	4.64	224.404	0.03	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.58	35.566	5.03	251.795	0.00	1782.592	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.66	39.905	5.38	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.76	44.774	5.65	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.87	50.238	5.81	355.056	0.00		

8.6.5 Data fra SEM og Mapping

SEM OG MAPPING FOR KNUST ASKE FRA AVEDØRE NY - 2:

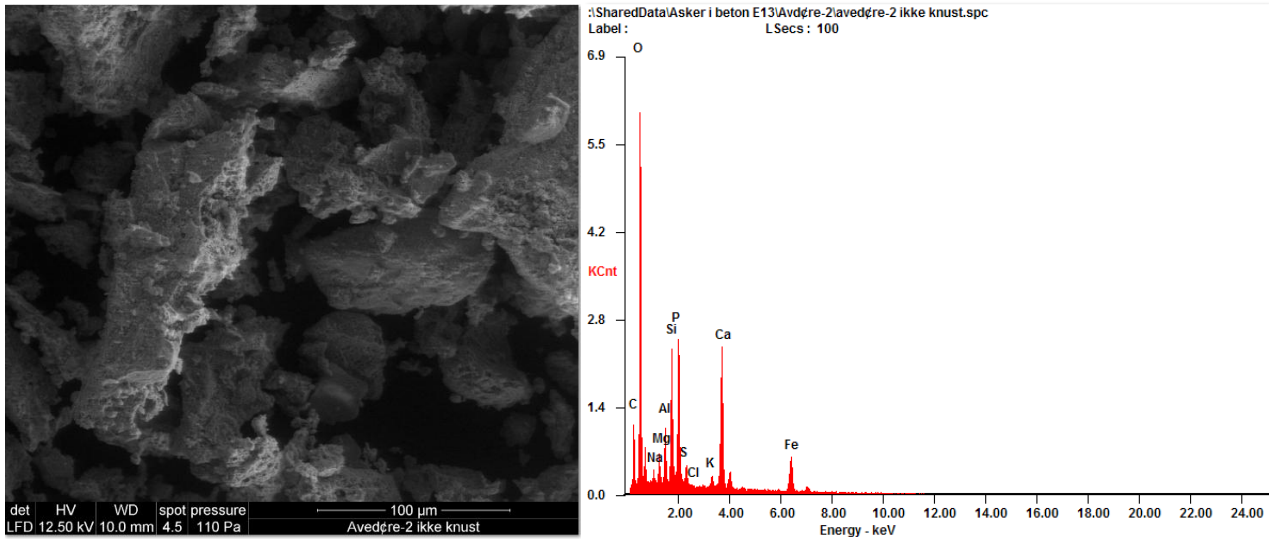


Figur 8.6: SEM billeder af knust aske

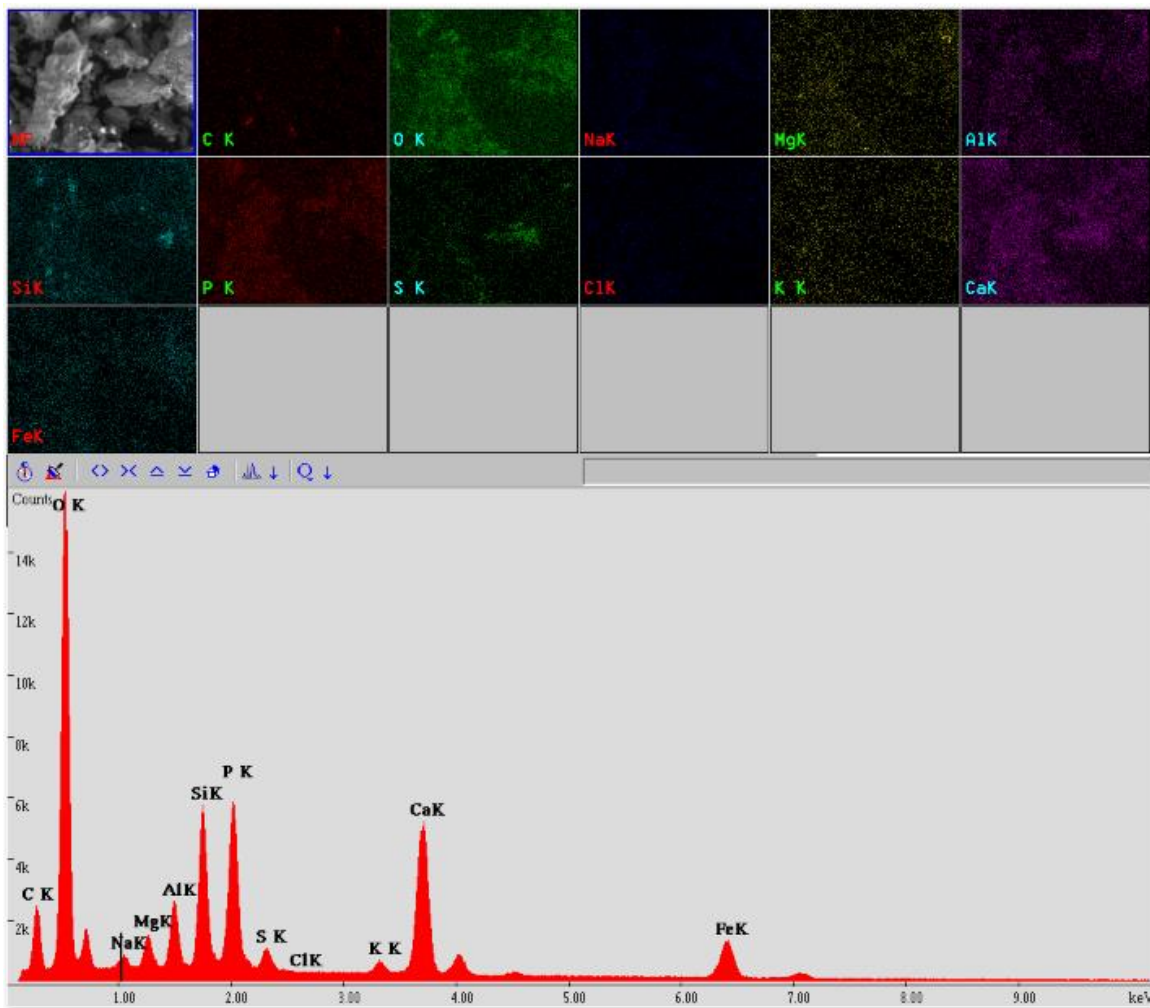


Figur 8.7: Mapping af knust aske

SEM OG MAPPING FOR IKKE-KNUST ASKE FRA AVEDØRE NY - 2:



Figur 8.8: SEM billeder af ikke-knust aske



Figur 8.9: Mapping af ikke-knust aske

8.7 Data fra mørtelprøvning

8.7.1 Trykstyrke

Forsøgsnr.	Type:	Vægt [g]	Længde [m]	Bredde [m]	Højde [m]	Kraft F1 [kN]	Kraft F2 [kN]	Tryk 1 [MPa]	Tryk 2 [MPa]	Gennemsnit
G12A	Reference A	606,16	0,1605	0,0402	0,0401	88	100	54,58989343	62,0339698	58,31193161
G12B	Reference B	604,13	0,161	0,0401	0,0401	82	49	50,99470774	30,47244731	40,73357753
G12C	Reference C	606,52	0,161	0,0401	0,0402	88	51	54,58989343	31,6373246	43,11360901
G14A	5 % sand A	607,73	0,161	0,0401	0,041	90	98	54,74119579	59,60707986	57,17413783
G14B	5 % sand B	610,44	0,161	0,041	0,042	73	89	42,39256678	51,68408827	47,03832753
G14C	5 % sand C	613,89	0,1605	0,041	0,042	95	99	55,16840883	57,4912892	56,32984901
G15A	10 % cement A	593,53	0,161	0,0402	0,0401	82	81	50,86785524	50,24751554	50,55768539
G15B	10 % cement B	590,83	0,1609	0,041	0,0411	84	82	49,84867367	48,66180049	49,25523708
G15C	10 % cement C	598,46	0,161	0,0402	0,041	85	86	51,57141124	52,17813372	51,87477248

	Gennemsnit:	Standard afvigelse
Reference	47,38637272	9,536352309
5 % sand	53,51410479	5,624053188
10 % cement	50,56256498	1,309774518

Tabel 8.10: Data for trykstyrkerne

NB: Tallene for kræfterne ser lidt forskudt ud fra hinanden, hvilket kan skyldes at prøverne måske ikke blev rystet ordentligt igennem på vibrationsbordet og måske fordi blandingen har været lidt for tørt.

Formlen for at finde TRYK 1 og TRYK 2: $P = \frac{F}{A \cdot 1000}$, hvor P er trykstyrken [MPa], F er den kraft prøven bliver udsat for [kN] og A er tværsnitsarealet af prøven [m²].

8.7.2 ICP-målinger fra leaching af mørtelprøver

PRØVE		VANDINDHOLD:						pH:
Prøve nr.:	Art	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]	pH [-]:
G12A - 1	Reference	51,31	94,78	43,47	92,18	40,87	2,6	13,1
G12A - 2	Reference	43,81	89,11	45,3	86,63	42,82	2,48	13,11
G12A - 3	Reference	47,35	98,41	51,06	95,56	48,21	2,85	13,15
G14C - 1	5 % sand	45,02	73,79	28,77	71,96	26,94	1,83	13,1
G14C - 2	5 % sand	41,8	83,66	41,86	81,22	39,42	2,44	13,11
G14C - 3	5 % sand	57,73	87,23	29,5	85,62	27,89	1,61	13,11
G15C - 1	10 % cement	57,23	87,32	30,09	85,92	28,69	1,4	13,1
G15C - 2	10 % cement	45,22	76,88	31,66	75,14	29,92	1,74	13,1
G15C - 3	10 % cement	48,42	73,53	25,11	72,3	23,88	1,23	13,11

Prøve	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/L Cd	mg/kg Cd	mg/L Cr	mg/kg Cr	afvejet [g]	mL målekolbe
G12A - 1	0,129593	0,2592	0	0,0000	0	0,0000	0,072883	0,1458	10	20
G12A - 2	0,07444	0,1489	0	0,0000	0	0,0000	0,067366	0,1347	10	20
G12A - 3	0,075607	0,1512	0,019835	0,0397	0	0,0000	0,059287	0,1186	10	20
G14C - 1	0,098057	0,1961	0,025516	0,0510	0	0,0000	0,055152	0,1103	10	20
G14C - 2	0,088809	0,1776	0	0,0000	0	0,0000	0,054995	0,1100	10	20
G14C - 3	0,079937	0,1599	0,03172	0,0634	0	0,0000	0,056513	0,1130	10	20
G15C - 1	0,076002	0,1520	0	0,0000	0	0,0000	0,044284	0,0886	10	20
G15C - 2	0,073432	0,1469	0,020172	0,0403	0	0,0000	0,043428	0,0869	10	20
G15C - 3	0,078325	0,1567	0	0,0000	0	0,0000	0,043393	0,0868	10	20
Gennemsnit G12A - ref		0,1864		0,0132		0,0000		0,1330	Faststofindhold i mg/kg:	
Gennemsnit G14C - 5 % sand		0,1779		0,0382		0,0000		0,1111	$\text{mg/kg} = \frac{\text{Amg/L} * 0,100\text{L} * \text{C}}{B * 10^{-3} \text{kg} / \text{g}_{\text{skål}}}$	
Gennemsnit G15C - 10 % cem		0,1518		0,0134		0,0000		0,0874		
Spredning G12A - ref		0,0630		0,0229		0,0000		0,0137		
Spredning G14C - 5 % sand		0,0181		0,0336		0,0000		0,0017		
Spredning G15C - 10 % cem		0,0049		0,0233		0,0000		0,0010		
	mg/L Cu	mg/kg Cu	mg/L Ni	mg/kg Ni	mg/L Pb	mg/kg Pb	mg/L Zn	mg/kg Zn	mg/L P	mg/kg P
G12A - 1	0,017306	0,0346	0,009628	0,0193	0,037229	0,0745	0,051621	0,1032	0,221176	0,4424
G12A - 2	0,00885	0,0177	0,012537	0,0251	0,039037	0,0781	0,030322	0,0606	0,234655	0,4693
G12A - 3	0,007015	0,0140	0,007287	0,0146	0,019032	0,0381	0,020164	0,0403	0,277977	0,5560
G14C - 1	0,010527	0,0211	0,012731	0,0255	0,038451	0,0769	0,017868	0,0357	0,325681	0,6514
G14C - 2	0,009522	0,0190	0,00931	0,0186	0,043223	0,0864	0,020762	0,0415	0,259639	0,5193
G14C - 3	0,00819	0,0164	0,00878	0,0176	0,033144	0,0663	0,01678	0,0336	0,131516	0,2630
G15C - 1	0,008867	0,0177	0,010054	0,0201	0,030011	0,0600	0,008073	0,0161	0,514992	1,0300
G15C - 2	0,007232	0,0145	0,004652	0,0093	0,018045	0,0361	0,003733	0,0075	0,314103	0,6282
G15C - 3	0,009838	0,0197	0,010407	0,0208	0,03682	0,0736	0,008547	0,0171	0,358305	0,7166
Gennemsnit G12A - ref		0,0221		0,0196		0,0635		0,0681		0,4892
Gennemsnit G14C - 5 % sand		0,0188		0,0205		0,0765		0,0369		0,4779
Gennemsnit G15C - 10 % cem		0,0173		0,0167		0,0566		0,0136		0,7916
Spredning G12A - ref		0,0110		0,0053		0,0221		0,0321		0,0594
Spredning G14C - 5 % sand		0,0023		0,0043		0,0101		0,0041		0,1974
Spredning G15C - 10 % cem		0,0026		0,0065		0,0190		0,0053		0,2111

	mg/L Na	mg/kg Na	mg/L Fe	mg/kg Fe	mg/L K	mg/kg K	mg/L Ca	mg/kg Ca	mg/L Mg	mg/kg Mg
G12A - 1	70,1093	140,2186	0,022851	0,0457	70,9428	141,8856	589,724	1179,4480	0,051853	0,1037
G12A - 2	56,5518	113,1036	0	0,0000	66,5966	133,1932	586,037	1172,0740	0,006839	0,0137
G12A - 3	72,1902	144,3804	0	0,0000	77,3014	154,6028	568,946	1137,8920	0,003967	0,0079
G14C - 1	47,6686	95,3372	0	0,0000	60,8917	121,7834	559,267	1118,5340	0,004223	0,0084
G14C - 2	69,3997	138,7994	0	0,0000	80,0419	160,0838	564,178	1128,3560	0,003253	0,0065
G14C - 3	62,3975	124,7950	0	0,0000	75,6041	151,2082	554,165	1108,3300	0,003038	0,0061
G15C - 1	47,4273	94,8546	0	0,0000	53,5073	107,0146	587,421	1174,8420	0,002392	0,0048
G15C - 2	55,2827	110,5654	0	0,0000	60,5539	121,1078	560,378	1120,7560	0,001518	0,0030
G15C - 3	41,5412	83,0824	0	0,0000	47,6959	95,3918	592,359	1184,7180	0,002489	0,0050
Gennemsnit G12A - ref		132,5675		0,0152		143,2272		1163,1380		0,0418
Gennemsnit G14C - 5 % sand		119,6439		0,0000		144,3585		1118,4067		0,0070
Gennemsnit G15C - 10 % cem		96,1675		0,0000		107,8381		1160,1053		0,0043
Spredning G12A - ref		16,9842		0,0264		10,7677		22,1724		0,0537
Spredning G14C - 5 % sand		22,1843		0,0000		20,0479		10,0136		0,0013
Spredning G15C - 10 % cem		13,7885		0,0000		12,8778		34,4334		0,0011

Tabel 8.11: Vandindhold, pH og ICP-målinger fra leaching af mørtelprøverne

8.8 Data fra korrosionsforsøgene

8.8.1 Potentialemålinger (EKP-målinger)

SCE-måling (målt):							
Dato	Tid	G7A-ref [mV]	G7B-ref [mV]	G7C-ref [mV]	G9A-10 % cem. [mV]	G9B-10 % cem. [mV]	G9C-10 % cem. [mV]
24-okt	16.40	-379	-403	-401	-358	-387	-350
31-okt	14.00	-317	-471	-421	-465	-481	-444
08-nov	12.50	-312	-445	-459	-470	-389	-446
14-nov	17.00	-340	-489	-570	-577	-550	-521
28-nov	15.00	-592	-540	-549	-636	-570	-538
12-dec	19.00	-499	-462	-487	-498	-487	-481
19-dec	14.00	-492	-482	-490	-511	-501	-507
SHE-måling:							
Dato	Tid	G7A-ref [mV]	G7B-ref [mV]	G7C-ref [mV]	G9A-10 % cem. [mV]	G9B-10 % cem. [mV]	G9C-10 % cem. [mV]
24-okt	16.40	-621	-645	-643	-600	-629	-592
31-okt	14.00	-559	-713	-663	-707	-723	-686
08-nov	12.50	-554	-687	-701	-712	-631	-688
14-nov	17.00	-582	-731	-812	-819	-792	-763
28-nov	15.00	-834	-782	-791	-878	-812	-780
12-dec	19.00	-741	-704	-729	-740	-729	-723
19-dec	17.00	-734	-724	-732	-753	-743	-749

Tabel 8.12: Volt-værdier for mørtelprøverne

8.9 Data fra diffusionsforsøgene

Følgende mørtelprøver blev benyttet til diffusionsforsøgene:

Type forsøg	Prøve navne
Uden påtrykning af strøm, type 1: 30 g salt/1 liter destilleret vand	G1A1-ref, G1B1-ref, G1C1-ref, G3A1-5% sand, G3B1-5% sand, G3C1-5% sand, G5A1-10% cem, G5B1-10% cem, G5C1-10% cem
Uden påtrykning af strøm, type 2: 90 g salt/1 liter destilleret vand	G1A2-ref, G1B2-ref, G1C2-ref, G3A2-5% sand, G3B2-5% sand, G3C2-5% sand, G5A2-10% cem, G5B2-10% cem, G5C2-10% cem
Med påtrykning af elektrisk strøm	G2A-ref, G2B-ref, G2C-ref, G4A-5% sand, G4B-5% sand, G4C-5% sand, G6A-10% cem, G6B-10% cem, G6C-10% cem

Tabel 8.13: Navne på mørtelprøver til de forskellige forsøg for diffusionstests

8.9.1 Diffusion af klorider – med påtrykning af elektrisk strøm

Inden forsøget blev udført, skulle der sørges for at mørtelprøverne blev vandmætte efter epoxy-maling.

På nedenstående tabeller ses vægten af de prøver som kom i salt vand. De blev vejret flere gange inden de kom i salt vand, for at tjekke om de blev vandmætte. Prøver blev stillet i en spand med destilleret vand.

