

# Anvendelse af aske fra Sisimiut i beton

-Undersøgelse af flyveaske og bundaskes indflydelse på betons trykstyrke



Villads Seiling Reichel  
Christensen – s113784

BEng

Department of Civil Engineering  
2015

## Forord

Efter mit praktikforløb i bro og in-situ beton hos Züblin A/S fik jeg interessen for at arbejde videre med beton. Denne rapport er resultatet af et 20 ETCS points bachelorprojekt på diplomingeniøruddannelsen fra Danmarks Tekniske Universitet Lyngby og er udført i perioden 2. februar 2015 til den 8. juni 2015 i samarbejde med vejlederne Lektor MSK Lisbeth M. Ottosen og Lektor Gunvor Marie Kirkelund fra Institut for Byggeri og Anlæg. I forbindelse med laboratorieforsøgene har der været samarbejde med laboratoriekoordinator Ebba C. Schnell, laborant Malene Grønvold og betontekniker Per Leth.

Rapporten er udført af Villads Seiling Reichel Christensen.

Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby d. 8 juni 2015

---

Villads Seiling Reichel Christensen

S113784



## Resumé

Byen Sisimiut på Grønland brænder alt deres affald på et forbrændingsanlæg. Resterne fra forbrændingen er blandt andet bundaske og flyveaske. På nuværende tidspunkt bliver asken sejlet til Norge. Det er en dyr og besværlig affære. Der er derfor et stort incitament i at kunne bruge asken på Grønland, ligesom der i Danmark bliver anvendt kulflyveaske som cementerstatning.

Det særlige ved lige dette projekt er, at det beskæftiger sig med affaldsasker fra Grønland, i en kombination af 5 procent cementerstatning og eller sanderstatning af restproduktet; bundaske, ubehandlet flyveaske og behandlet flyveaske. Forsøgene skal først klarlægge hvilke kombinationsmuligheder, der er anvendelige, når der ønskes en trykstyrke, der ligger meget tæt på referenceprøven med basis-cement. Der er lavet en tidligere rapport om flyveasken fra Sisimiut, men denne rapport skiller sig ud fra den tidligere ved, at der nu arbejdes med en behandlet flyveaske og en ubehandlet flyveaske med 5 procent cementerstatning. Tidligere blev der fokuseret på den ubehandlede flyveaske og en vasket flyveaske, hvor ændringerne lå i mængden af cementerstatning. Der er derfor arbejdet med 5 procent, da der var gode resultater her. Der er samlet set i denne rapport blevet lavet 15 forskellige blandinger mellem cement, flyveaske og bundaske, alle med 5 procent erstatning. Prøverne er lavet over perioderne 7, 28 og 42 døgn. De fleste er dog kun lavet for 7 døgn. Efterfølgende er de blevet trykprøvet og trykstyrkerne er blevet sammenlignet og vurderet. Det har efter forsøgenes afslutning vist sig, at både den ubehandlede og behandlede flyveaske er brugbar for styrke, som en 5 procent cementerstatning. Det har dog også vist sig, at den ubehandlede flyveaske er den aske, der opnår størst trykstyrke. Asken har endvidere vist, at den er længe om at reagere, men efter 42 døgn hærde tid overstiger de ubehandlede prøver, referencen i trykstyrken. Affaldsflyveaskerne kan på nuværende tidspunkt ikke bruges til armeret beton på grund af indholdet af tungmetal og mineraler, dette kan dog i fremtiden ændres ved elektrodialytisk opgradering.



## Abstract

The town of Sisimiut in Greenland burn all their waste in an incinerator. The residues from the incineration include bottom ash and fly ash. Currently, ashes are sailed to Norway, which is an expensive and cumbersome affair. Therefore, there is a great incentive to utilize the ash in Greenland – like coal fly ash is used as a cement replacement in Denmark.

The special feature of this exact project is that it deals with waste ash from Greenland, in a combination of 5 percent cement replacement and/or sand replacement of the residue; bottom ash and fly ash - untreated and treated. The experiments will firstly identify the combinatorial possibilities, which are useful when a compressive strength lying close to the reference test with the base cement is desired. Which are very close to the reference test with the base cement. An earlier report on the fly ash from Sisimiut has been conducted, but this report is working with a treated fly ash and an untreated fly ash with 5 percent cement replacement. Previously, the focus was on the untreated fly ash in which the change was in the amount of cement replacement. Therefore, this experiment will work with 5 percent. Overall, in this report there have been made 15 different mixtures of cement, fly ash and bottom ash, all with 5 percent compensation. The samples are made over periods of 7, 28 and 42 days. Most of them are only tested for a period of seven days. Subsequently, they have been pressure tested and pressure forces have been compared and evaluated.

At the end of the experiment, it has become evident that both the untreated and the treated fly ash are useful as a 5 percent cement replacement. However, it has also been found that the untreated fly ash is the one which achieves the highest compression strength. The ash has also shown that it is slow to respond, but after 42 days of curing time the untreated samples exceed the reference in the compressive strength. Currently the fly ash cannot be used for reinforced concrete because of the content of heavy metals and minerals, this can however be changed by electro dialytic upgrade.



## Indholdsfortegnelse

Forord .....	1
Resumé .....	3
Abstract.....	5
1 Indledning.....	10
2 Teori.....	12
2.1 Beton.....	12
2.1.1 Opbygning af beton .....	12
2.1.2 Cement .....	13
2.1.3 Flyveaske.....	14
2.1.4 Behandlet flyveaske.....	14
2.1.5 Bundasker .....	15
2.1.6 Tilslag .....	15
2.1.7 Hærdeforløb .....	16
2.1.8 Trykstyrke .....	16
3 Laboratorium forsøg.....	18
3.1 Karakteristik af aske fra Sisimiut.....	19
3.1.1 Aske typer .....	19
3.1.2 XRF og metalkoncentrationer(ICP) .....	19
3.1.3 SEM og laserdiffraktometer.....	21
3.1.4 Vandindhold.....	23
3.1.5 Carbonatisering.....	24
3.2 Screening af muligheder .....	26
3.2.1 Mørtelprøver .....	26
3.2.2 Cement og sanderstatning 5%.....	26
3.2.3 Trykprøvning.....	29
3.3 Fokusområde .....	31
3.3.1 Mørtelprøver .....	31
3.3.2 Cementsstatning 5% .....	32
3.3.3 Vicatforsøg.....	32
3.3.4 Trykprøvning.....	33
3.3.5 Carbonatisering.....	34



3.3.6 Rapid cement .....	35
3.3.7 Lang hærningstid .....	36
4 Diskussion .....	37
4.1.1 Vicat .....	37
4.1.2 Carbonatisering sammenlignet med screening.....	38
4.1.3 Rapid kontra basiscement .....	39
4.1.4 Styrke over tid.....	40
5 Videre forskning.....	42
6 Konklusion .....	43
7 Litteraturliste .....	45
Referencer .....	45
Supplerende litteratur .....	46
8 Bilag .....	47
Resultater .....	48
Bilag 1. – styrkemålinger af mørtelprøver.....	48
Bilag 2. – Blanderecepter.....	50
Bilag 3. – Vandindhold .....	51
Bilag 4. – Vicat resultater.....	52
Bilag 5. – XRF.....	53
Bilag 6. – Metalkonstruktion .....	54
Bilag 7. – pH-værdi for carbonatiseringsforsøg.....	54
Bilag 8. – Kornkurver og SEM.....	55
Bilag 9. – SEM .....	65
Forsøgsbeskrivelser .....	71
Bilag 10. - SEM scanning.....	71
Bilag 11. – Laserdiffraktometer .....	72
Bilag 12. - Vicatronic manual.....	73
Bilag 13. - Blande og vibration.....	80
Bilag 14. - Vandindhold i jord .....	81
Bilag 15. - Carbonatisering.....	83
Bilag 16. - Tørring af sand .....	84
Bilag 17. - Støbning og afformning .....	85

Bilag 18. - TONI 3000 .....86

Bilag 19. – Kemisk risikovurdering .....87

# 1 Indledning

Vores affaldsmængder vokser i takt med et stigende forbrug, samtidigt bliver det sværere og dyrere at komme af med affaldet – og vores ressourcer bliver mindre.