Vægt af prøver	G2A	G2B	G2C	G4A	G4B	G4C	G6A	G6B	G6C
Før vand	600,2	599,4	601,0	601,3	598,5	601,3	601,3	602,9	607,2
3 timer efter	600,17	600,79	602,08	602,72	599,90	602,57	602,93	604,27	608,74

Tabel 8.14: Vægten for mørtelprøverne

Målinger undervejs i forsøget:

Under forsøget blev der taget målinger jævnligt af både strøm, spænding og pH værdier, som blev noteret i de nedenstående tabeller. Disse blev noteret for at have kontrol over forsøgene:

Tabellerne over første omgang (7 døgns forsøg) med prøverne G2A - ref, G4A - 5 % sand og G6A - 10 % cement ses nedenunder:

TYPE G2A Reference	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	14/10	12.20	-	-	6,4(før strøm)
	14/10	12.25	9,9	1,50	9,97
	14/10	16,08	10,5	1,51	10,12
	14/10	17,10	10,5	1,51	10,2
	15/10	13,10	11,0	1,51	10,36
	16/10	14,45	10,5	1,51	10,25
	17/10	10.30	10,3	1,51	10,21
	21/10	11.55	70,8	1,43	10,15

Tabel 8.15: Målinger for volt, strøm og pH for reference prøven

TYPE G4A 5 % sand	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	14/10	16.00	-	-	6,6 (før strøm)
	14/10	16,03	8,5	1,51	9,26
	14/10	17,06	8,8	1,44	10,26
	15/10	13,12	9,5 → 10,0	1,41 → 1,51 (skruede op for strømmen)	10,31
	16/10	14,46	9,1	1,51	10,52
	17/10	10,30	9,1	1,51	10,54
	21/10	12.00	60,9	1,45	10,56

Tabel 8.16: Målinger for volt, strøm og pH for askeprøven (5 % sand)

TYPE G6A 10 % cement	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	14/10	15.50	-	-	6,6 (før strøm)
	14/10	15,54	10,1	1,48	9,37
	14/10	17,03	8,1	1,46	10,12
	15/10	13,17	8,9 → 9,1	1,44 → 1,50 (skruede op for strømmen)	10,27
	16/10	14,47	8,3	1,50	10,35
	17/10	10,30	8,1	1,49	10,32
	21/10	12,05	28,2	1,47	10,47

Tabel 8.17: Målinger for volt, strøm og pH for askeprøven (10 % cement)

Tabellerne over anden omgang (2 mdr. forsøg med automatisk 12 timers pause og 12 timers strøm) med prøverne G2B - ref, G4B - 5 % sand og G6B - 10 % cement ses nedenunder:

TYPE G2B Reference	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	22/10	12.35	-	-	6,31 (før strøm)
		13.10	10,2	1,51	
		15.15	10,7	1,51	9,65
		17.00	10,8	1,52	9,98
		20.00	11,0	1,51	10,47
	23/10	14.30	11,2	1,52	9,99
		18.00	11,3	1,51	9,94
	24/10	14.40	11,5	1,51	9,20
		16.35	11,7	1,51	9,20
	25/10	13.40	10,8	1,52	9,60
	28/10	13.30	20,3	1,50	10,17
		14.15	21,6	1,50	10,12
Saltvand skiftet 1. gang	29/10	13.05	37,1	1,48	9,58
Ler skiftet 1. gang		13.40	11,9	1,51	10,18
	30/10	13.55	13,2	1,52	10,18
	31/10	13.25	13,5	1,51	10,17
	1/11	16.30	13,0	1,51	10,16
	4/11	16.45	37,3	1,48	10,18
Ler skiftet 2. gang	5/11	15.40	55,3 → 11,5	1,45 → 1,52	10,12
	6/11	12.15	12,2	1,51	10,13
	7/11	13.00	11,9	1,51	10,20
	11/11	13.00	11,4	1,52	10,35
Saltvand skiftet 2. gang		14.00	11,5	1,52	9,82
	12/11	14.30	11,5	1,51	10,08
	13/11	17.10	11,9	1,52	10,32
	14/11	16.30	11,3	1,52	10,24
	15/11	13.30	15,4	1,50	10,23
Ler skiftet 3. gang	18/11	14.30	66,1 → 11,6	1,45 → 1,52	10,38
Saltvand skiftet 3. gang	19/11	14.00	12,3	1,51	9,53
	21/11	16.00	14,00	1,52	10,29
	22/11	13.15	13,3	1,52	10,25
	25/11	13.00	13,9	1,52	10,37
Saltvand skiftet 4. gang	26/11	17.00	15,1	1,52	9,67
	27/11	17.45	14,9	1,52	10,12
	28/11	15.30	17,5	1,51	10,06
	29/11	14.00	21,3	1,51	10,11
Ler skiftet 4. gang	3/12	13.00	37,3 → 12,5	1,49 → 1,52	10,18
Saltvand skiftet 5. gang	5/12	13.00	12,3	1,52	9,78
	6/12	13.00	12,2	1,52	10,07
	9/12	16.00	12,8	1,53	10,21
	11/12	13.00	12,5	1,52	10,21

Saltvand skiftet 6. gang	12/12	14.30	12,8	1,53	9,47
	13/12	16.45	12,9	1,53	10,21
	16/12	14.30	17,9	1,52	10,23
	18/12	16.00	21,2	1,51	10,19
	21/12	13.00	33,2	1,51	10,21

Tabel 8.18: Målinger for volt, strøm og pH for referenceprøven

TYPE G4B 5 % sand	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	22/10	12.35			6,31(før strøm)
		13.12	9,3	1,52	
		15.20	9,4 → 9,8	1,54 → 1,49	6,05
		16.55	9,8	1,49	7,02
		20.00	10,1	1,49	10,23
	23/10	14.30	10,3	1,50	9,37
		18.00	10,5	1,49	9,56
	24/10	14.40	11,0	1,48	9,40
		16.35	11,2	1,50	9,16
	25/10	13.40	10,4	1,52	9,66
	28/10	13.40	45,9	1,50	10,26
		14.15	47,3	1,49	10,26
Saltvand skiftet 1. gang	29/10	13.05	113,4	1,41	9,27
Ler skiftet 1. gang		13.40	10,2	1,49	10,28
	30/10	13.55	10,7 → 11,1	1,46 → 1,52	10,28
	31/10	13.25	10,9	1,51	10,30
	1/11	16.30	10,0 → 10,2	1,49 → 1,53	10,27
	4/11	16.50	93,7 → 102,0	1,40 → 1,49	10,29
Ler skiftet 2. gang	5/11	15.40	133,0 → 10,1	1,36 → 1,53	10,23
	6/11	12.15	10,9 → 10,6	1,56 → 1,51	10,24
	7/11	13.00	10,4	1,51	10,29
	11/11	13.00	9,9	1,51	10,45
Saltvand skiftet 2. gang		14.00	9,8	1,50	9,36
	12/11	14.30	9,9	1,48	10,37
	13/11	17.10	10,0	1,48	10,33
	14/11	16.30	10,1	1,48	10,28
	15/11	13.30	10,7	1,51	10,21
	18/11	14.30	13,7	1,48	10,37
Saltvand skiftet 3. gang	19/11	14.00	15,3	1,48	9,87
	21/11	16.00	24,1	1,49	10,35
Ler skiftet 3. gang	22/11	13.15	27,4 → 11,2	1,52	10,30
	25/11	13.00	11,4	1,52	10,35
Saltvand skiftet 4. gang	26/11	17.00	10,4 → 10,7	1,45 → 1,50	9,68
	27/11	17.45	10,6	1,48	10,04
	28/11	15.30	11,4	1,50	10,26
	29/11	14.00	10,8	1,49	10,23
Ler skiftet 4. gang	3/12	13.00	14,1 → 11,9	1,52	10,36
Saltvand skiftet 5. gang	5/12	13.00	11,8	1,52	9,66
	6/12	13.00	11,5	1,51	10,11
	9/12	16.00	12,9	1,53	10,55
	11/12	13.00	13,7	1,52	11,0
Saltvand skiftet 6. gang	12/12	14.30	13,8	1,52	9,71
	13/12	16.45	15,7	1,53	10,14
	16/12	14.30	19,2	1,52	10,27
	18/12	16.00	24,4	1,52	10,31
	21/12	13.00	39,5	1,52	10,39

Tabel 8.19: Målinger for volt, strøm og pH for askeprøven (5 % sand)

Note til TYPE G4B (5 % sand): D. 22/10, kl. 15.20 kan man se at pH er nede på 6,05 hvilket betyder at der ikke har været til strøm tilstede. Kablerne var blevet byttet rundt, derfor blev de sat på de rigtige elektroder igen, og dermed steg pH og kunne forsætte med forsøget igen.

TYPE G6B 10 % cement	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	22/10	12.35			6,63
		13.14	10,2	1,52	
		15.20	10,5	1,49	9,67
		17.00	9,3	1,49	10,10
		20.00	10,0	1,50	10,17
	23/10	14.30	10,4	1,50	9,41
		18.00	10,4	1,49	9,47
	24/10	14.43	10,6	1,48	9,34
		16.35	10,8	1,50	9,61
	25/10	13.40	10,9	1,51	9,56
	28/10	14.00	8,7	1,50	9,81
		14.15	8,8	1,49	9,86
Saltvand skiftet 1. gang	29/10	13.05	9,4	1,50	9,74
		13.40	9,5	1,50	9,90
	30/10	13.55	9,7	1,50	10,04
	31/10	13.25	9,2	1,50	10,10
	1/11	16.30	8,6	1,49	10,17
	4/11	16.50	19,9 → 20,5	1,47 → 1,52	10,17
Ler skiftet 2. gang	5/11	15.40	37,6 → 9,6	1,49 → 1,49	10,12
	6/11	12.15	10,8 → (10,1)	1,51	10,13
	7/11	13.00	11,9	1,51	10,20
	11/11	13.00	11,4	1,52	10,35
Saltvand skiftet 2. gang		14.00	11,5	1,52	9,82
	12/11	14.30	11,5	1,51	10,8
	13/11	17.10	11,9	1,52	10,32
	14/11	16.30	11,3	1,52	10,24
	15/11	13.30	17,4	1,50	10,21
Ler skiftet 3. gang	18/11	14.30	66,1 → 11,6	1,45 → 1,52	10,38
Saltvand skiftet 3. gang	19/11	14.00	12,3	1,51	9,93
	21/11	16.00	14,0	1,52	10,29
	22/11	13.15	13,2	1,52	10,25
	25/11	13.00	13,9	1,52	10,37
Saltvand skiftet 4. gang	26/11	17.00	15,1	1,52	9,67
	27/11	17.45	14,9	1,52	10,12
	28/11	15.30	17,5	1,51	10,06
	29/11	14.00	21,3	1,51	10,11
Ler skiftet 4. gang	3/12	13.00	37,3 → 12,5	1,49 → 1,52	10,18
Saltvand skiftet 5. gang	5/12	13.00	12,3	1,52	9,71
	6/12	13.00	12,2	1,53	10,03
	9/12	16.00	12,8	1,53	10,28
	11/12	13.00	10,1	1,50	10,17
Saltvand skiftet 6. gang	12/12	14.30	10,2	1,51	9,81
	13/12	16.45	10,1	1,51	10,17
	16/12	14.30	10,1	1,52	10,04
	18/12	16.00	10,6	1,51	10,12
	21/12	13.00	14,9	1,51	10,21

Tabel 8.20: Målinger for volt, strøm og pH for askeprøven (10 % cement)

Tabellerne over tredje omgang (1 måneds forsøg uden automatisk pause) med prøverne G2C - ref, G4C - 5 % sand og G6C - 10 % cement ses nedenunder:

TYPE G2C Reference	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	11/11	14.00	10,4	1,51	9,13
		14.30	10,5 → 11,1	1,44 → 1,53	9,77
	12/11	14.30	11,4 → 11,7	1,47 → 1,51	10,87
	13/11	17.10	10,8	1,51	10,72
	14/11	16.30	10,4	1,50	10,31
	15/11	13.00	10,4	1,52	10,48
Saltvand skiftet 1. gang	18/11	15.30	10,8	1,51	9,58
	19/11	14.00	11,8	1,51	11,20
	21/11	16.00	25,1	1,51	11,27
Ler skiftet 1. gang	22/11	12.00	36,4 → 11,6	1,52	11,23
	25/11	11.00	12,1	1,49	11,15
Saltvand skiftet 2. gang	26/11	17.00	11,7	1,50	9,95
	27/11	17.45	11,6	1,49	11,19
	28/11	15.30	12,4	1,52	11,16
	29/11	14.00	12,7	1,50	11,02
	3/12	11.00	18,1	1,50	11,08
Saltvand skiftet 3. gang	5/12	13.00	29,4	1,48	9,43
Ler skiftet 2. gang	6/12	13.00	33,2 → 11,8	1,51	11,14
	9/12	16.00	13,1	1,50	11,28
	11/12	12.00	12,7	1,51	11,06

Tablet 8.21: Målinger for volt, strøm og pH for referenceprøven

TYPE G4C 5 % sand	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	11/11	14.00	9,6	1,53	7,43
		14.30	9,9	1,59 → 1,49	9,23
	12/11	14.30	11,0 → 10,7	1,54 → 1,49	10,73
	13/11	17.10	10,2	1,49	10,78
	14/11	16.30	10,0	1,49	10,79
	15/11	13.00	9,9	1,49	10,67
Saltvand skiftet 1. gang	18/11	15.30	10,2	1,49	9,37
	19/11	14.00	11,0	1,49	10,86
	21/11	16.00	27,5 → 28,4	1,45 → 1,50	11,03
Ler skiftet 1. gang	22/11	12.00	34,2 → 10,6	1,52	10,90
	25/11	11.00	11,5	1,52	10,94
Saltvand skiftet 2. gang	26/11	17.00	11,6	1,52	9,88
	27/11	17.45	12,3	1,53	10,79
	28/11	15.30	15,3	1,51	10,95
	29/11	14.00	19,9	1,52	10,98
Ler skiftet 2. gang	3/12	11.00	55 → 11,5	1,52	10,88
Saltvand skiftet 3. gang	5/12	13.00	11,1	1,52	9,98
	6/12	13.00	11,0	1,53	10,88
	9/12	16.00	11,0	1,53	10,88
	11/12	12.00	11,2	1,52	10,87

Tablet 8.22: Målinger for volt, strøm og pH for askeprøven (5 % sand)

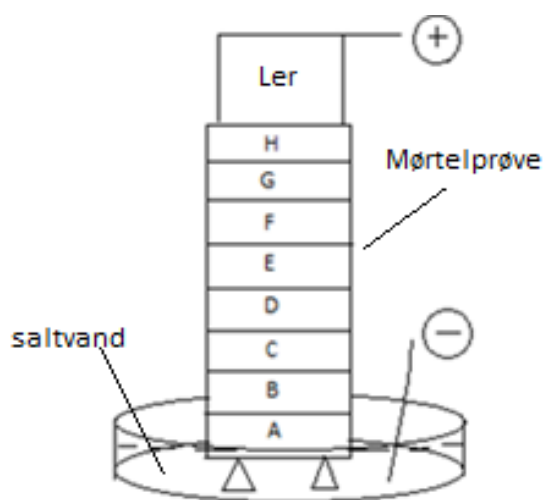
TYPE G6C 10 % cement	Dato	Tid	Spænding [volt]	Strømstyrke [mA]	pH
	11/11	14.00	8,2	1,52	7,36
		14.30	9,0	1,51	10,09
	12/11	14.30	9,4	1,49	11,03
	13/11	17.10	8,8	1,49	10,74
	14/11	16.30	8,4	1,49	10,79

	15/11	13.00	9,7	1,49	10,56
Saltvand skiftet 1. gang	18/11	15.30	10,4	1,50	9,86
	19/11	14.00	13,6	1,48	10,87
	21/11	16.00	30,2 → 30,8	1,44 → 1,47	10,98
Ler skiftet 1. gang	22/11	12.00	35,6 → 9,2	1,49	10,99
	25/11	11.00	9,5	1,49	11,15
Saltvand skiftet 2. gang	26/11	17.00	9,2	1,49	9,94
	27/11	17.45	9,1	1,48	10,95
	28/11	15.30	9,8	1,48	10,89
	29/11	14.00	10,4	1,49	10,93
	3/12	11.00	24,3	1,48	10,94
Saltvand skiftet 3. gang	5/12	13.00	33,7	1,51	9,98
Ler skiftet 2. gang	6/12	13.00	34,2 → 9,3	1,49	10,97
	9/12	16.00	10,2	1,53	10,98
	11/12	12.00	9,9	1,53	11,21

Tabel 8.23: Målinger for volt, strøm og pH for askeprøven (10 % cement)

Opbygning af mørtelprøven:

Når der skal tjekkes for kloridindhold, deles mørtelprøverne i små stykker. En mørtelprøve deles op i 8 stykker, med 2 cm. tykkelse for hvert stykke. Opdeling af mørtelprøven ses på den nedenstående figur:



Figur 8.10: Opbygning af mørtelprøven

A er bunden af mørtelprøverne, altså 0-punktet hvor saltvandet trængte op og H er toppen af mørtelprøverne hvor leret har lagt. Hvert stykke er 2 cm tyk.

FØRSTE OMGANG: EFTER 7 DAGE (UDEN AUTOMATISK PAUSE)

Værdierne for kloridindhold, vandindhold, pH og ledningsevne for mørtelprøverne og ler ses på de nedenstående tabeller.

Kloridindhold for første omgang (efter 7 døgn):

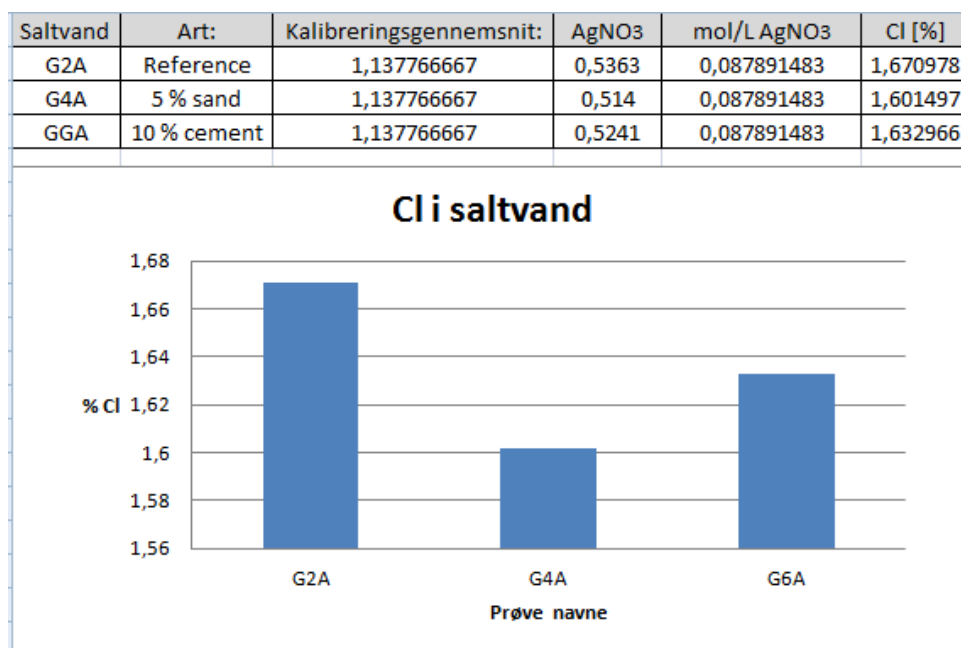
På de nedenstående tabeller ses kloridindholdet for mørtelprøver:

G2B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G2B -A	Reference	1,032833333	9,5701	0,096821042	0,65695	0
G2B -B	Reference	1,032833333	7,3625	0,096821042	0,50541	3
G2B -C	Reference	1,032833333	2,6793	0,096821042	0,18392	5
G2B -D	Reference	1,032833333	0,3143	0,096821042	0,02158	7
G2B -E	Reference	1,032833333	0,321	0,096821042	0,02204	9
G2B -F	Reference	1,032833333	0,3232	0,096821042	0,02219	11
G2B -G	Reference	1,032833333	0,3209	0,096821042	0,02203	13
G2B -H	Reference	1,032833333	0,3069	0,096821042	0,02107	16
G4B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G4B -A	5 % sand	1,032833333	9,2402	0,096821042	0,6343	0
G4B -B	5 % sand	1,032833333	6,7149	0,096821042	0,46095	3
G4B -C	5 % sand	1,032833333	3,5426	0,096821042	0,24319	5
G4B -D	5 % sand	1,032833333	0,3022	0,096821042	0,02074	7
G4B -E	5 % sand	1,032833333	0,2266	0,096821042	0,01556	9
G4B -F	5 % sand	1,032833333	0,2037	0,096821042	0,01398	11
G4B -G	5 % sand	1,032833333	0,206	0,096821042	0,01414	13
G4B -H	5 % sand	1,032833333	0,1971	0,096821042	0,01353	16
G6B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G6B -A	10 % cement	1,032833333	8,5381	0,096821042	0,58611	0
G6B -B	10 % cement	1,032833333	5,7697	0,096821042	0,39607	3
G6B -C	10 % cement	1,032833333	3,3725	0,096821042	0,23151	5
G6B -D	10 % cement	1,032833333	0,3965	0,096821042	0,02722	7
G6B -E	10 % cement	1,032833333	0,1841	0,096821042	0,01264	9
G6B -F	10 % cement	1,032833333	0,2019	0,096821042	0,01386	11
G6B -G	10 % cement	1,032833333	0,199	0,096821042	0,01366	13
G6B -H	10 % cement	1,032833333	0,2503	0,096821042	0,01718	16

Tabel 8.24: Kloridindhold for de forskellige mørtelblandinger efter 7 dage

I den første omgang med 7 døgn forsøg, blev der ikke fundet klorid i leret.

Kloridindholdet for saltvand ses på den nedenstående figur:



Figur 8.11: Kloridindhold i saltvand

Kloridindhold i saltvand er undersøgt en gang, da der indeholder samme saltkoncentration for alle omgange med påtrykning af elektrisk strøm.