Der er en kæmpe produktion af beton på nuværende tidspunkt i hele verden, og den stiger i takt med, at der bliver opført flere og flere høje og komplekse byggerier. Samtidigt bliver infrastrukturen i mange lande i de senere år kraftigt opgraderet med store betonbroer og vejanlæg. Alt det beton som bliver brugt til dette, bliver fremstillet på store værker ved 1400 graders celsius (Nielsen, 2012). Der kræves meget energi for at lave denne varme på værkerne. Energien kommer fra fossile brændstoffer, og det er et problem ift. den nuværende energipolitik og globale opvarmning.

På Grønland er det et problem, at man rent miljømæssigt ikke kan slippe af med affald (Albinus, 2011). Man har tidligere blot benyttet naturen til at opbevare affaldet, men er efterfølgende begyndt at brænde affaldet af – dette giver dog biproduktet flyveaske, som man ikke kan komme af med i Grønland. Derfor sejles asken til Norge, hvor den deponeres i norske bjerge. Det samme gør sig gældende for Danmark, her er en årlig produktion på 2 – 3000 tons røggasaffald (Ottosen, Kirkelund, & Christensen, 2010). Det er derfor relevant for alle affaldsforbrændingsanlæg globalt.

Der er dermed også et økonomisk incitament ved at benytte den grønlandske flyveaske i den grønlandske betonproduktion. Man vil herved kunne spare logistikken af at skulle sejle asken til Norge, samt mellem 2000 og 5000 kr. pr. ton, som årligt er en udgift for Sisimiut-området på mellem 96.000 og 240.000 kr (Olsen, 2013). Samtidigt vil man også skulle importere 5 % mindre cement.

Dette projekt fokuserer på aske fra Sisimiut, Grønland. Der støbes mørtelprøver med både flyveaske og bundaske, og der støbes yderligere prøver med flyveaske, som er behandlet elektrodialytisk. Ud fra en screening af de forskellige askekombinationer vælges fokus for resten af projektet, således at den mest lovende blanding vælges ud fra trykstyrke og hærdetid. Den valgte aske (eller kombination) undersøges yderligere i forhold til styrkeudvikling over tid. Der udføres også eksperimenter med forskellige cementtyper sammenholdt med samme aske.

Rapporten er lavet ud fra tidligere forskning med henblik på 5 % cementerstatning. Det beton, der er lavet med flyveasken, skal dog markeres, da betonen vil være forurenset, og dette skal medtænkes ved senere nedbrydning.

Målet er derfor at nyttiggøre og sælge askerne, som et nyt råmateriale i beton, ligesom vi tidligere har set kulflyveakse, microsilica og stenmel gå fra at være et farligt affald til et værdifuldt råmateriale. Der forventes et stærkt stigende politisk pres i fremtiden for at ændre askernes status fra farligt affald til råmateriale og for at forbyde eksport og import af affald. Ønsket er at være med til at forme denne nye situation. Principielt kan man anvende askerne allerede i dag, men den store variation imellem askerne og et manglende kendskab i byggebranchen til deres kvaliteter betyder, at askerne ikke anvendes i dag. Byg på DTU har derfor opstillet en strategi, hvori man vil opbygge viden om anvendelsen af disse asker til produktion af beton – og heri ligger studenterprojekterne helt centralt for udviklingsområdet.