Vandindhold for første omgang (efter 7 døgn):

På nedenstående tabeller ses vandindholdet for mørtelprøverne:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2A-A	Reference	41,76	101,03	59,27	96,59	54,83	4,44
G2A-B	Reference	46,97	126,93	79,96	121,12	74,15	5,81
G2A-C	Reference	46,7	111,46	64,76	106,92	60,22	4,54
G2A-D	Reference	44,12	108,07	63,95	103,54	59,42	4,53
G2A-E	Reference	45,38	129,67	84,29	123,77	78,39	5,9
G2A-F	Reference	46,89	110,59	63,7	106,03	59,14	4,56
G2A-G	Reference	41,77	113,63	71,86	108,47	66,7	5,16
G2A-H	Reference	46,77	123,52	76,75	118,19	71,42	5,33
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G4A-A	5 % sand	47,93	111,67	63,74	106,96	59,03	4,71
G4A-B	5 % sand	55,03	134,32	79,29	128,6	73,57	5,72
G4A-C	5 % sand	45,38	120,38	75	115,06	69,68	5,32
G4A-D	5 % sand	45,71	113,22	67,51	108,49	62,78	4,73
G4A-E	5 % sand	46,56	90,84	44,28	87,83	41,27	3,01
G4A-F	5 % sand	53	120,67	67,67	115,88	62,88	4,79
G4A-G	5 % sand	46,6	125,05	78,45	119,48	72,88	5,57
G4A-H	5 % sand	45,62	122,47	76,85	117,16	71,54	5,31
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G6A-A	10 % cement	48,94	112,72	63,78	108,2	59,26	4,52
G6A-B	10 % cement	49,28	120,61	71,33	115,44	66,16	5,17
G6A-C	10 % cement	45,59	105,94	60,35	101,69	56,1	4,25
G6A-D	10 % cement	44,01	119,13	75,12	113,8	69,79	5,33
G6A-E	10 % cement	40,47	98,02	57,55	93,96	53,49	4,06
G6A-F	10 % cement	49,05	135,64	86,59	129,35	80,3	6,29
G6A-G	10 % cement	47,46	121,62	74,16	116,48	69,02	5,14
G6A-H	10 % cement	46,59	119,83	73,24	114,5	67,91	5,33

Tablet 8.25: Vandindhold i mørtelprøver efter 7 døgn

På nedenstående tabeller ses vandindholdet for ler:

Prøve nr.:	Art	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2A	Reference	47,31	138,07	90,76	118,74	71,43	19,33
G4A	5 % sand	43,43	124,64	81,21	105,98	62,55	18,66
G6A	10 % cement	43,27	128,74	85,47	108,74	65,47	20

Tabel 8.26: Vandindhold for ler efter 7 døgn

pH og ledningsevne for første omgang (efter 7 døgn):

På de nedenstående tabeller ses pH og ledningsevne for mørtelprøverne:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]	Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]	Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]
G2A-A	Reference	12,48	10,79	G4A-A	5 % sand	12,4	9,44	G6A-A	10 % cement	12,35	9,18
G2A-B	Reference	12,59	8,43	G4A-B	5 % sand	12,5	8,03	G6A-B	10 % cement	12,48	7,72
G2A-C	Reference	12,57	8,31	G4A-C	5 % sand	12,5	7,88	G6A-C	10 % cement	12,48	8,06
G2A-D	Reference	12,54	8,28	G4A-D	5 % sand	12,5	8,41	G6A-D	10 % cement	12,48	7,85
G2A-E	Reference	12,53	8,22	G4A-E	5 % sand	12,5	8,05	G6A-E	10 % cement	12,47	7,55
G2A-F	Reference	12,52	8,52	G4A-F	5 % sand	12,49	7,71	G6A-F	10 % cement	12,48	8,04
G2A-G	Reference	12,54	8,49	G4A-G	5 % sand	12,49	8,19	G6A-G	10 % cement	12,45	8,06
G2A-H	Reference	12,5	8,18	G4A-H	5 % sand	12,48	7,96	G6A-H	10 % cement	12,45	7,83

Tabel 8.27: pH og ledningsevne for mørtelprøver efter 7 døgn

På den nedenstående tabel ses pH og ledningsevne for ler:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [μ s/cm]
G2A - ler	Reference	9,98	200,8
G4A - ler	5 % sand	9,93	174,8
G6A - ler	10 % cement	10,03	153,1

Tabel 8.28: pH og ledningsevne for ler efter 7 døgn

ANDEN OMGANG: EFTER 2 MDR. (MED AUTOMATISK PAUSE)

Værdierne for kloridindhold, vandindhold, pH og ledningsevne for mørtelprøverne og ler ses på de nedenstående tabeller.

Kloridindhold for anden omgang (efter 2 mdr.):

På de nedenstående tabeller ses kloridindholdet for mørtelprøver:

G2B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G2B -A	Reference	1,032833333	9,5701	0,096821042	0,65695	0
G2B -B	Reference	1,032833333	7,3625	0,096821042	0,50541	3
G2B -C	Reference	1,032833333	2,6793	0,096821042	0,18392	5
G2B -D	Reference	1,032833333	0,3143	0,096821042	0,02158	7
G2B -E	Reference	1,032833333	0,321	0,096821042	0,02204	9
G2B -F	Reference	1,032833333	0,3232	0,096821042	0,02219	11
G2B -G	Reference	1,032833333	0,3209	0,096821042	0,02203	13
G2B -H	Reference	1,032833333	0,3069	0,096821042	0,02107	16
G4B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G4B -A	5 % sand	1,032833333	9,2402	0,096821042	0,6343	0
G4B -B	5 % sand	1,032833333	6,7149	0,096821042	0,46095	3
G4B -C	5 % sand	1,032833333	3,5426	0,096821042	0,24319	5
G4B -D	5 % sand	1,032833333	0,3022	0,096821042	0,02074	7
G4B -E	5 % sand	1,032833333	0,2266	0,096821042	0,01556	9
G4B -F	5 % sand	1,032833333	0,2037	0,096821042	0,01398	11
G4B -G	5 % sand	1,032833333	0,206	0,096821042	0,01414	13
G4B -H	5 % sand	1,032833333	0,1971	0,096821042	0,01353	16
G6B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G6B -A	10 % cement	1,032833333	8,5381	0,096821042	0,58611	0
G6B -B	10 % cement	1,032833333	5,7697	0,096821042	0,39607	3
G6B -C	10 % cement	1,032833333	3,3725	0,096821042	0,23151	5
G6B -D	10 % cement	1,032833333	0,3965	0,096821042	0,02722	7
G6B -E	10 % cement	1,032833333	0,1841	0,096821042	0,01264	9
G6B -F	10 % cement	1,032833333	0,2019	0,096821042	0,01386	11
G6B -G	10 % cement	1,032833333	0,199	0,096821042	0,01366	13
G6B -H	10 % cement	1,032833333	0,2503	0,096821042	0,01718	16

Tabel 8.29: Kloridindhold for mørtelprøver efter 2 mdr.

På de nedenstående tabeller ses kloridindholdet for ler:

Der blev fundet klorid i ler ved 2. skift. Der ses klorid i ler for referenceprøven.

Ler	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]
G2B	1,128933333	0,0519	0,08857919	0,003259

Tabel 8.30: Kloridindhold for ler efter 2 mdr.

Vandindhold for anden omgang (efter 2 mdr.):

Vandindhold for mørtelprøverne ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2B-A	Reference	45,83	102,76	56,93	98,18	52,35	4,58
G2B-B	Reference	57,22	120,62	63,4	115,6	58,38	5,02
G2B-C	Reference	41,78	113,96	72,18	108,73	66,95	5,23
G2B-D	Reference	41,78	108,72	66,94	104,08	62,3	4,64
G2B-E	Reference	43,98	92,08	48,1	88,78	44,8	3,3
G2B-F	Reference	47,32	111,04	63,72	106,58	59,26	4,46
G2B-G	Reference	60,57	119,08	58,51	115,07	54,5	4,01
G2B-H	Reference	46,73	133,14	86,41	127,19	80,46	5,95
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G4B-A	5 % sand	44,29	117,87	73,58	112,15	67,86	5,72
G4B-B	5 % sand	48,42	104,15	55,73	99,96	51,54	4,19
G4B-C	5 % sand	47,92	111,36	63,44	106,77	58,85	4,59
G4B-D	5 % sand	45,33	119,14	73,81	114,05	68,72	5,09
G4B-E	5 % sand	46,58	93,3	46,72	90,18	43,6	3,12
G4B-F	5 % sand	47,39	106,64	59,25	102,67	55,28	3,97
G4B-G	5 % sand	43,82	109,97	66,15	105,49	61,67	4,48
G4B-H	5 % sand	44,14	125,83	81,69	120,25	76,11	5,58
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G6B-A	10 % cement	47,07	116,27	69,2	110,99	63,92	5,28
G6B-B	10 % cement	45,54	127,53	81,99	121,29	75,75	6,24
G6B-C	10 % cement	43,26	90,21	46,95	86,83	43,57	3,38
G6B-D	10 % cement	47,1	118,34	71,24	113,45	66,35	4,89
G6B-E	10 % cement	49,5	136,24	86,74	130,22	80,72	6,02
G6B-F	10 % cement	47,34	113,91	66,57	109,38	62,04	4,53
G6B-G	10 % cement	47,42	109,13	61,71	105,02	57,6	4,11
G6B-H	10 % cement	41,04	89,81	48,77	86,76	45,72	3,05

Tabel 8.31: Vandindhold for mørtelprøver efter 2 mdr.

Vandindhold for ler ses på de nedenstående tabeller (for hvert skift):

Første brugte ler:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2B	Reference	67,03	151,71	84,68	132,17	65,14	19,54
G4B	5 % sand	71,57	151,72	80,15	133,56	61,99	18,16
G6B	10 % cement	49,23	126,28	77,05	108,1	58,87	18,18

Ler skiftet 1. gang:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2B	Reference	46,97	125,75	78,78	108,59	61,62	17,16
G4B	5 % sand	47,93	124,94	77,01	108,86	60,93	16,08
G6B	10 % cement	46,51	131,98	85,47	112,96	66,45	19,02

Ler skiftet 2. gang:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2B	Reference	41,76	133,81	92,05	111,23	69,47	22,58
G4B	5 % sand	45,56	121,71	76,15	105,12	59,56	16,59
G6B	10 % cement	41,76	130,46	88,7	109,23	67,47	21,23

Ler skiftet 3. gang:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2B	Reference	46,98	132,03	85,05	113,54	66,56	18,49
G4B	5 % sand	45,36	133,8	88,44	122,33	76,97	11,47
G6B	10 % cement	49,56	130,7	81,14	116,5	66,94	14,2

G4B blev skiftet imens leret stadig var vådt, derfor er vandtabet ikke ligeså meget for denne. Det kan skyldes at leret ikke nåede at tørre sig helt igennem.

Ler skiftet 4. gang:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2B	Reference	52,99	135,2	82,21	114,81	61,82	20,39
G4B	5 % sand	41,08	122,26	81,18	104,61	63,53	17,65
G6B	10 % cement	45,23	138,91	93,68	114,49	69,26	24,42

Tabel 8.32: Vandindhold for ler efter hvert skift

pH og ledningsevne for anden omgang (efter 2 mdr.):

pH og ledningsevne for mørtelprøverne ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]	Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]	Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]
G2B-A	Reference	13,2	7,12	G4B-A	5 % sand	13,05	5,62	G6B-A	10 % cement	13,01	6,66
G2B-B	Reference	13,18	5,86	G4B-B	5 % sand	13,11	4,72	G6B-B	10 % cement	13,09	4,1
G2B-C	Reference	13,29	5,16	G4B-C	5 % sand	13,17	4,72	G6B-C	10 % cement	13,13	6,23
G2B-D	Reference	13,29	5,01	G4B-D	5 % sand	13,22	4,71	G6B-D	10 % cement	13,18	4,14
G2B-E	Reference	13,23	5,96	G4B-E	5 % sand	13,23	4,51	G6B-E	10 % cement	13,17	5,61
G2B-F	Reference	13,3	4,81	G4B-F	5 % sand	13,23	4,71	G6B-F	10 % cement	13,23	4,09
G2B-G	Reference	13,29	4,57	G4B-G	5 % sand	13,24	4,48	G6B-G	10 % cement	13,21	4,52
G2B-H	Reference	13,26	4,4	G4B-H	5 % sand	13,21	4,35	G6B-H	10 % cement	13,17	6,09

Tabel 8.33: pH og ledningsevne for mørtelprøver efter 2 mdr.

pH og ledningsevne for ler ses på de nedenstående tabeller (for hvert skift):

Første brugte ler:

Prøve nr.:	Art	pH	Ledningsevne [μs/cm]
G2B - ler	Reference	9,97	131,32
G4B - ler	5 % sand	10,05	98,53
G6B - ler	10 % cement	10,31	111,96

Ler skiftet 1. gang:

Prøve nr.:	Art	pH	Ledningsevne [μs/cm]
G2B - ler	Reference	10,17	87,5
G4B - ler	5 % sand	9,78	96,4
G6B - ler	10 % cement	9,99	75,1

Ler skiftet 2. gang:

Prøve nr.:	Art	pH	Ledningsevne [$\mu\text{s}/\text{cm}$]
G2B - ler	Reference	10,13	189,1
G4B - ler	5 % sand	10,3	73,6
G6B - ler	10 % cement	10,61	151,3

Ler skiftet 3. gang:

Prøve nr.:	Art	pH	Ledningsevne [$\mu\text{s}/\text{cm}$]
G2B - ler	Reference	9,45	103,2
G4B - ler	5 % sand	9,39	144
G6B - ler	10 % cement	10,22	189,9

Ler skiftet 4. gang:

Prøve nr.:	Art	pH	Ledningsevne [$\mu\text{s}/\text{cm}$]
G2B - ler	Reference	11,37	83,4
G4B - ler	5 % sand	10,49	116,7
G6B - ler	10 % cement	10,64	97,5

Tabel 8.34: pH og ledningsevne for ler efter hvert skift

TREDJE OMGANG: EFTER 1 MÅNED (UDEN AUTOMATISK PAUSE)

Værdierne for kloridindhold, vandindhold, pH og ledningsevne for mørtelprøverne og ler ses på de nedenstående tabeller.

Kloridindhold for tredje omgang (efter 1 måned):

På de nedenstående tabeller ses kloridindholdet for mørtelprøver:

G2C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G2C -A	Reference	0,966466667	9,8971	0,103469683	0,72605	0
G2C -B	Reference	0,966466667	7,9987	0,103469683	0,58678	3
G2C -C	Reference	0,966466667	3,6405	0,103469683	0,26707	5
G2C -D	Reference	0,966466667	0,4632	0,103469683	0,03398	7
G2C -E	Reference	0,966466667	0,3571	0,103469683	0,0262	9
G2C -F	Reference	0,966466667	0,3343	0,103469683	0,02452	11
G2C -G	Reference	0,966466667	0,3153	0,103469683	0,02313	13
G2C -H	Reference	0,966466667	0,3116	0,103469683	0,02286	16
G4C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G4C -A	5 % sand	0,966466667	9,6515	0,103469683	0,70803	0
G4C -B	5 % sand	0,966466667	7,7123	0,103469683	0,56577	3
G4C -C	5 % sand	0,966466667	4,1613	0,103469683	0,30527	5
G4C -D	5 % sand	0,966466667	0,3658	0,103469683	0,02684	7
G4C -E	5 % sand	0,966466667	0,2281	0,103469683	0,01673	9
G4C -F	5 % sand	0,966466667	0,2019	0,103469683	0,01481	11
G4C -G	5 % sand	0,966466667	0,1989	0,103469683	0,01459	13
G4C -H	5 % sand	0,966466667	0,1717	0,103469683	0,0126	16
G6C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]	Afstand på prøven [cm]
G6C -A	10 % cement	0,966466667	8,5205	0,103469683	0,62506	0
G6C -B	10 % cement	0,966466667	6,8752	0,103469683	0,50436	3
G6C -C	10 % cement	0,966466667	4,7612	0,103469683	0,34928	5
G6C -D	10 % cement	0,966466667	1,2097	0,103469683	0,08874	7
G6C -E	10 % cement	0,966466667	0,2609	0,103469683	0,01914	9
G6C -F	10 % cement	0,966466667	0,1892	0,103469683	0,01388	11
G6C -G	10 % cement	0,966466667	0,2536	0,103469683	0,0186	13
G6C -H	10 % cement	0,966466667	0,2142	0,103469683	0,01571	16

Tabel 8.35: Kloridindhold for mørtelprøver efter 1 måned

På de nedenstående tabeller ses kloridindholdet for ler:

Der blev fundet klorid i ler efter 1. skift. Der ses klorid i ler for mørtelprøven med erstatning af 10 % cem.

Ler	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%]
G6C	1,131666667	0,0522	0,088365243	0,00327

Tabel 8.36: Kloridindhold for ler

Vandindhold for tredje omgang (efter 1 måned):

Vandindhold for mørtelprøverne ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2C-A	Reference	46,55	98,14	51,59	93,91	47,36	4,23
G2C-B	Reference	41,06	98,12	57,06	93,5	52,44	4,62
G2C-C	Reference	46,71	121,24	74,53	115,65	68,94	5,59
G2C-D	Reference	60,56	121,66	61,1	117,43	56,87	4,23
G2C-E	Reference	47,93	92,47	44,54	89,33	41,4	3,14
G2C-F	Reference	40,45	110,74	70,29	105,8	65,35	4,94
G2C-G	Reference	46,69	109,35	62,66	105,03	58,34	4,32
G2C-H	Reference	47,31	111,42	64,11	107,02	59,71	4,4
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G4C-A	5 % sand	48,93	116,01	67,08	110,75	61,82	5,26
G4C-B	5 % sand	45,02	91,52	46,5	87,91	42,89	3,61
G4C-C	5 % sand	46,96	132,76	85,8	126,29	79,33	6,47
G4C-D	5 % sand	51,31	111,9	60,59	107,72	56,41	4,18
G4C-E	5 % sand	43,26	82,38	39,12	79,7	36,44	2,68
G4C-F	5 % sand	44,29	128,87	84,58	122,99	78,7	5,88
G4C-G	5 % sand	41,06	90,71	49,65	87,3	46,24	3,41
G4C-H	5 % sand	47,08	108,99	61,91	104,75	57,67	4,24
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G6C-A	10 % cement	47,31	110,94	63,63	106,12	58,81	4,82
G6C-B	10 % cement	45,51	98,43	52,92	94,37	48,86	4,06
G6C-C	10 % cement	48,39	126,36	77,97	120,32	71,93	6,04
G6C-D	10 % cement	47,39	107,62	60,23	103,47	56,08	4,15
G6C-E	10 % cement	43,43	96,51	53,08	92,86	49,43	3,65
G6C-F	10 % cement	45,3	118,69	73,39	113,73	68,43	4,96
G6C-G	10 % cement	45,63	112,48	66,85	107,84	62,21	4,64
G6C-H	10 % cement	43,97	109,56	65,59	105,14	61,17	4,42

Tabel 8.37: Vandindhold for mørtelprøver efter 1 måned

Vandindhold for ler ses på de nedenstående tabeller (for hvert skift):

Første brugte ler:

Prøve nr.:	Art	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2C	Reference	44,54	130,73	86,19	110,96	66,42	19,77
G4C	5 % sand	46,92	147,03	100,11	123,83	76,91	23,2
G6C	10 % cement	46,69	131,33	84,64	111,6	64,91	19,73

Ler skiftet 1. gang:

Prøve nr.:	Art	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2C	Reference	46,58	139,44	92,86	118,23	71,65	21,21
G4C	5 % sand	60,57	153,94	93,37	131,61	71,04	22,33
G6C	10 % cement	45,66	132,06	86,4	112,55	66,89	19,51

Ler skiftet 2. gang:

Prøve nr.:	Art	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + ler (før varmeskab) [g]	Vægt af ler (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + ler (efter varmeskab) [g]	Vægt af ler (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G2C	Reference	52,99	136,92	83,93	114,35	61,36	22,57
G4C	5 % sand	45,65	135,77	90,12	111,14	65,49	24,63
G6C	10 % cement	49,5	127,26	77,76	106	56,5	21,26

Tabel 8.38: Vandindhold for ler efter hvert skift

pH og ledningsevne for tredje omgang (efter 1 måned):

pH og ledningsevne for mørtelprøverne ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]	Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]	Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [ms/cm]
G2C-A	Reference	12,74	6,26	G4C-A	5 % sand	12,84	6,93	G6C-A	10 % cement	12,74	5,98
G2C-B	Reference	12,91	6,09	G4C-B	5 % sand	12,8	6,35	G6C-B	10 % cement	12,77	8,71
G2C-C	Reference	13,08	5,18	G4C-C	5 % sand	12,87	5,44	G6C-C	10 % cement	12,8	5,65
G2C-D	Reference	13,05	7,62	G4C-D	5 % sand	12,93	5,1	G6C-D	10 % cement	12,87	4,61
G2C-E	Reference	13,11	7,57	G4C-E	5 % sand	12,95	4,72	G6C-E	10 % cement	12,91	7,35
G2C-F	Reference	13,1	5,31	G4C-F	5 % sand	12,95	5,34	G6C-F	10 % cement	12,94	4,62
G2C-G	Reference	13,11	5,73	G4C-G	5 % sand	12,93	6,42	G6C-G	10 % cement	12,94	4,61
G2C-H	Reference	13,12	4,84	G4C-H	5 % sand	12,93	5,06	G6C-H	10 % cement	12,97	7,01

Tabel 8.39: pH og ledningsevne for mørtelprøver efter 1 måned

pH og ledningsevne for ler ses på de nedenstående tabeller (for hvert skift):

Første brugte ler:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [μ s/cm]
G2C - ler	Reference	10,63	156,1
G4C - ler	5 % sand	10,52	84,1
G6C - ler	10 % cement	10,71	106,6

Ler skiftet 1. gang:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [μ s/cm]
G2C - ler	Reference	10,74	247,4
G4C - ler	5 % sand	9,57	120,3
G6C - ler	10 % cement	10,01	285,9

Ler skiftet 2. gang:

Prøve nr.:	Art:	pH	Ledningsevne [μ s/cm]
G2C - ler	Reference	11,09	95,1
G4C - ler	5 % sand	11,59	152,6
G6C - ler	10 % cement	11,08	89,5

Tabel 8.40: pH og ledningsevne for ler efter hvert skift

8.9.2 Diffusion af klorider – uden påtrykning af elektrisk strøm

Inden forsøget blev udført, skulle der sørges for at mørtelprøverne blev vandmætte efter epoxy-maling.

På nedenstående tabeller ses vægten af de prøver som kom i salt vand. De blev vejet flere gange inden de kom i salt vand, for at tjekke om de blev vandmætte. Prøver blev stillet i en spand med destilleret vand.