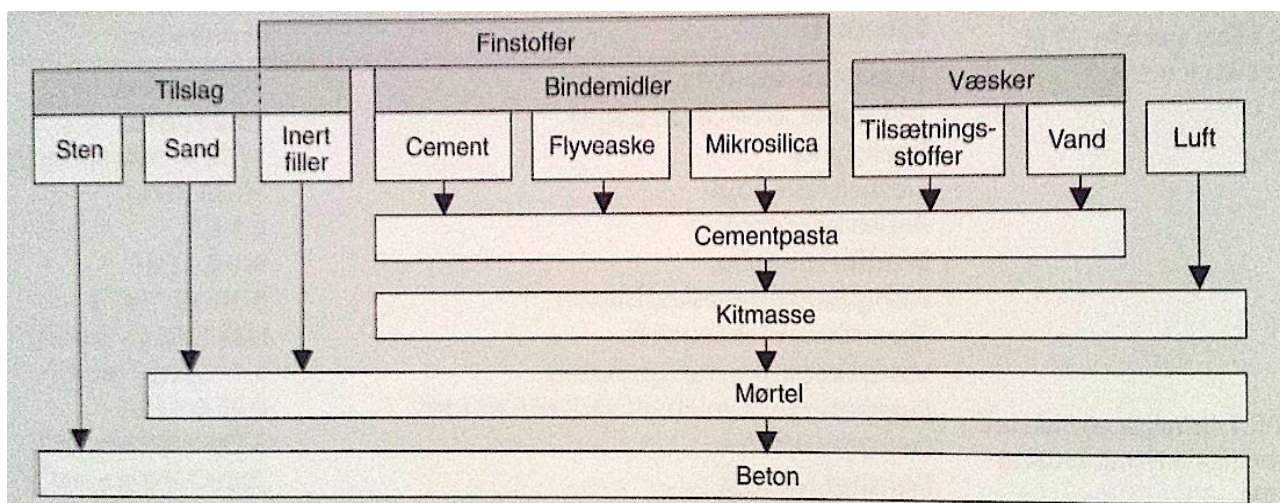
## 2 Teori

### 2.1 Beton

Når ordet beton bliver sagt, tænker man ofte på store grå bygninger og broer i det sidste århundrede. Det er lidt misvisende, for beton har været brugt helt tilbage til Romerriget. I dag er beton det mest anvendte bygningsmateriale i verden. Dette skyldes de mange egenskaber ved beton; det er formbart, det kan kombineres med armering og opnå både stor tryk- og trækstyrke og til dels er beton et forholdsvis billigt materiale. Beton består af cement, vand, sand og tilslag. Dette er materialer, der er til rådighed i det meste af verden. I dag er det meget anvendt at bruge færdigstøbte betonelementer fra store betonfabrikker til husbyggeri. Mens in-situ beton bliver brugt til broer og vejanlæg.

#### 2.1.1 Opbygning af beton

Beton består af en kombination mellem tilslag, bindemidler og væsker. Sammensætningen af disse tre hovedbetegnelser afgør, om der bliver lavet cementpasta, kitmasse, mørtel eller beton. I denne rapport vil der blive anvendt cementpasta til Vicat-forsøg og mørtel til alle trykstyrke forsøg. Den vigtigste ingrediens i beton er cement. Fasen hvor cementpastaen, altså reaktionen mellem vand og cement, reagerer, skaber bindemidlet for de resterende dele i betonen. Sand og sten er et fyldstof i betonen, mens flyveaske og mikrosilica indgår i den kemiske reaktion med cementen. I visse betoner ønskes der nogle specifikke egenskaber. Det kunne være en lang hærkningstid, hvis betonen skal transporteres langt. I sådan et tilfælde vil der blive tilsat nogle stoffer, så betonen opnår de ønskede egenskaber. Der er mange egenskaber ved beton. Beton har en pH-værdi på cirka 13, den høje pH-værdi skaber et basisk miljø, der beskytter armering mod at korrodere. Beton kan også blive indfarvet i alle verdens farver. Betons styrke bestemmes af forholdet mellem cement og vand. Jo mere vand, der bliver tilsat betonen, jo svagere bliver styrken. Derfor skal der kun tilsættes tilpas med vand til at betonen bliver tilpas bearbejdelig (Geiker, D5 Beton, 2012).



Figur 1 – Delmaterialer og faser i beton (Geiker, 2012, s. 50)

Luften i beton gør den frostmodstandsdygtig ved at vandet indeni den hærdede beton kan udvide sig i lufthullerne. Luftindholdet øger også betonens porøsitet og derved falder styrken i betonen. Luft kan reducere vandindholdet, da luften også hjælper med at gøre betonen mere bearbejdelig. Sammensætningen af betonen og følgende faktorer; transport, udstøbning, komprimering, tid og temperatur har betydning for den færdighærdede beton. Det er derfor nødvendigt at have dokumentation for den ønskede effekt.

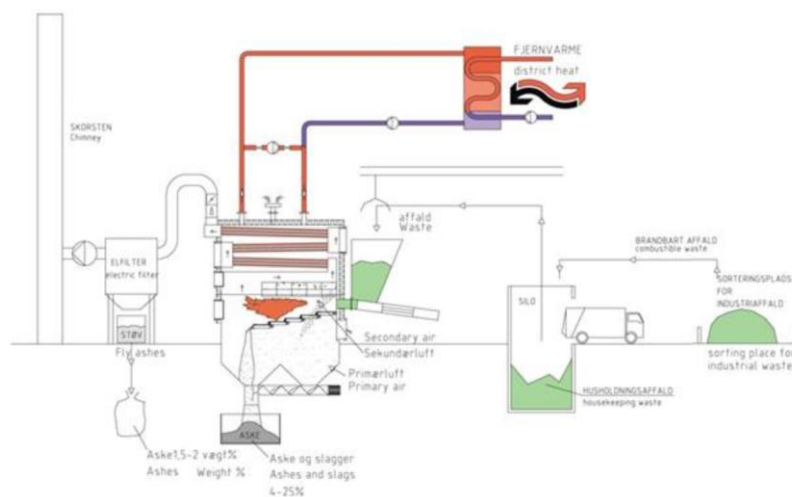
### 2.1.2 Cement

Portlandcement er en meget anvendt cement. Det er et hydraulisk bindemiddel, hvilket vil sige, at det hærder ved tilstedeværelsen af vand. Råmaterialerne i cement er kalk, ler, kvartssand og gips. De blandes sammen og indføres i en meget stor ovn. Ovnens varmes op til omkring 1400 – 1500 °C. Ved denne temperatur bliver materialerne sintret sammen til cementklinker. Cementklinker bliver først meget reagerbar med vand, når de er blevet malet til pulver, det er også ved denne proces at reaktionstiden i cementen kan bestemmes. En meget fint malt cementklinker reagerer hurtigere end en grovmalet (Nielsen, 2012, s. 45). I denne rapport er der blevet brugt to typer cement, basis og rapid-cement. Deres sammen-sætning er næsten ens, men basis cement er mere fint malet end rapid cementen. Basis cement har større risiko for svindrevner end rapid (AalborgPortland, 2015). Det kan derfor være en fordel at bruge rapid ved små prøver for at undgå svindrevner. Desuden har rapid en afbindingstid på 2;15 timer, mens basis har en afbindingstid på 2;45 timer (Portland, 2007). Det er derfor en fordel at bruge rapid cement, hvis det er svært at få mørtelprøven til at størkne. Basis

cement er bedre for miljøet, da det kan fremstilles ved en proces, der kræver mindre varme i forhold til rapid cement.

### 2.1.3 Flyveaske

Flyveaske er puzzolaner ligesom mikrosilica. Dette betyder at flyveaske reagerer med calciumhydroxid og danner produkter, der minder om cements reaktionsprodukter. Figur 2 viser, hvordan et forbrændingsanlæg bliver brugt. Det svarer til den type, der bliver brugt på Grønland. Den måde de Grønlandske forbrændingsanlæg skiller sig ud fra de danske er, at de er væsentlig mindre, samt at der kun er elektrofilter på røggassen. Forbrændingsanlægget fungerer på følgende måde: Skraldet læses af og bliver komprimeret, derefter bliver skraldet brændt i et stort kammer. Under kammeret er der et ristesystem som fjerner bundasken. Ved forbrændingen opstår der røg, som bliver ledt ud af skorstenen, ved skorstenen sidder elektrofilter og her bliver flyveasken opfanget.



Figur 2 - Røggasrensningsanlæg (Oplyst data fra Gunvor Kirkelund)

I denne rapport bliver der arbejdet med to typer flyveaske fra Sisimiut. En behandlet og en ubehandlet flyveaske, begge prøver er meget mørke i farven, hvor en almindelig kulflyveaske er mere grå i farven.

### 2.1.4 Behandlet flyveaske

I tidligere projekter er der arbejdet med vasket aske, mens der i dette projekt er arbejdet med behandlet aske. Man skal være opmærksom på dette ved sammenligning med tidligere rapporter. Som forklaret i det forrige afsnit, er der to typer flyveaske i denne rapport. Det specielle ved den behandlede flyveaske er den måde, den er blevet behandlet på. Normalt vil flyveasken blive behandlet ved at asken vaskes med vand gentagne gange. Herved ville en del af koncentrationen af tungmetaller

og salte blive vasket ud. Dette er dog en ressourcekrævende proces, da alt det vand, der bliver brugt til at rense asken selv bliver forurennet. Derfor er der på DTU blevet udviklet et system, der hedder elektrodialytisk opgradering. Det fungerer ligesom normal elektrolyse bare større og mere komplekst. I beholderen er der en anode og en katode. På hver side af dem er der elektrolytter til at opfange metallerne og mineralerne. Midt imellem anoden og katoden er der en opløsning af vand og aske. Når der bliver sat strøm til den elektrodialytiske opgradering, begynder stofferne at udskille sig fra asken og ophober sig i elektrolytten. Det smarte ved denne metode er, at der er mindre forurennet vand efter rensningen af asken, og målet er også at kunne genanvende de opsamlede metaller indenfor industrien. Herefter tørres det ned og opnår en struktur, der næsten er magen til det ubehandlede flyveaske, bare uden visse tungmetaller og mineraler.