Vægt af prøver	G1A1	G1A2	G1B1	G1B2	G1C1	G1C2
Før vand	284,4	288,0	283,8	285,4	285,8	287,5
1 time efter	285,11	288,56	284,29	285,97	286,18	288,07
2 timer efter	285,08	288,45	284,43	285,97	286,34	288,05
3 timer efter	285,04	288,54	284,45	286,18	286,38	288,12

Vægt af prøver	G3A1	G3A2	G3B1	G3B2	G3C1	G3C2
Før vand	297,3	295,2	295,0	293,5	296,8	295,0
1 time efter	297,72	295,83	295,44	294,08	297,41	295,37
2 timer efter	297,74	296,02	295,54	294,27	297,64	295,43
3 timer efter	297,88	295,91	295,59	294,31	297,58	295,71

Vægt af prøver	G5A1	G5A2	G5B1	G5B2	G5C1	G5C2
Før vand	300,6	298,9	304,2	301,5	307,6	292,9
1 time efter	301,20	299,63	304,75	301,98	308,12	293,57
2 timer efter	301,28	299,60	304,84	302,04	308,22	293,58
3 timer efter	301,31	299,67	304,84	302,04	308,21	293,62

Tabel 8.41: Vægt af mørtelprøverne

Opbygning af mørtelprøven:



Figur 8.12: Opbygning af mørtelprøven

Mørtelprøverne er delt op i 4 dele, med 2 cm. tykkelse. De er delt op i A, B, C og D. A1'erne er med 3 % NaCl, og A2'erne er med 9 % NaCl. Et af navnene hedder fx G1A1-A, hvilket svarer til toppen af en referenceprøve med 3 % NaCl, i første omgang (efter 30 dage).

Kloridindhold for første omgang (efter 30 dage):

Kloridindholdet for mørtelprøverne med 3 % NaCl og 9 % NaCl ses på de nedenstående tabeller:

G1A	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%] (3 % NaCl)	Afstand på prøven [cm]
G1A1 -A	Reference	1,133266667	3,0332	0,088240485	0,189764586	0
G1A1 -B	Reference	1,133266667	0,3747	0,088240485	0,02344217	3
G1A1 -C	Reference	1,133266667	0,3814	0,088240485	0,023861339	5
G1A1 -D	Reference	1,133266667	2,3216	0,088240485	0,145245109	8
G2A	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%] (9 % NaCl)	Afstand på prøven [cm]
G1A2 -A	Reference	1,133266667	3,2185	0,088240485	0,201357418	0
G1A2 -B	Reference	1,133266667	0,5229	0,088240485	0,032713933	3
G1A2 -C	Reference	1,133266667	0,3529	0,088240485	0,022078308	5
G1A2 -D	Reference	1,133266667	3,0497	0,088240485	0,190796867	8
G3A	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%] (3 % NaCl)	Afstand på prøven [cm]
G3A1 -A	5 % sand	1,133266667	3,0661	0,088240485	0,191822893	0
G3A1 -B	5 % sand	1,133266667	0,2236	0,088240485	0,013988976	3
G3A1 -C	5 % sand	1,133266667	0,1949	0,088240485	0,012193432	5
G3A1 -D	5 % sand	1,133266667	3,9142	0,088240485	0,244882152	8
G3A	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%] (9 % NaCl)	Afstand på prøven [cm]
G3A2 -A	5 % sand	1,133266667	4,267	0,088240485	0,266954203	0
G3A2 -B	5 % sand	1,133266667	0,2544	0,088240485	0,015915901	3
G3A2 -C	5 % sand	1,133266667	0,196	0,088240485	0,012262251	5
G3A2 -D	5 % sand	1,133266667	4,6058	0,088240485	0,288150379	8
G5A	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%] (3 % NaCl)	Afstand på prøven [cm]
G5A1 -A	10 % cement	1,133266667	3,3927	0,088240485	0,212255806	0
G5A1 -B	10 % cement	1,133266667	0,2518	0,088240485	0,015753238	3
G5A1 -C	10 % cement	1,133266667	0,1907	0,088240485	0,011930669	5
G5A1 -D	10 % cement	1,133266667	2,9284	0,088240485	0,183208036	8
G5A	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl [%] (9 % NaCl)	Afstand på prøven [cm]
G5A2 -A	10 % cement	1,133266667	5,2558	0,088240485	0,328816007	0
G5A2 -B	10 % cement	1,133266667	0,4642	0,088240485	0,029041514	3
G5A2 -C	10 % cement	1,133266667	0,2097	0,088240485	0,013119357	5
G5A2 -D	10 % cement	1,133266667	4,1269	0,088240485	0,258189196	8

Tabel 8.42: Kloridindhold for mørtelprøver efter 30 dage

Vandindhold for første omgang (efter 30 dage):

Vandindholdet for mørtelprøverne med 3 % NaCl og 9 % NaCl ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G1A1-A	Reference	47,43	107,56	60,13	104,81	57,38	2,75
G1A1-B	Reference	46,84	122,2	75,36	118,56	71,72	3,64
G1A1-C	Reference	51,31	103,79	52,48	101,28	49,97	2,51
G1A1-D	Reference	57,72	137,94	80,22	133,92	76,2	4,02
G1A2-A	Reference	57,24	130,8	73,56	127,32	70,08	3,48
G1A2-B	Reference	41,77	103,28	61,51	100,33	58,56	2,95
G1A2-C	Reference	47,04	101,86	54,82	99,18	52,14	2,68
G1A2-D	Reference	48,43	125,16	76,73	121,61	73,18	3,55
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G3A1-A	5 % sand	43,82	109,15	65,33	106,22	62,4	2,93
G3A1-B	5 % sand	46,97	112,86	65,89	109,88	62,91	2,98
G3A1-C	5 % sand	47,35	139,19	91,84	134,81	87,46	4,38
G3A1-D	5 % sand	45,54	101,63	56,09	99,04	53,5	2,59
G3A2-A	5 % sand	46,57	111,68	65,11	108,71	62,14	2,97
G3A2-B	5 % sand	47,92	117,73	69,81	114,52	66,6	3,21
G3A2-C	5 % sand	45,2	114,23	69,03	111,01	65,81	3,22
G3A2-D	5 % sand	45,01	117,83	72,82	114,4	69,39	3,43
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G5A1-A	10 % cement	47,11	102,88	55,77	100,36	53,25	2,52
G5A1-B	10 % cement	47,4	114,03	66,63	110,74	63,34	3,29
G5A1-C	10 % cement	45,32	106,58	61,26	103,52	58,2	3,06
G5A1-D	10 % cement	53,83	132,64	78,81	128,68	74,85	3,96
G5A2-A	10 % cement	43,27	97,01	53,74	94,66	51,39	2,35
G5A2-B	10 % cement	45,66	104,23	58,57	101,36	55,7	2,87
G5A2-C	10 % cement	43,45	124,08	80,63	120,07	76,62	4,01
G5A2-D	10 % cement	44,16	123,14	78,98	119,48	75,32	3,66

Tabel 8.43: Vandindhold for mørtelprøver efter 30 dage

Kloridindhold for anden omgang (efter 45 dage):

Kloridindholdet for mørtelprøverne med 3 % NaCl og 9 % NaCl ses på de nedenstående tabeller:

G1B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO3	mol/L AgNO3	Cl (3 % NaCl)	Afstand på prøven
G1B1-A	Reference	1,128933333	2,5717	0,08857919	0,16150956	0
G1B1-B	Reference	1,128933333	0,4426	0,08857919	0,02779645	3
G1B1-C	Reference	1,128933333	0,3483	0,08857919	0,02187416	5
G1B1-D	Reference	1,128933333	2,1397	0,08857919	0,13437882	8
G1B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO3	mol/L AgNO3	Cl (9 % NaCl)	Afstand på prøven
G1B2-A	Reference	1,128933333	2,8824	0,08857919	0,18102235	0
G1B2-B	Reference	1,128933333	0,3909	0,08857919	0,02454955	3
G1B2-C	Reference	1,128933333	0,3239	0,08857919	0,02034178	5
G1B2-D	Reference	1,128933333	3,1347	0,08857919	0,19686745	8
G3B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO3	mol/L AgNO3	Cl (3 % NaCl)	Afstand på prøven
G3B1-A	5 % sand	1,128933333	2,9133	0,08857919	0,18296295	0
G3B1-B	5 % sand	1,128933333	0,2648	0,08857919	0,01663014	3
G3B1-C	5 % sand	1,128933333	0,1972	0,08857919	0,01238468	5
G3B1-D	5 % sand	1,128933333	2,8619	0,08857919	0,17973489	8
G3B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO3	mol/L AgNO3	Cl (9 % NaCl)	Afstand på prøven
G3B2-A	5 % sand	1,128933333	4,4791	0,08857919	0,28129933	0
G3B2-B	5 % sand	1,128933333	0,3819	0,08857919	0,02398433	3
G3B2-C	5 % sand	1,128933333	0,1814	0,08857919	0,0113924	5
G3B2-D	5 % sand	1,128933333	3,7021	0,08857919	0,23250167	8
G5B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO3	mol/L AgNO3	Cl (3 % NaCl)	Afstand på prøven
G5B1-A	10 % cement	1,128933333	2,9768	0,08857919	0,18695092	0
G5B1-B	10 % cement	1,128933333	0,3167	0,08857919	0,0198896	3
G5B1-C	10 % cement	1,128933333	0,1759	0,08857919	0,01104699	5
G5B1-D	10 % cement	1,128933333	2,216	0,08857919	0,13917066	8
G5B	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO3	mol/L AgNO3	Cl (9 % NaCl)	Afstand på prøven
G5B2-A	10 % cement	1,128933333	3,6843	0,08857919	0,23138379	0
G5B2-B	10 % cement	1,128933333	0,3126	0,08857919	0,01963211	3
G5B2-C	10 % cement	1,128933333	0,2174	0,08857919	0,0136533	5
G5B2-D	10 % cement	1,128933333	3,6521	0,08857919	0,22936154	8

Tabel 8.44: Kloridindhold for mørtelprøver efter 45 dage

Vandindhold for anden omgang (efter 45 dage):

Vandindholdet for mørtelprøverne med 3 % NaCl og 9 % NaCl ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G1B1-A	Reference	47,4	114,59	67,19	111,4	64	3,19
G1B1-B	Reference	45,66	92,73	47,07	90,49	44,83	2,24
G1B1-C	Reference	47,92	121,21	73,29	117,55	69,63	3,66
G1B1-D	Reference	41,78	111,39	69,61	108,06	66,28	3,33
G1B2-A	Reference	45,01	125,13	80,12	121,28	76,27	3,85
G1B2-B	Reference	45,33	100,46	55,13	97,78	52,45	2,68
G1B2-C	Reference	43,81	101,94	58,13	99,18	55,37	2,76
G1B2-D	Reference	57,2	131,62	74,42	128,01	70,81	3,61
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G3B1-A	5 % sand	43,46	106,53	63,07	103,52	60,06	3,01
G3B1-B	5 % sand	47,09	106,33	59,24	103,64	56,55	2,69
G3B1-C	5 % sand	57,72	151,24	93,52	146,62	88,9	4,62
G3B1-D	5 % sand	45,23	106,08	60,85	103,19	57,96	2,89
G3B2-A	5 % sand	43,25	106,07	62,82	103,18	59,93	2,89
G3B2-B	5 % sand	44,11	91,81	47,7	89,67	45,56	2,14
G3B2-C	5 % sand	46,83	107,66	60,83	104,81	57,98	2,85
G3B2-D	5 % sand	46,96	123,66	76,7	120,1	73,14	3,56
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G5B1-A	10 % cement	46,57	105,42	58,85	102,7	56,13	2,72
G5B1-B	10 % cement	41,09	118,63	77,54	114,87	73,78	3,76
G5B1-C	10 % cement	44,29	94,74	50,45	92,33	48,04	2,41
G5B1-D	10 % cement	48,93	132,85	83,92	128,47	79,54	4,38
G5B2-A	10 % cement	43,99	118,41	74,42	114,73	70,74	3,68
G5B2-B	10 % cement	44,83	102,46	57,63	99,55	54,72	2,91
G5B2-C	10 % cement	41,04	107,04	66	103,69	62,65	3,35
G5B2-D	10 % cement	45,34	117,65	72,31	113,98	68,64	3,67

Tabel 8.45: Vandindhold for mørtelprøver efter 45 dage

Kloridindhold for tredje omgang (efter 60 dage):

Kloridindholdet for mørtelprøverne med 3 % NaCl og 9 % NaCl ses på de nedenstående tabeller:

G1C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl (3 % NaCl)	Afstand på prøven
G1C1-A	Reference	1,0366	4,5274	0,096469226	0,30965914	0
G1C1-B	Reference	1,0366	0,5319	0,096469226	0,03638019	3
G1C1-C	Reference	1,0366	0,358	0,096469226	0,02448601	5
G1C1-D	Reference	1,0366	2,7816	0,096469226	0,19025221	8
G2C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl (9 % NaCl)	Afstand på prøven
G1C2-A	Reference	1,0366	5,9213	0,096469226	0,40499727	0
G1C2-B	Reference	1,0366	0,5986	0,096469226	0,04094225	3
G1C2-C	Reference	1,0366	0,3868	0,096469226	0,02645584	5
G1C2-D	Reference	1,0366	3,5124	0,096469226	0,2402365	8
G3C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl (3 % NaCl)	Afstand på prøven
G3C1-A	5 % sand	1,0366	3,7729	0,096469226	0,25805384	0
G3C1-B	5 % sand	1,0366	0,2351	0,096469226	0,01608006	3
G3C1-C	5 % sand	1,0366	0,2674	0,096469226	0,01828927	5
G3C1-D	5 % sand	1,0366	4,4288	0,096469226	0,30291522	8
G3C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl (9 % NaCl)	Afstand på prøven
G3C2-A	5 % sand	1,0366	6,3451	0,096469226	0,43398378	0
G3C2-B	5 % sand	1,0366	0,5513	0,096469226	0,03770709	3
G3C2-C	5 % sand	1,0366	0,2028	0,096469226	0,01387085	5
G3C2-D	5 % sand	1,0366	4,3063	0,096469226	0,29453663	8
G5C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl (3 % NaCl)	Afstand på prøven
G5C1-A	10 % cement	1,0366	4,412	0,096469226	0,30176616	0
G5C1-B	10 % cement	1,0366	0,7488	0,096469226	0,05121544	3
G5C1-C	10 % cement	1,0366	0,4217	0,096469226	0,02884288	5
G5C1-D	10 % cement	1,0366	4,4215	0,096469226	0,30241593	8
G5C	Art:	Kalibreringsgennemsnit:	AgNO ₃	mol/L AgNO ₃	Cl (9 % NaCl)	Afstand på prøven
G5C2-A	10 % cement	1,0366	4,3056	0,096469226	0,29448875	0
G5C2-B	10 % cement	1,0366	0,4024	0,096469226	0,02752282	3
G5C2-C	10 % cement	1,0366	0,5116	0,096469226	0,03499174	5
G5C2-D	10 % cement	1,0366	5,4331	0,096469226	0,37160601	8

Tabel 8.46: Kloridindhold for mørtelprøver efter 60 dage

Vandindhold for tredje omgang (efter 60 dage):

Vandindholdet for mørtelprøverne med 3 % NaCl og 9 % NaCl ses på de nedenstående tabeller:

Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G1C1-A	Reference	48,93	91,14	42,21	88,31	39,38	2,83
G1C1-B	Reference	43,45	123,11	79,66	117,45	74	5,66
G1C1-C	Reference	46,95	104,46	57,51	100,36	53,41	4,1
G1C1-D	Reference	45,66	101,96	56,3	97,91	52,25	4,05
G1C2-A	Reference	51,31	99,92	48,61	96,58	45,27	3,34
G1C2-B	Reference	40,45	104,88	64,43	100,44	59,99	4,44
G1C2-C	Reference	46,9	89,82	42,92	86,91	40,01	2,91
G1C2-D	Reference	57,72	146,69	88,97	140,39	82,67	6,3
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G3C1-A	5 % sand	44,13	113,41	69,28	108,78	64,65	4,63
G3C1-B	5 % sand	44,32	101,96	57,64	98,31	53,99	3,65
G3C1-C	5 % sand	45,02	120,81	75,79	115,94	70,92	4,87
G3C1-D	5 % sand	46,98	98,2	51,22	94,92	47,94	3,28
G3C2-A	5 % sand	44,89	98,6	53,71	95,08	50,19	3,52
G3C2-B	5 % sand	42,91	99,04	56,13	95,36	52,45	3,68
G3C2-C	5 % sand	43,6	102,5	58,9	98,79	55,19	3,71
G3C2-D	5 % sand	47,42	127,77	80,35	122,73	75,31	5,04
Prøve nr.:	Art:	Vægt af petri [g]	Vægt af petriskål + prøve (før varmeskab) [g]	Vægt af prøve (før varmeovn) [g]	Vægt af petriskål + prøve (efter varmeskab) [g]	Vægt af prøve (efter varmeovn) [g]	Vandtab [g]
G5C1-A	10 % cement	44,76	90,45	45,69	87,56	42,8	2,89
G5C1-B	10 % cement	46,78	108,24	61,46	104,21	57,43	4,03
G5C1-C	10 % cement	42,72	138,03	95,31	131,66	88,94	6,37
G5C1-D	10 % cement	41,67	84,97	43,3	82,31	40,64	2,66
G5C2-A	10 % cement	41,43	131,14	89,71	125,23	83,8	5,91
G5C2-B	10 % cement	46,81	85,66	38,85	83,32	36,51	2,34
G5C2-C	10 % cement	43,43	117,51	74,08	112,72	69,29	4,79
G5C2-D	10 % cement	41,42	98,33	56,91	94,71	53,29	3,62

Tabel 8.47: Vandindhold for mørtelprøver efter 60 dage

8.9.3 Billeder af knust og ikke-knust mørtelprøver

Forskellen på en knust mørtelprøve og ikke-knust mørtelprøve via. en ringknuser ses på nedenstående billeder:

Mørtelprøver knust via. en hammer (ikke-knust mørtelprøve via. en ringknuser):



Figur 8.13: Mørtelprøve knust med hammer

En knust mørtelprøve via. en ringknuser:



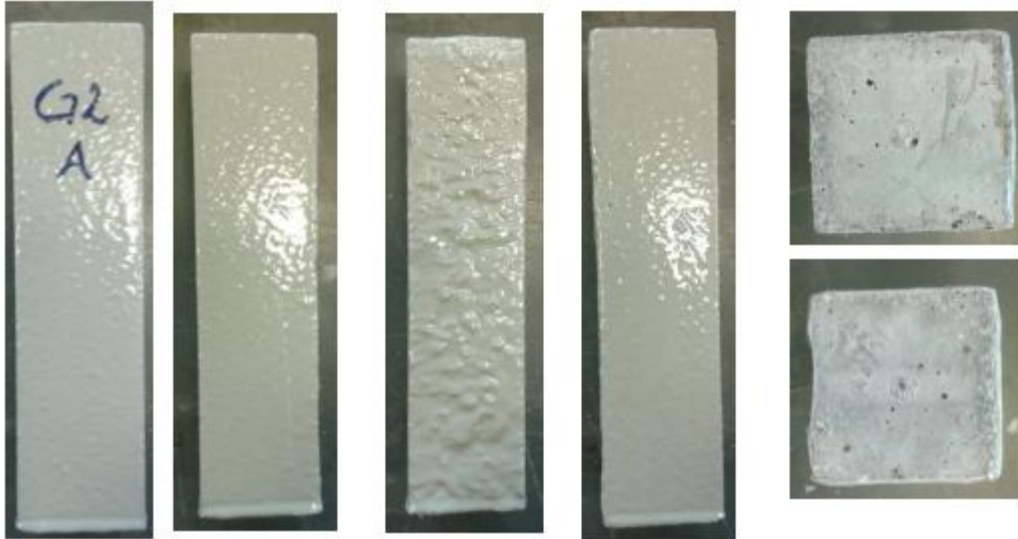
Figur 8.14: Mørtelprøve knust med ringknuser

Som det ses på ovenstående billeder, vil en knust mørtelprøve med en ringknuser se meget mere fin ud og vil fordele sig bedre end en knust mørtelprøve med hammer.

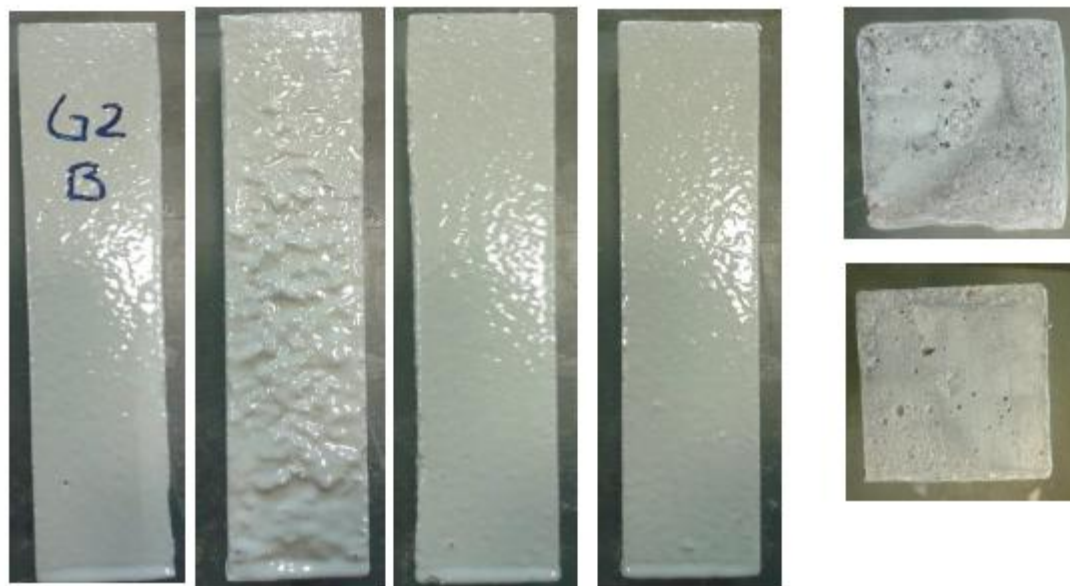
8.10 Billeder fra epoxymaling

Mørtelprøver til diffusionsforsøg med påtrykning af elektrisk strøm (30g salt pr 1 liter destilleret vand)

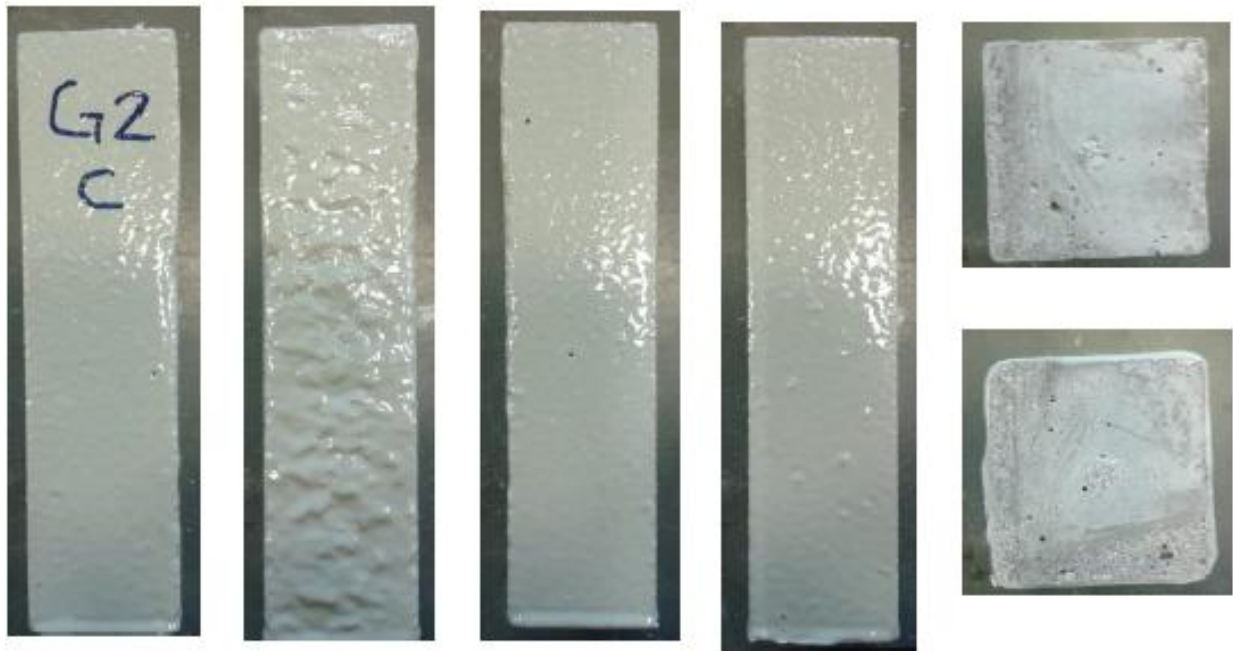
G2A-REF:



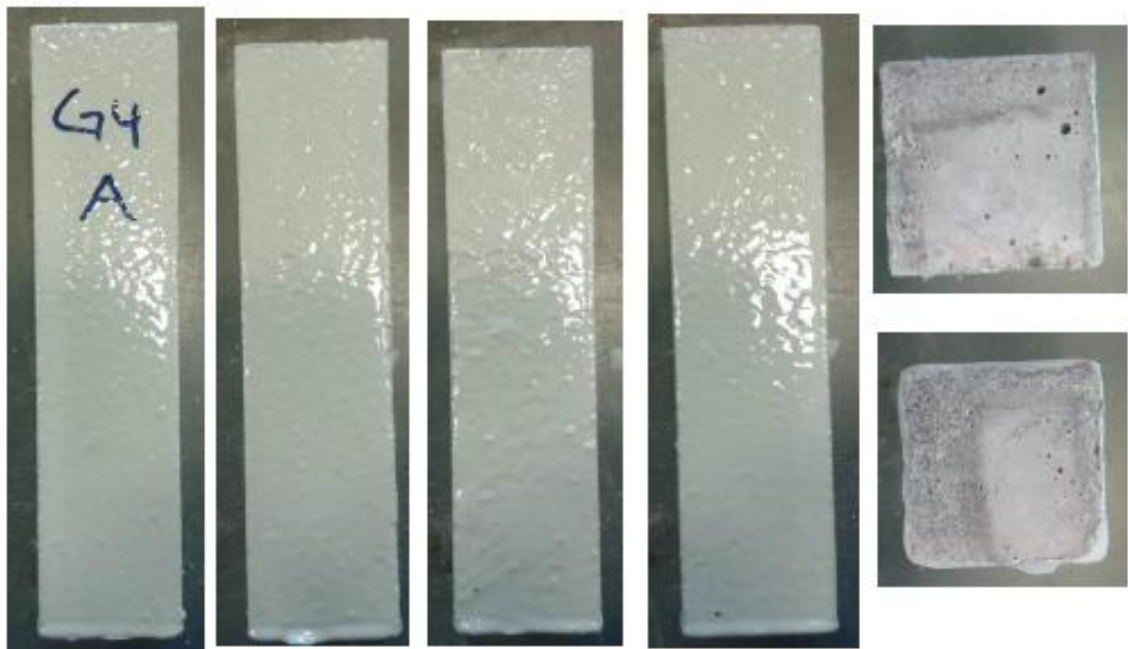
G2B-REF:



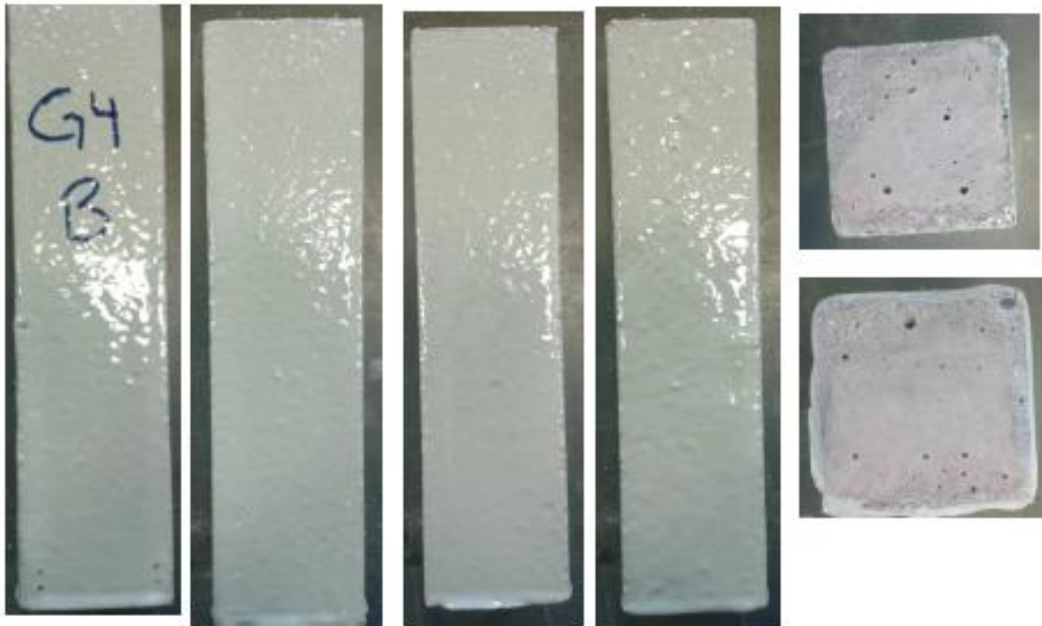
G2C-REF:



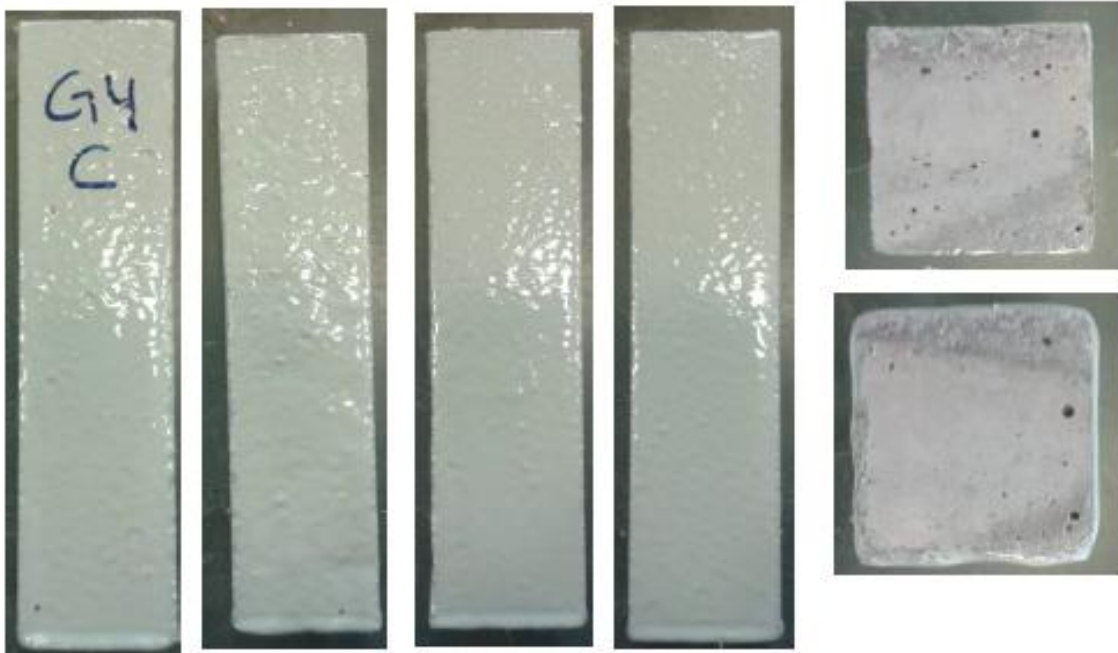
G4A-5% SAND:



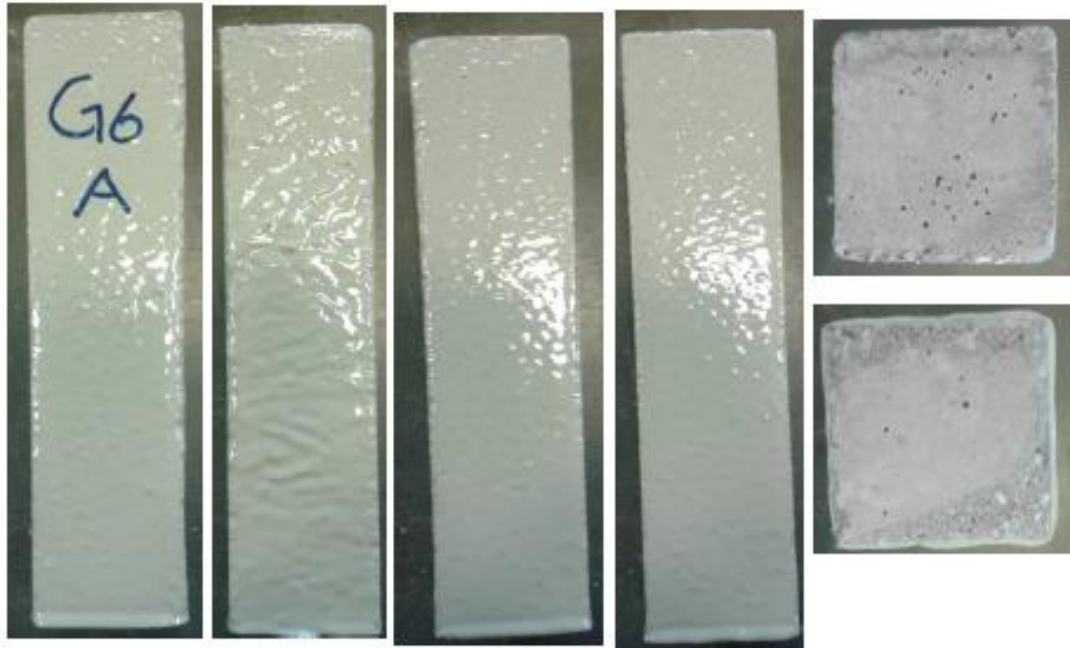
G4B – 5% SAND:



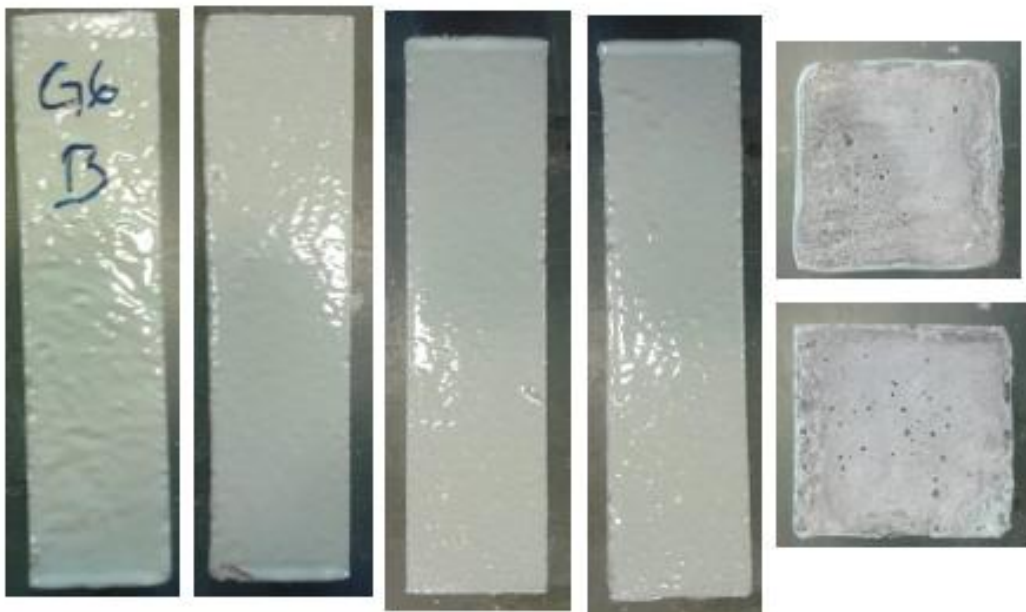
G4C – 5 % SAND:



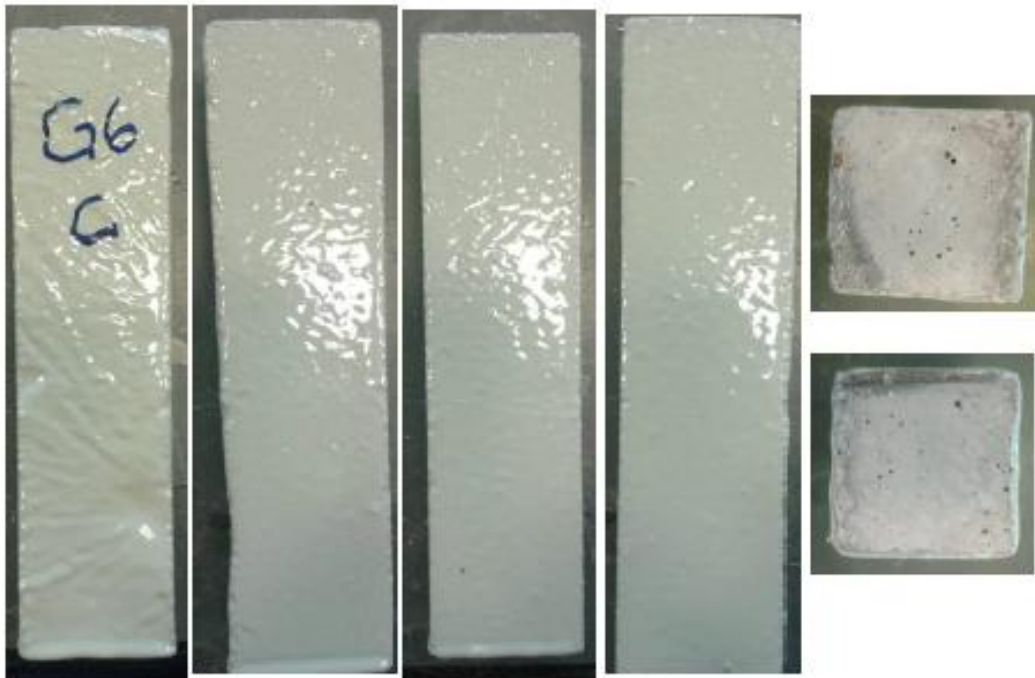
G6A – 10 % CEM:



G6B – 10 % CEM:



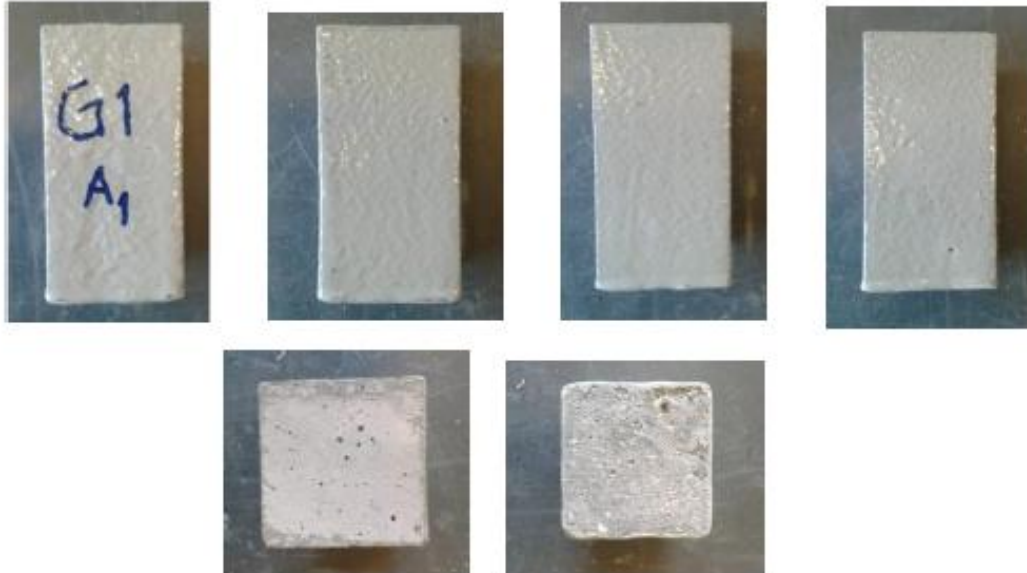
G6C – 10 % CEM:



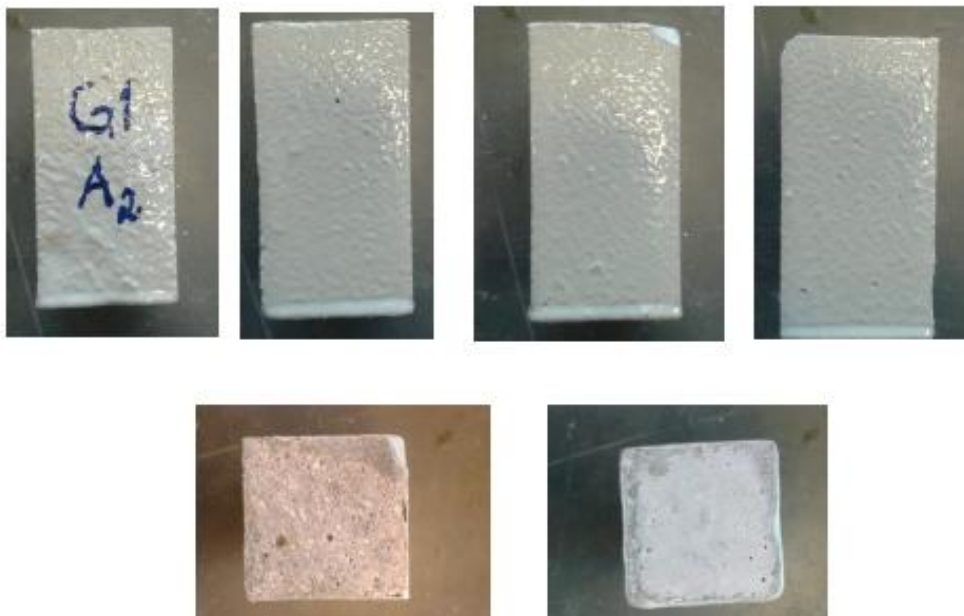
Mørtelprøver til diffusionsforsøg uden påtrykning af elektrisk strøm

Til saltvand (A1'erne med 3 % NaCl og A2'erne med 9 % NaCl):

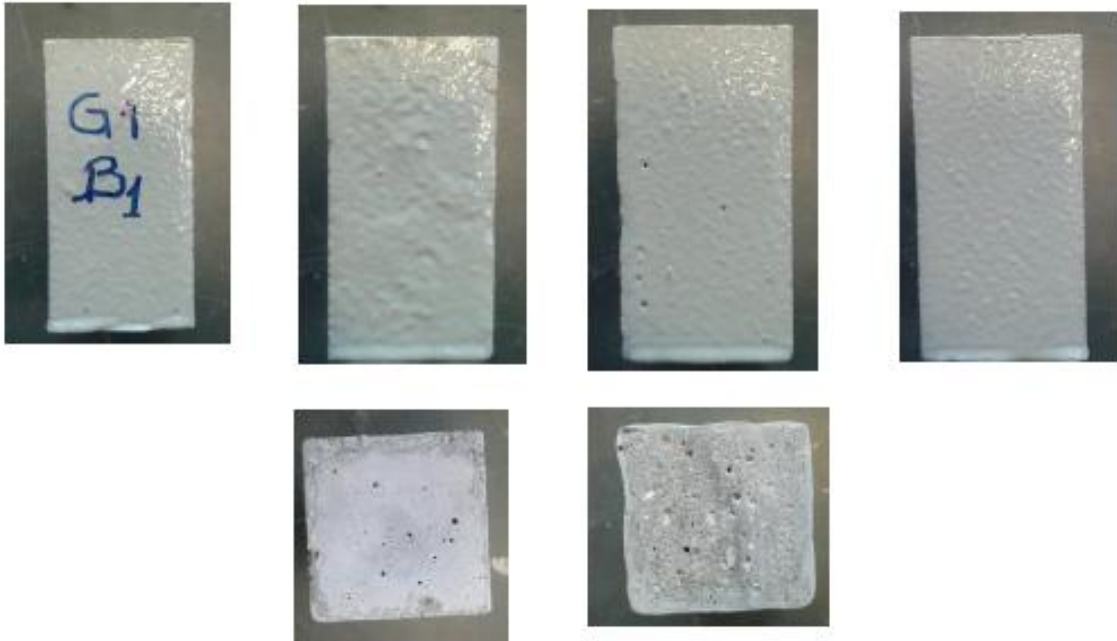
G1A1-ref:



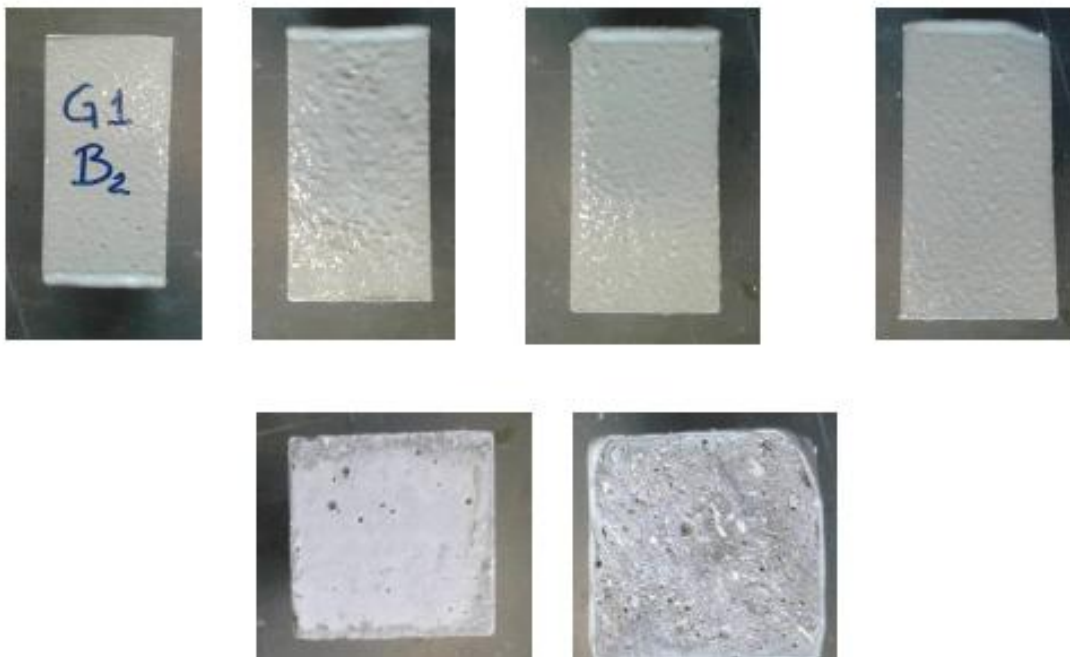
G1A2-ref:



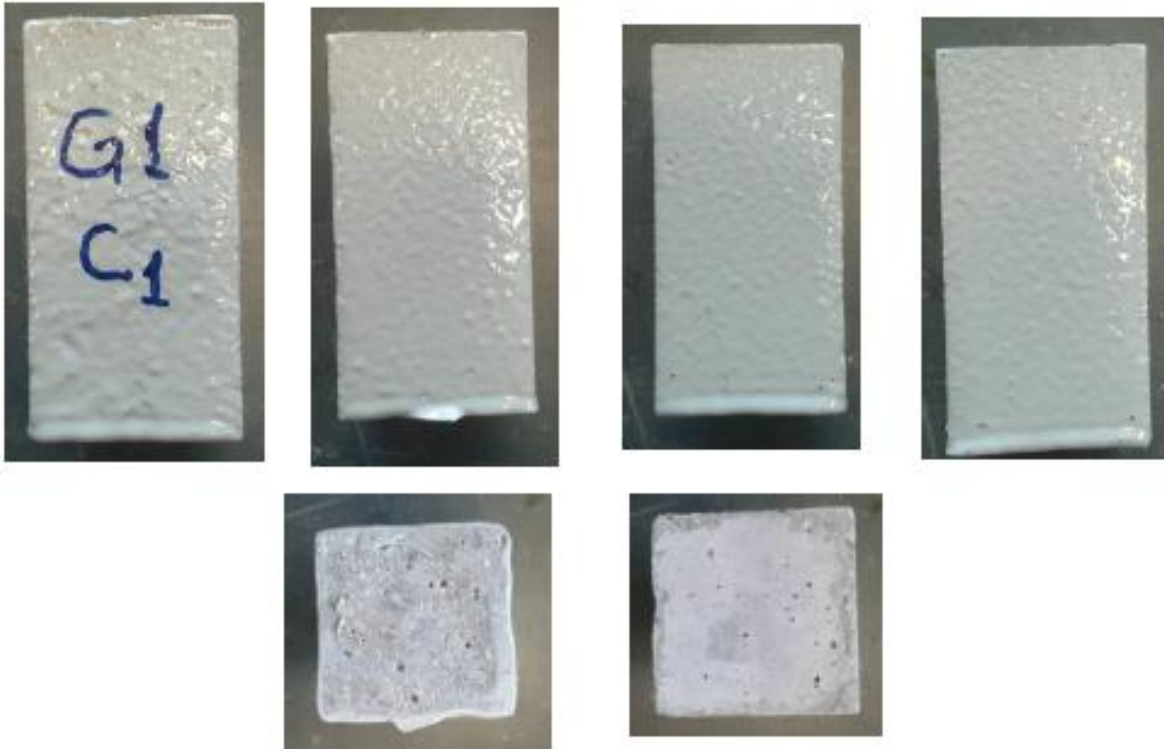
G1B1-ref:



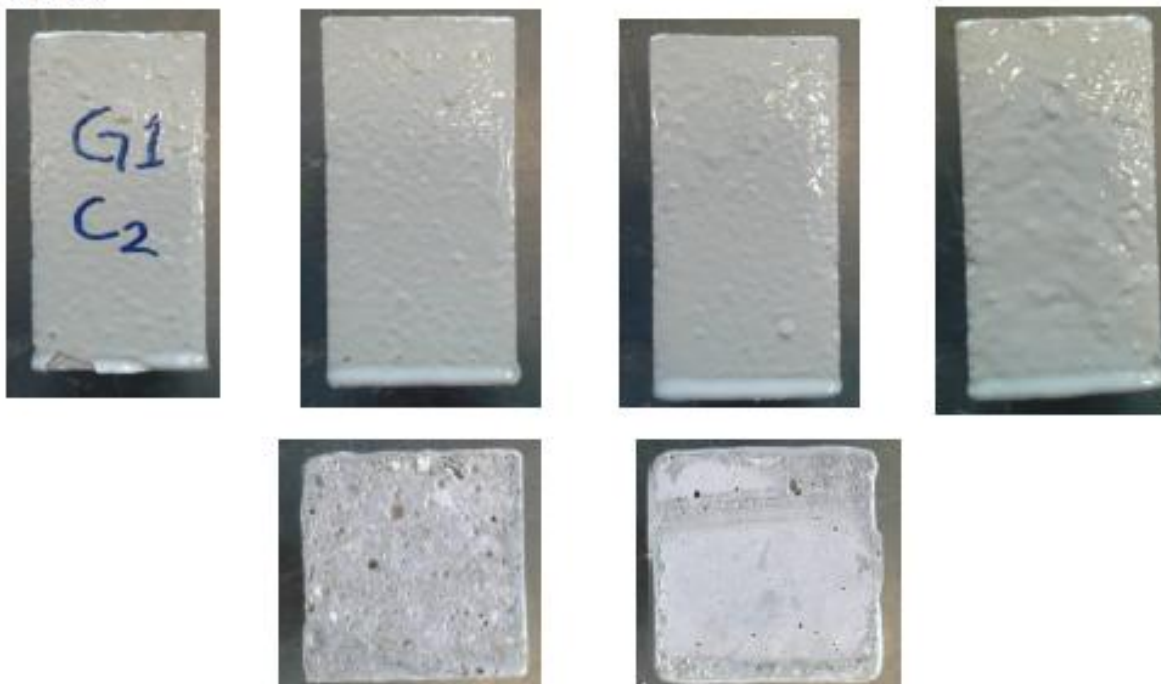
G1B2-ref:



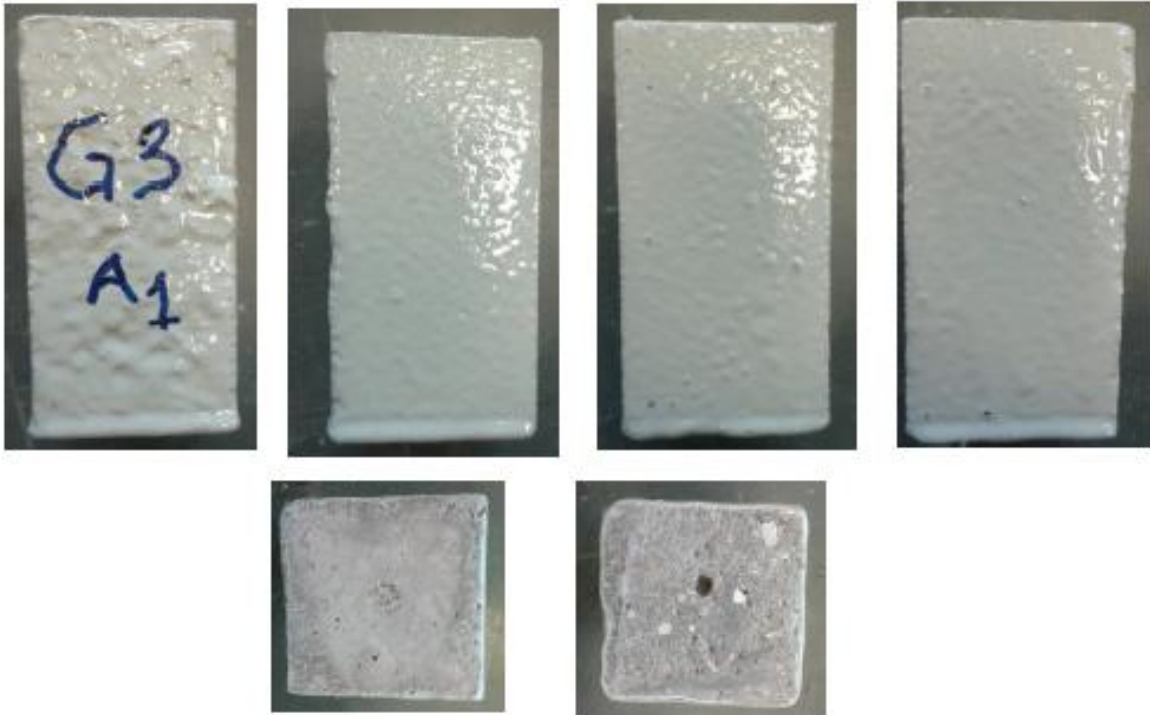
G1C1-ref:



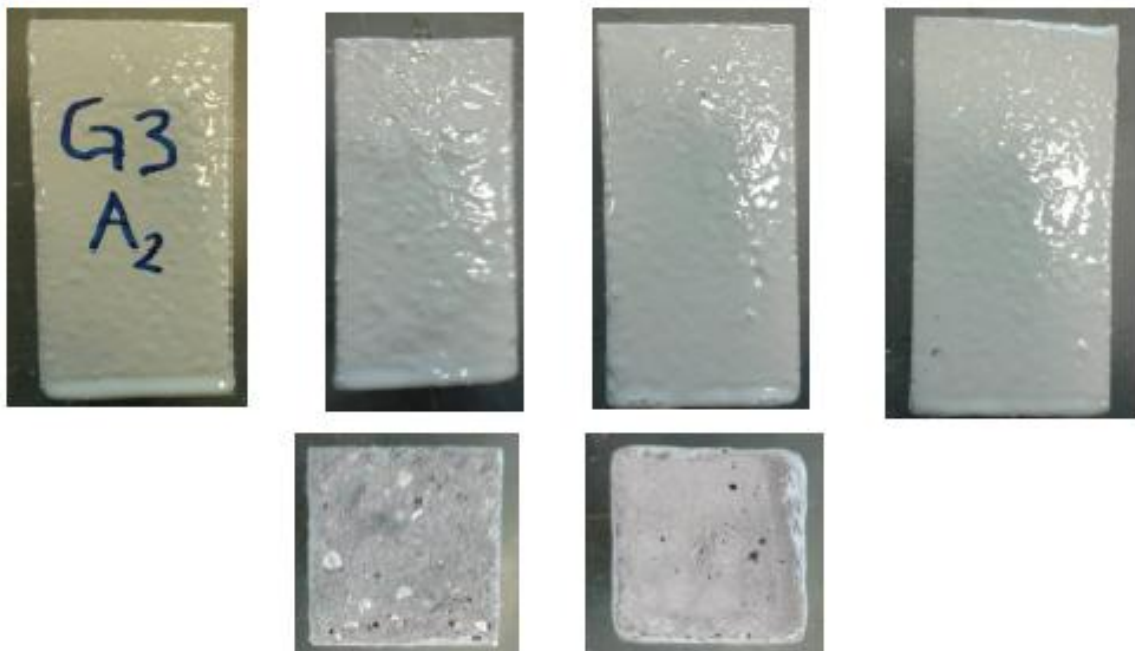
G1C2-ref:



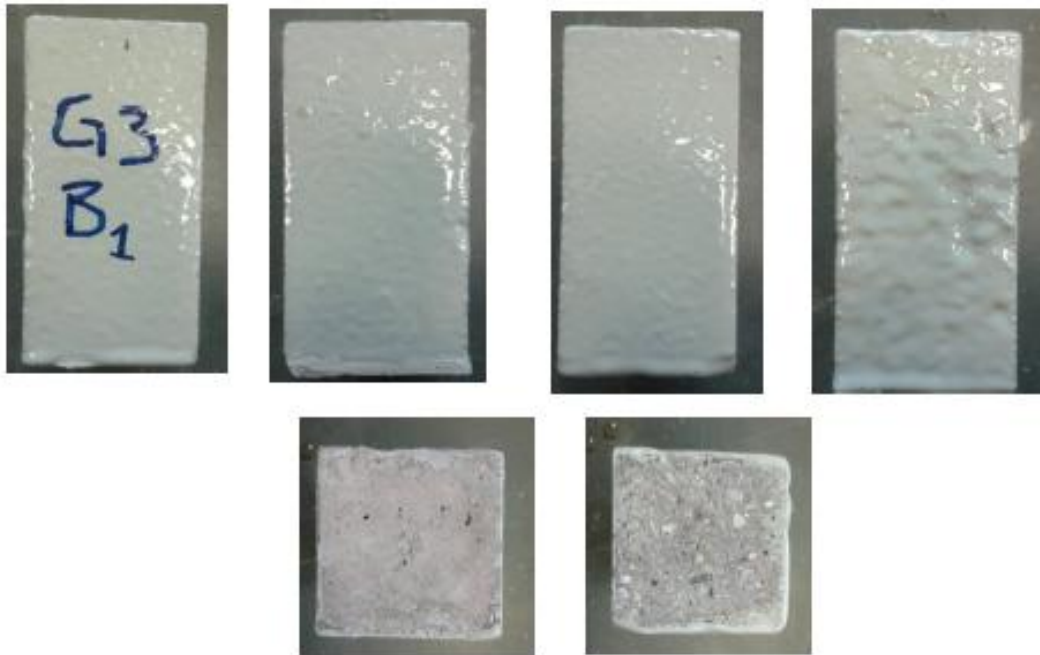
G3A1-5 % sand:



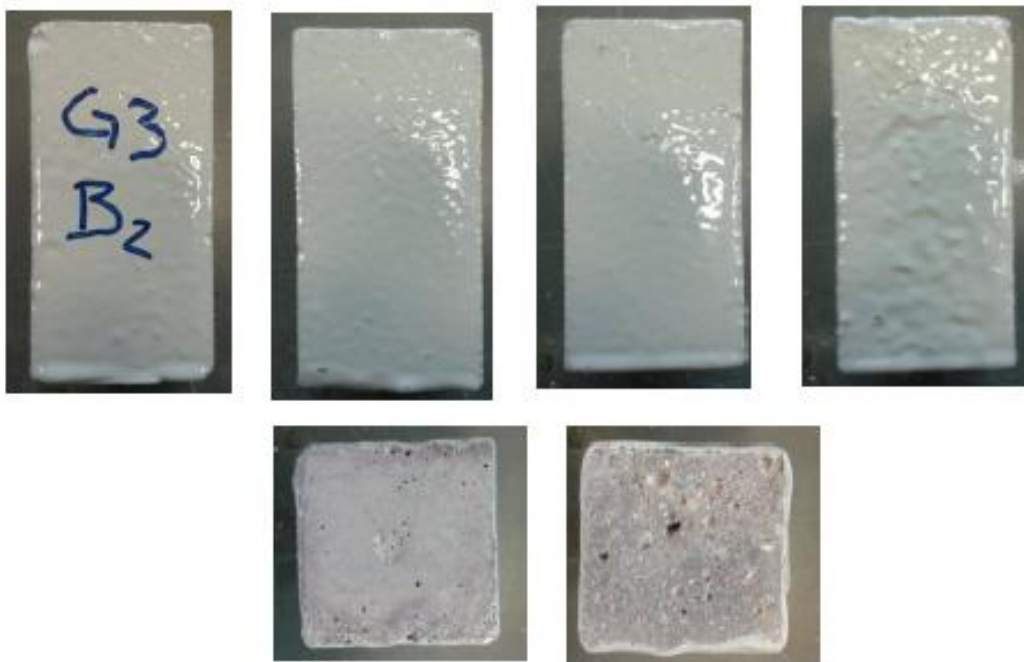
G3A2-5 % sand:



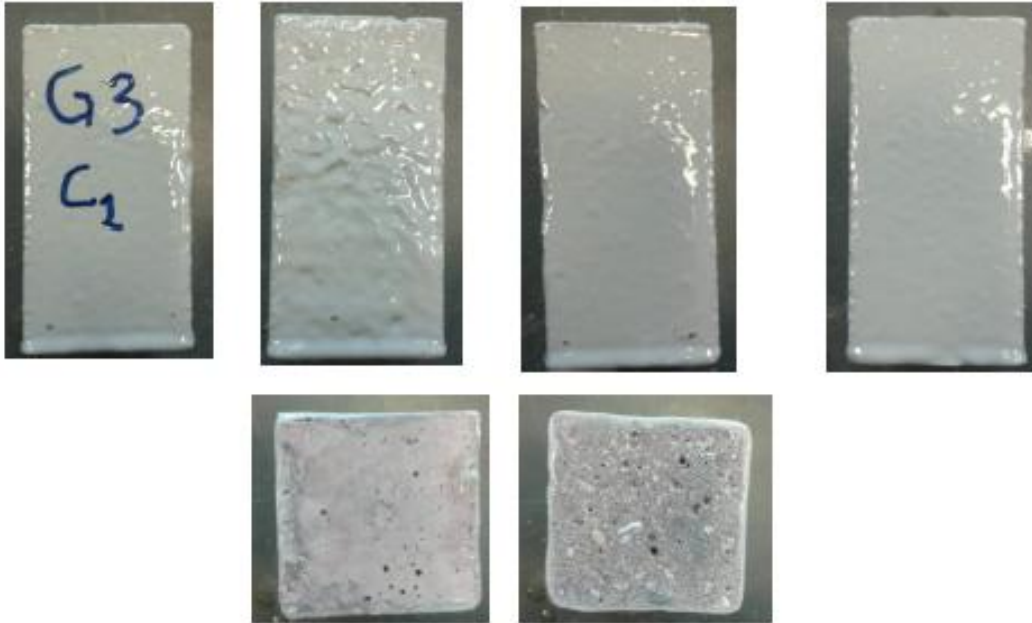
G3B1 – 5 % sand:



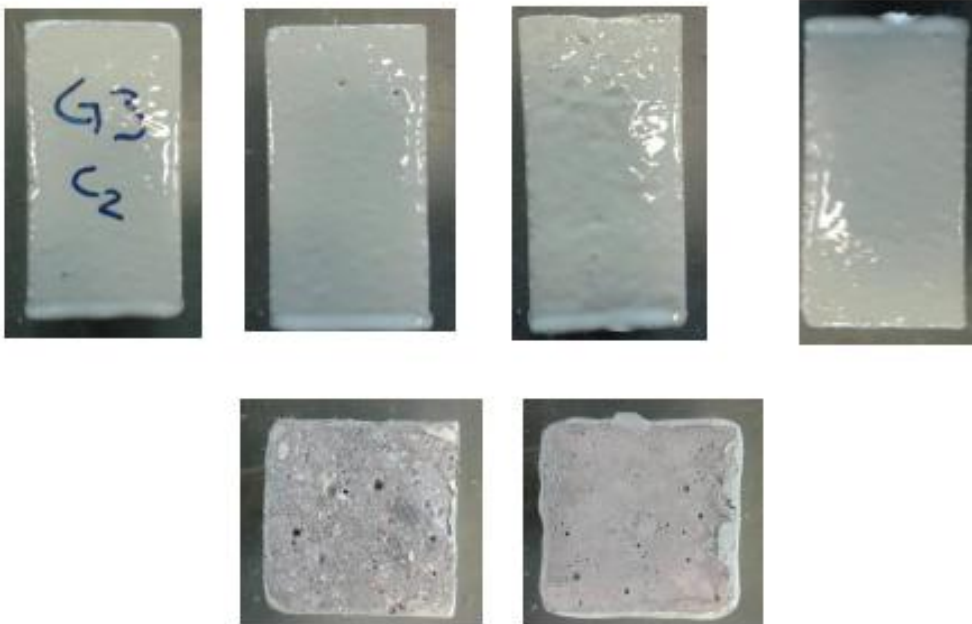
G3B2 – 5 % sand:



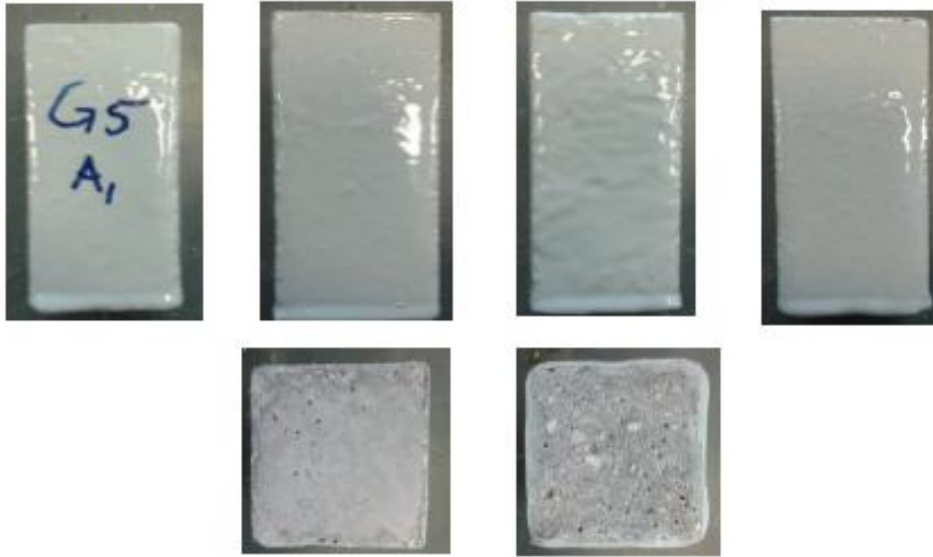
G3C1 - 5 % sand:



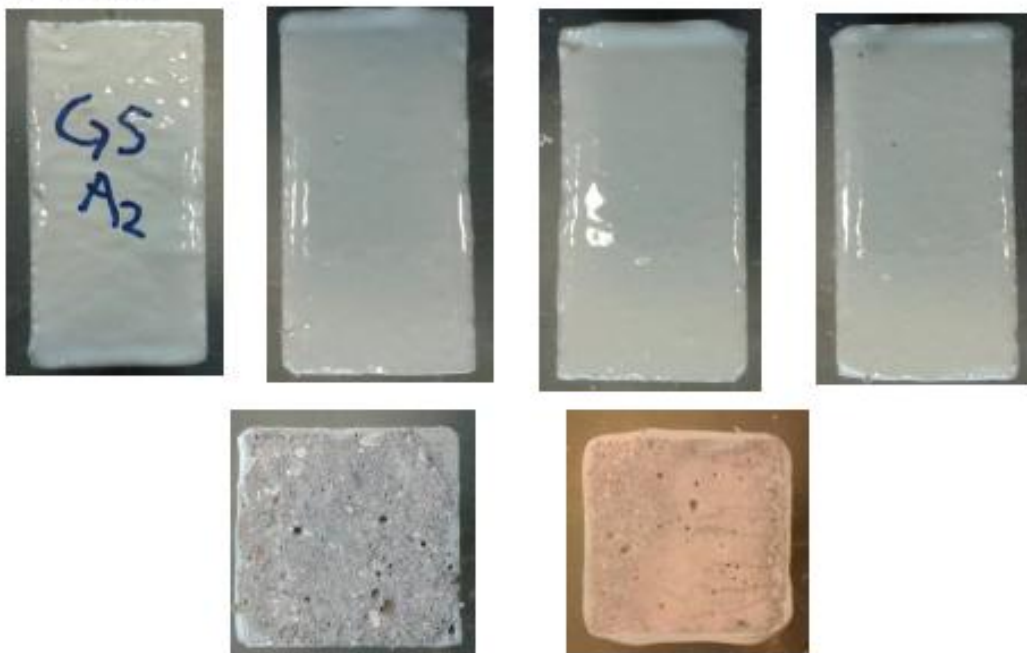
G3C2 - 5 % sand:



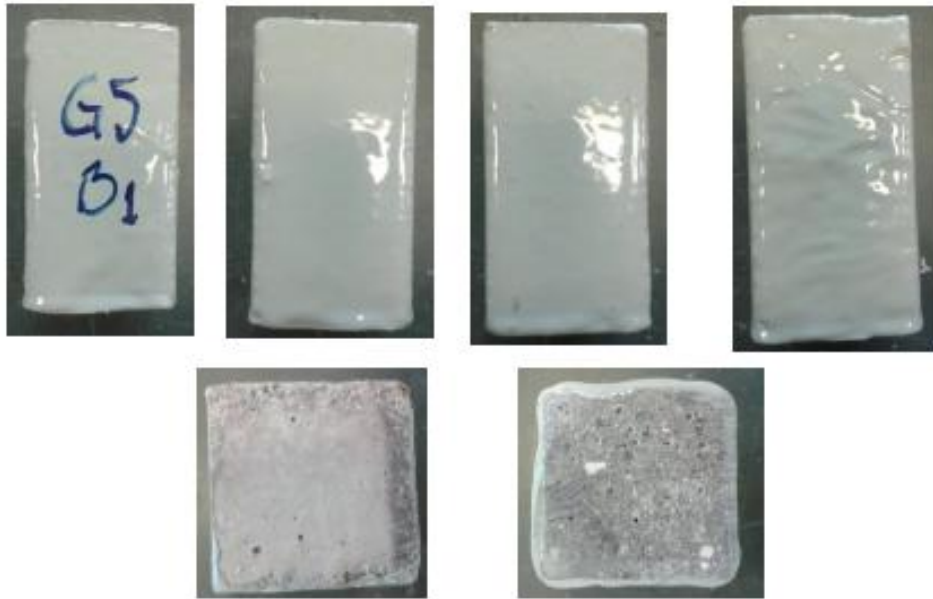
G5A1 – 10 % cem:



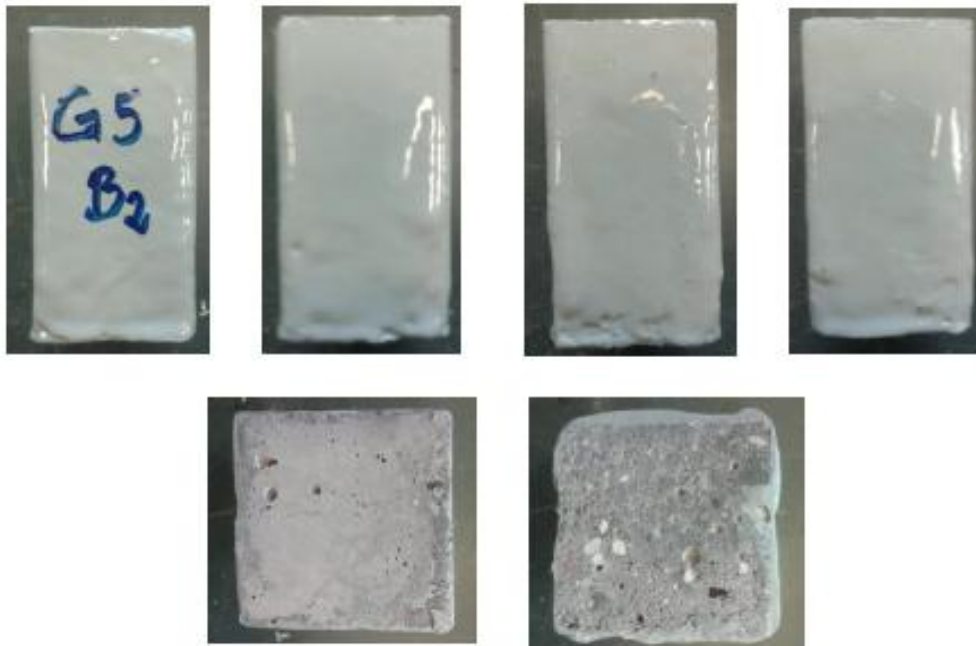
G5A2 – 10 % cem:



G5B1 – 10 % cem:



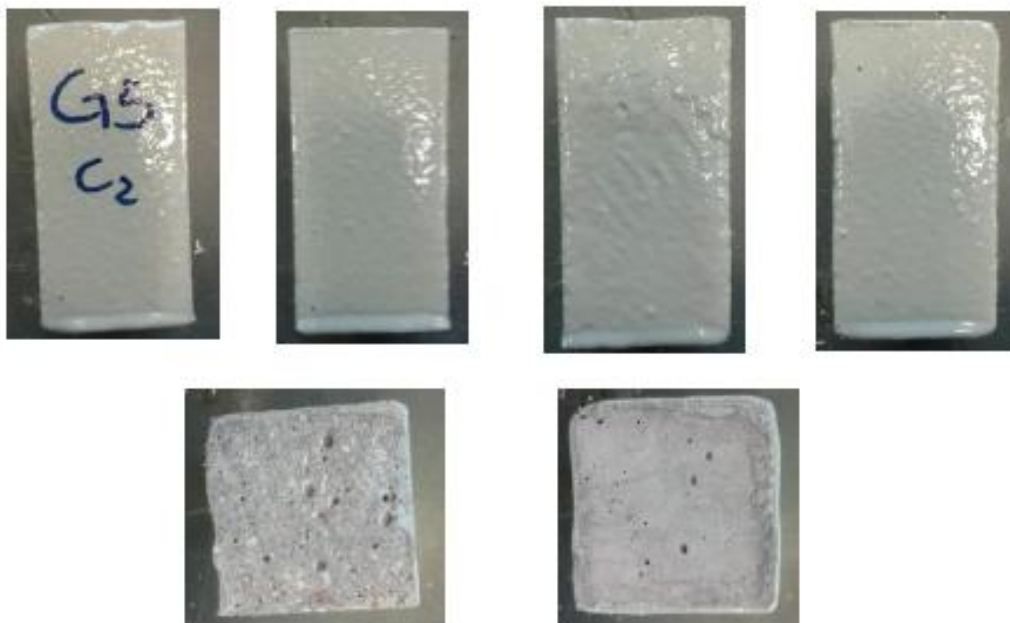
G5B2 – 10 % cem:



G5C1 – 10 % cem:



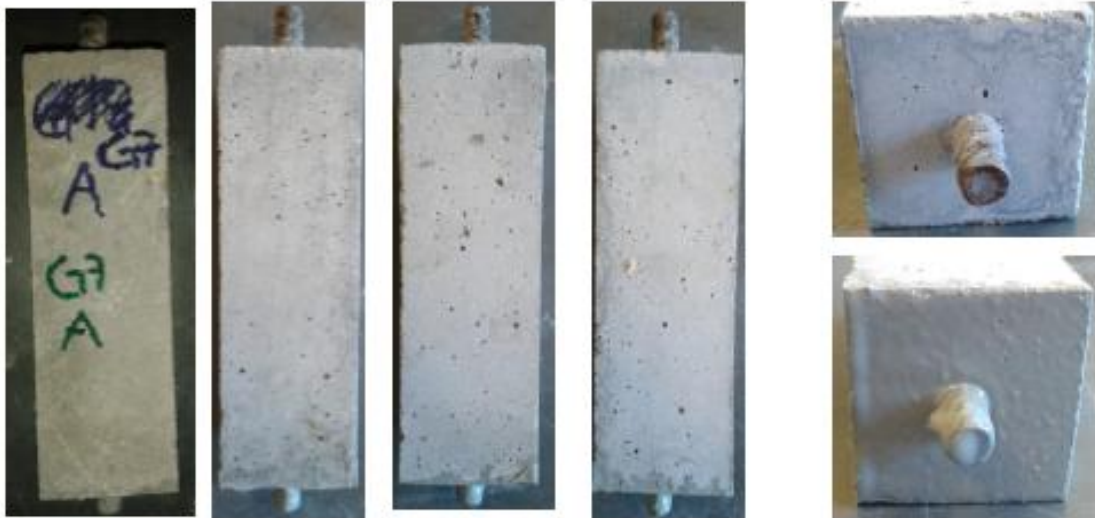
G5C2 – 10 % cem:



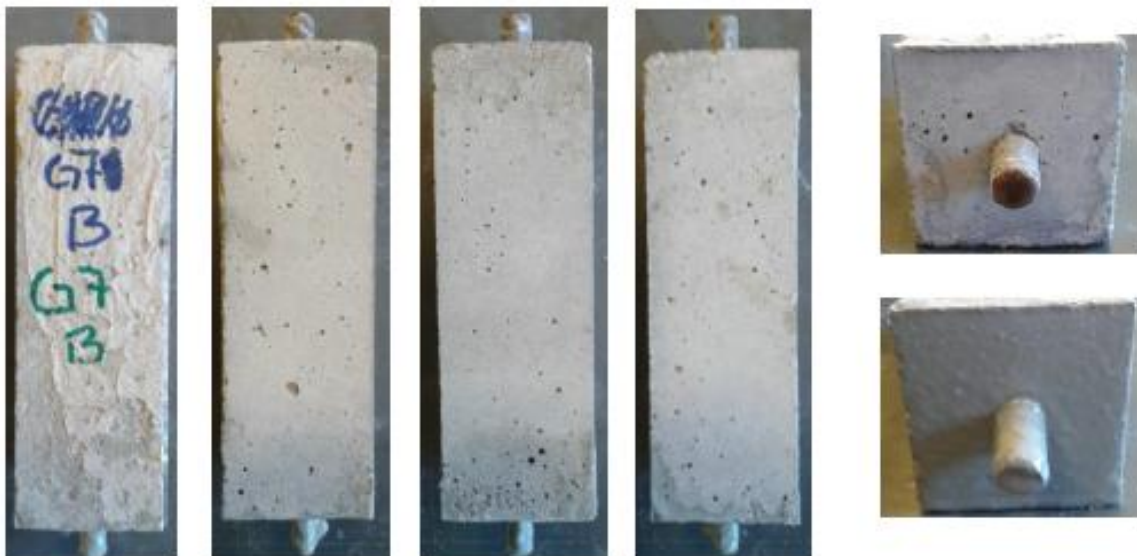
Mørtelprøver til korrosionsforsøgene (volt og visuel målinger):

TIL VOLT (EKP):

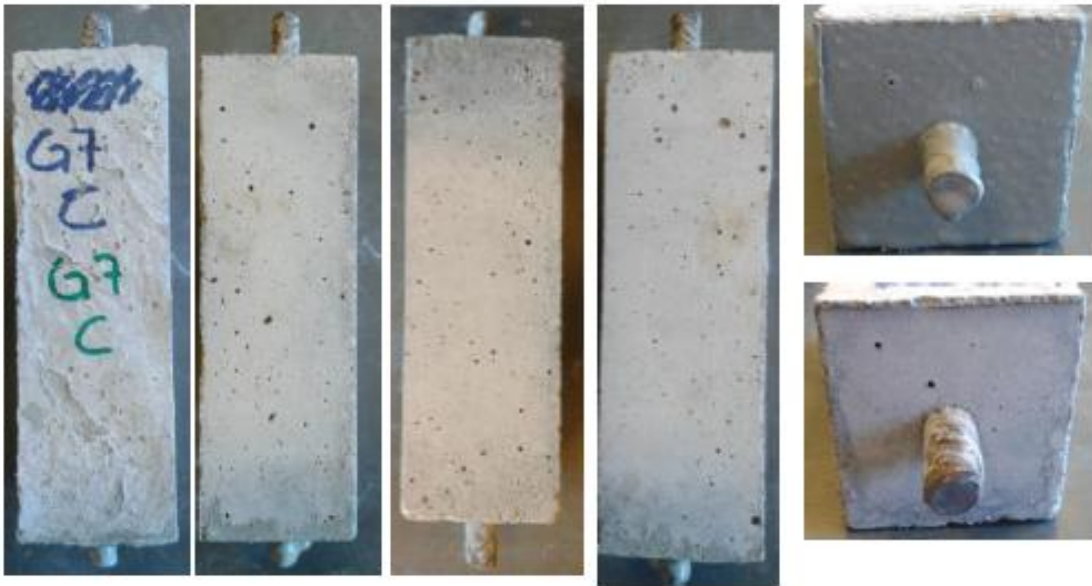
G7A - ref:



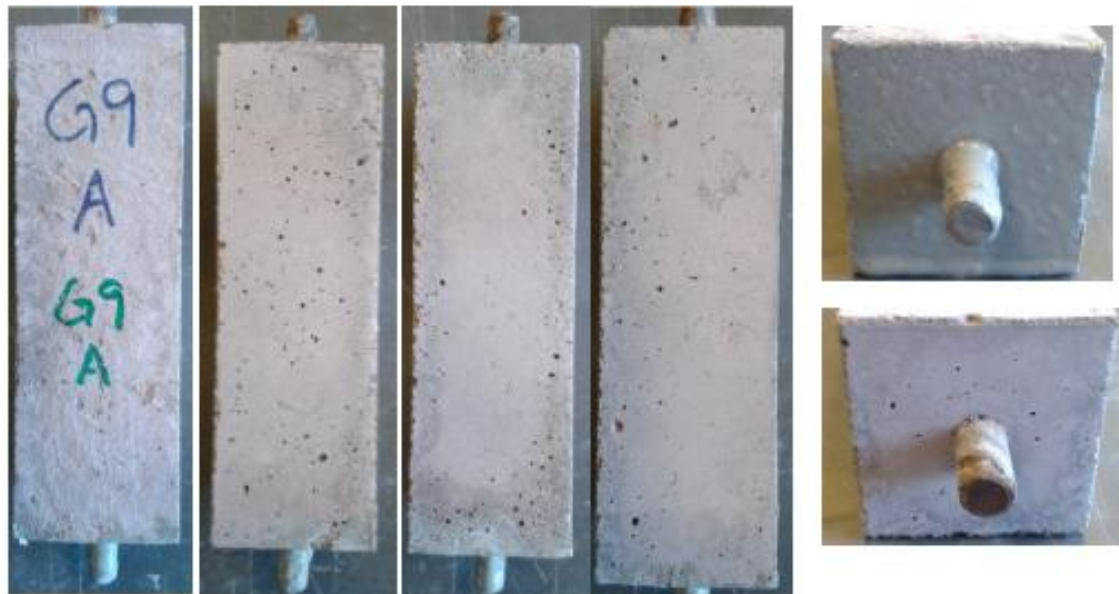
G7B - ref:



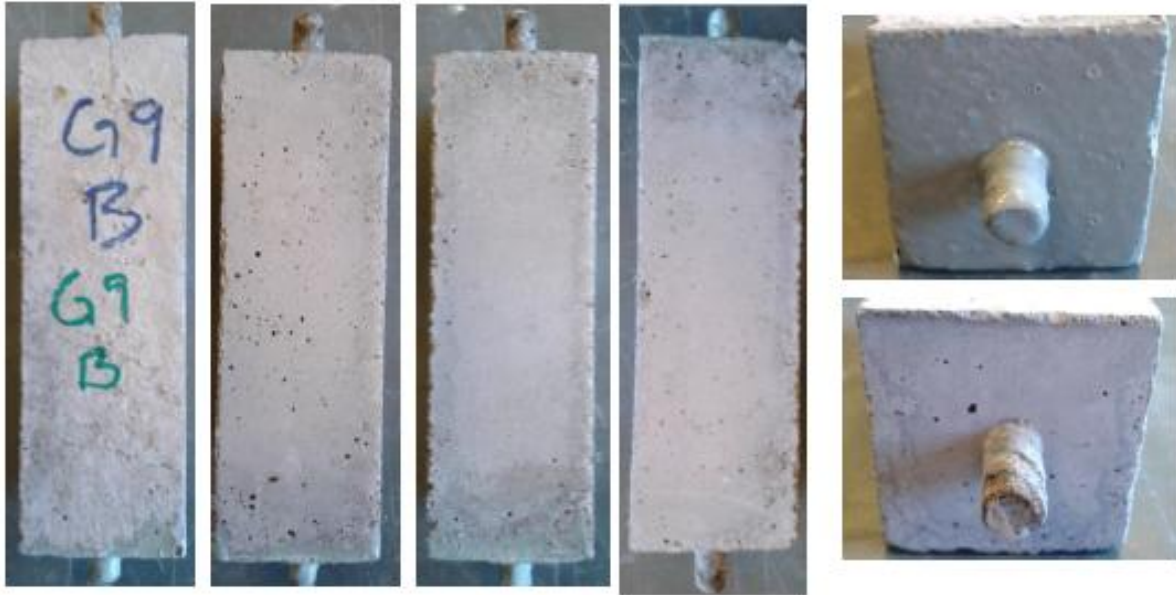
G7C-ref.



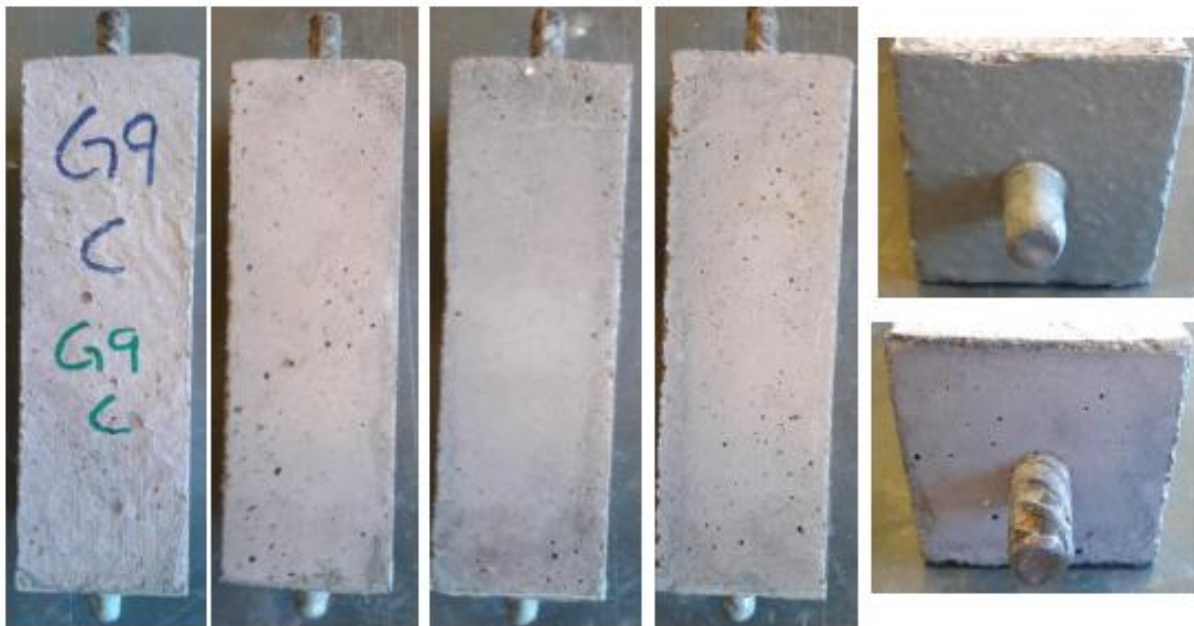
G9A - 10 % cem:



G9B – 10 % cem:

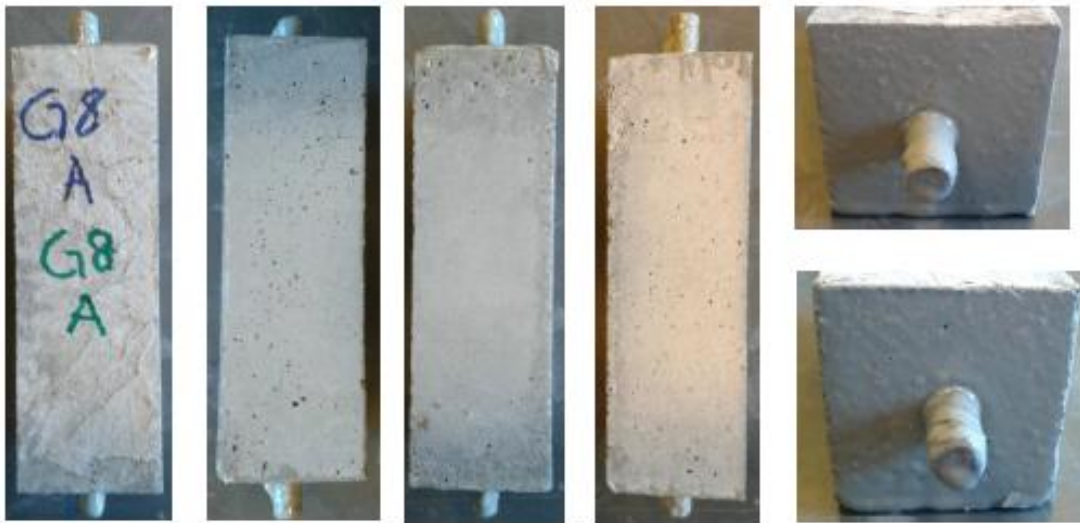


G9C – 10 % cem:

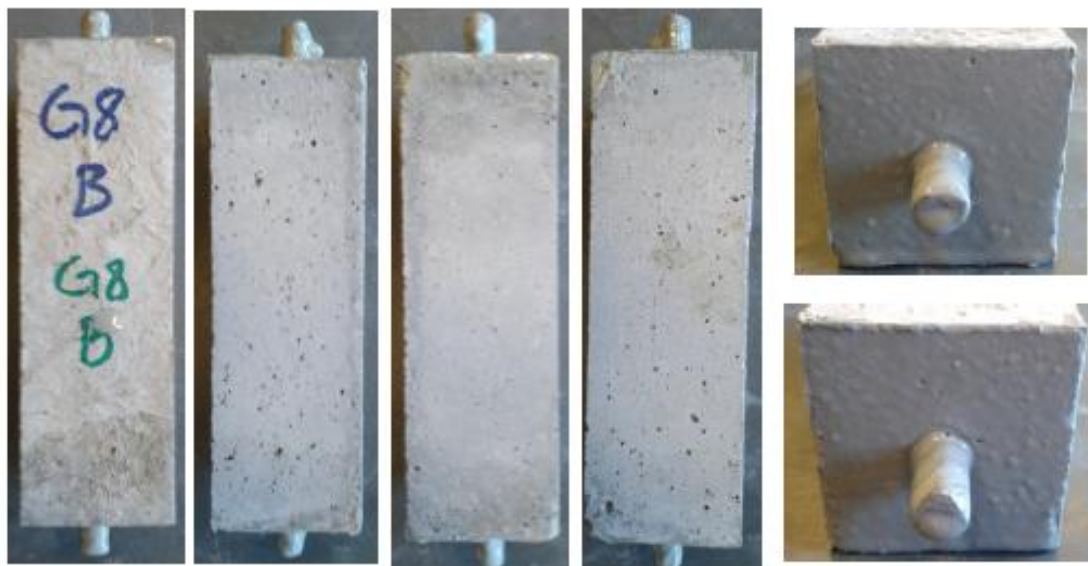


TIL VISUEL:

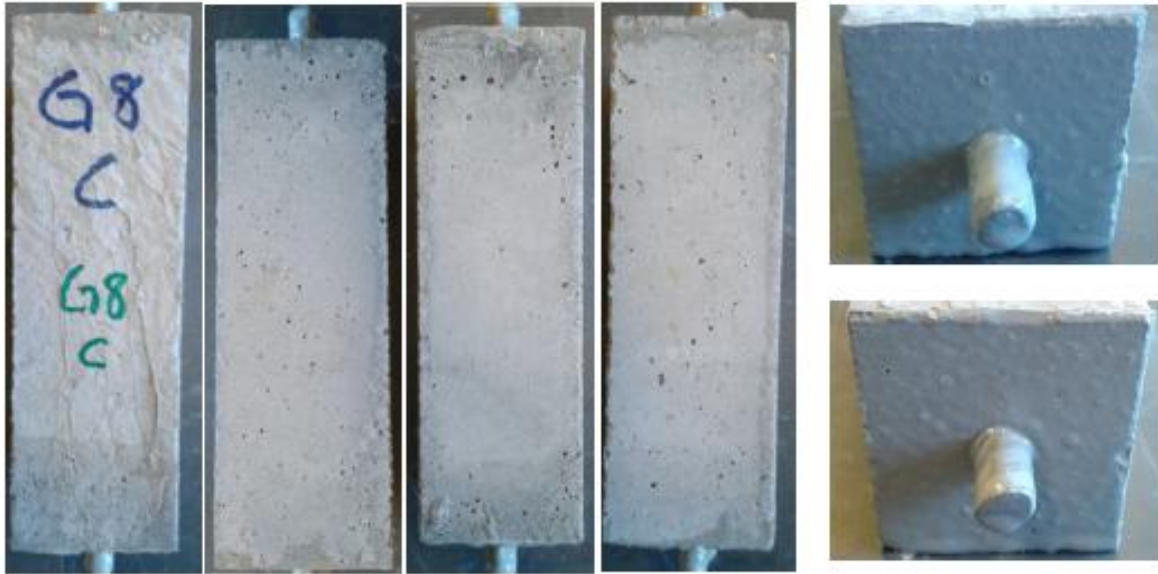
G8A-ref:



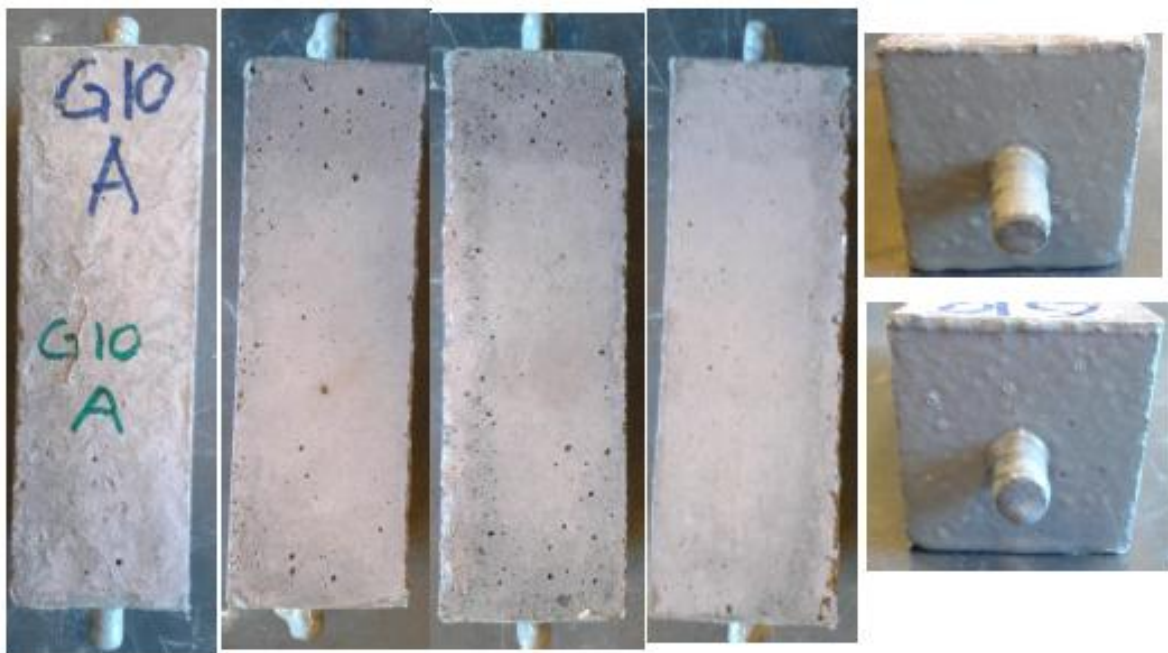
G8B-ref:



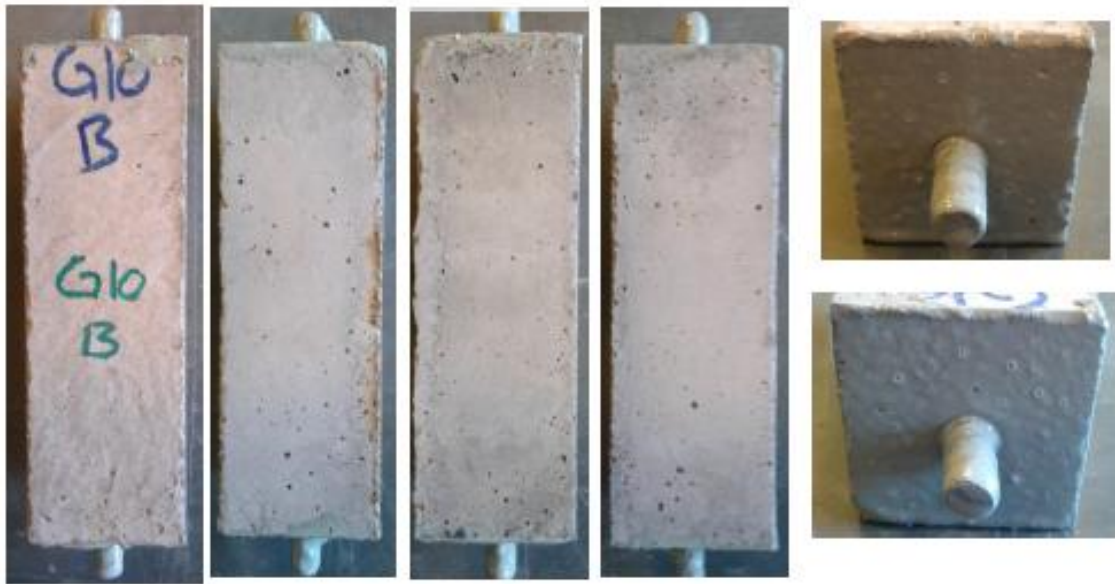
G8C-ref:



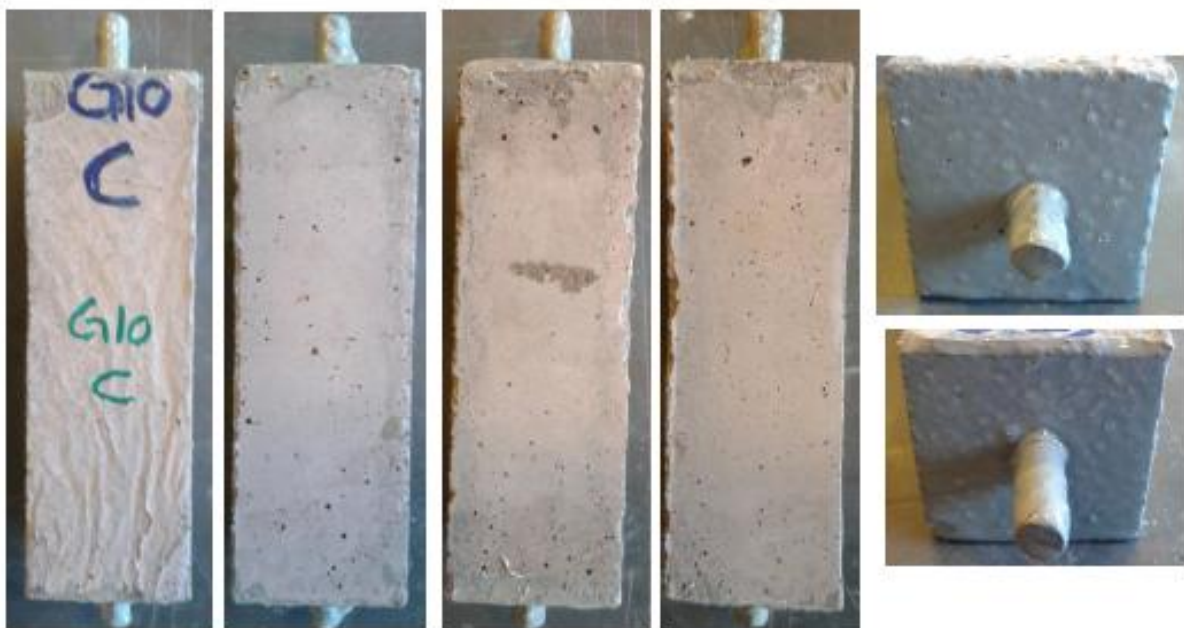
G10A-10% cem:



G10B-10 % cem:



G10C - 10 % cem:



8.11 Sammenligning af slammaske fra Avedøre I/S og slammaske fra Lynette I/S

På det nedenstående billede ses ikke-knust slammaske fra Avedøre I/S og ikke-knust slammaske fra Lynette I/S:



Figur 8.15: Slammaske fra Avedøre I/S og Lynette I/S

Som det ses på det ovenstående billede ser slamasken fra Avedøre I/S mere rødlig ud end slammaske fra Lynette I/S, hvilket kan skyldes at det indeholder mere jern-indhold.

8.12 Sammenligning af referenceprøver og askeprøver fra Avedøre I/S

På det nedenstående billede ses de tre mørtelblandinger som blev benyttet i rapporten:



Figur 8.16: Sammenligning af mørtelblandinger

Som det kan ses på det ovenstående billede, er referenceprøverne (G2) lysere end askeprøverne (G3 og G5). Derudover ses at mørtelprøven med erstatning af 5 % sand med slammaske (G3) har en lidt mere rødlig farve end mørtelprøven med erstatning af 10 % cement med slammaske (G5), hvilket skyldes at (G3) indeholder lidt mere slammaske end (G5). G3 indeholder 67,5g slammaske og G5 indeholder 45 g slammaske fra Avedøre I/S.

8.13 Poster præsentation fra mødet d. 18/11 2013

Slamaske i beton

Risiko for armeringskorrosion

Gonca Kurt – s112323

Institut for Byggeri og Anlæg, DTU, Lyngby, Danmark (D. 18/11 2013)

Baggrund

Slamaske kan indeholde tungmetaller, hvilket kan være skadeligt for miljøet. Salthold og tungmetaller har en betydning i et armeret beton. Salthold kan medføre korrosion i armeret beton, og tungmetaller kan være farlige pga. deres giftige stoffer for miljøet.

Formål

I denne rapport undersøges der om hvilken virkning slamaske giver i beton – både med og uden armeringsjern.

Der laves forskellige undersøgelser med slamaske. For slamasken laves der et askekaraktærisik. Derudover undersøges der for trykstyrke, korrosion og diffusion.

Forsøgene



Metoder

Der gennemføres forskellige metoder for de forskellige forsøge.

I dette projekt laves der to nye metoder for korrosion og diffusion.

Korrosion:

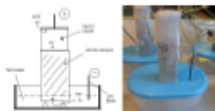
Mørtelprøverne skal stå i saltvand, hvor der både laves potentialemåling og visuelmåling.



Korrosion: Potentiale måling

Diffusion:

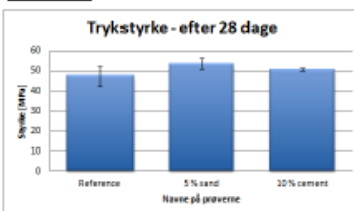
Mørtelprøverne bliver undersøgt for kloridindtrængning på to forskellige måder. Den første metode er hvor mørtelprøverne skal ligge i saltvand og den anden metode er at mørtelprøverne skal stå i saltvand med strøm tilsætning.



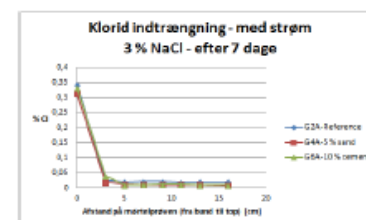
Diffusion: Med strøm

Resultater

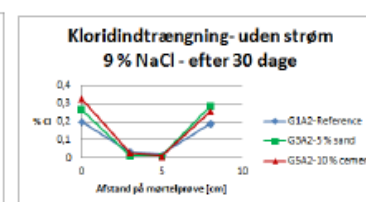
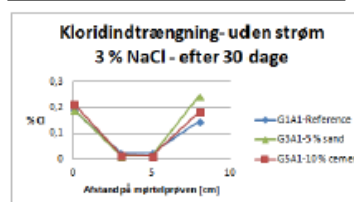
Trykstyrke:



Diffusion – med påtværing af elektrisk strøm:



Diffusion – uden påtværing af elektrisk strøm:



Konklusion

Ud fra disse resultater, kan det indtil videre konkluderes at forsøgene med kloridtest med strøm virker optimalt, da der sker en hurtigere kloridindtrængning med tilsætning af strøm. Når man sammenligner forsøgene med strøm-tilsætning i en uge og forsøgene uden strøm-tilsætning i ca. en måned, kan det ses at forsøget med strøm har givet mere kloridindhold end forsøget uden strøm, når begge forsøg indeholder 3 % NaCl. Ud fra forsøgene uden strøm-tilsætning, kan det ses at reference prøverne optager mindre klorid end prøverne med aske i. Der er besluttet for at der skal arbejdes med flere uger for kloridindtrængning med strøm, da saltvand ikke er trængt mere ind end de første 2 cm. For at have en mere konkret resultat forlænges forsøgene. Derudover kan der godt være usikkerheder på resultat af kloridindhold på de første 2 cm, da der vil være mere kloridindhold på den første centimeter end den anden centimeter. Det kommer an på hvor godt prøverne bliver knust. For at forsøget kører mere sikkert, skal der skiftes for både ler og saltvand en gang om ugen. Saltvand skiftes ud for at prøverne kan optage mere af saltvandet med samme koncentration, og leret skal skiftes ud fordi det ikke må være for tørt, da der ellers ikke vil ske en reaktion med strømmen. Indtil videre virker forsøgene som det skal, og venter spændt på de resterende resultater.

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