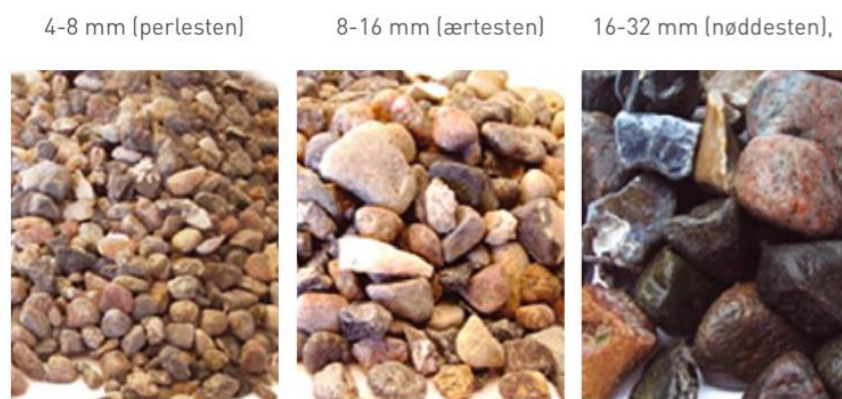
### 2.1.5 Bundasker

Bundaske er latent hydraulisk, med dette menes, at bundasken har nogle af de samme egenskaber som cement. Bundasken skal bare provokeres for at udfolde sine egenskaber. Dette kan ske ved, at bundasken kommer i kontakt med en væske med pH cirka 12, altså hvis den bliver blandet sammen med cement vil denne reaktion begynde. Bundaske og flyveaske skiller sig ud fra hinanden ved udseende, størrelse på korn, men også på indholdet af særligt Zn og Pb. Der er meget mindre Zn og Pb i bundaske end i flyveaske. Det er derfor nemt at se forskel på de to typer ved at kigge på dette indhold.

### 2.1.6 Tilslag

Definitionen af tilslag er sand og sten, der har en størrelse på mere end 4 mm og mindre end 64 mm. Dette varierer fra land til land. Typisk udgør tilslag 75 % af beton. Det er billigere, stærkere og giver en mere holdbar beton. Alt efter hvad den enkelte beton skal bruges til vurderes sammen-sætningen. Dette gælder også for tilslaget. Tilslaget kan være med til at ændre på styrke, elasticitetsmodul, slidstyrke, varmeudvikling, holdbarhed, frostbestandighed samt mange flere faktorer. Valget af disse er derfor vigtige. Der er tre typer tilslags materialer, 1) bakkematerialer som graves op af jorden, 2) sø-materialer som pumpes op fra havbunde, 3) skærver, som er knust materiale, kunne både være klipper op tidligere bygningsmaterialer (Geiker, 2012). Vandindholdet i tilslaget skal tages med i beregningen på vandindholdet i den samlede blanding. Det er vigtigt for at få den rigtige mængde vand i den færdige beton.





Figur 3 - Tilslag og stentyper (Portland, 2007)

Figur 3 viser et udsnit af tilslag. Til venstre er der perlesten, som har en størrelse mellem 4 – 8 mm. I midten er der et billede af ærtosten. De har en størrelse mellem 8 – 16 mm. Det er både perlesten og ærtosten, man kender fra indkørsler og parkeringspladser ved de fleste parcelhuse. Det sidste billede til højre viser nøddesten. De har en størrelse på 16 – 32 mm. Mellem alle de større materialer af tilslag er der sø-sand, for at der ikke skal opstå hulrum mellem tilslaget i betonen.

### 2.1.7 Hærdeforløb

Når cementpastaen er blandet, begynder den at styrkeudvikle sig over et tidsrum. Cementpastaen begynder normalt efter et par timer at få en fast form, det kaldes afbinding. Alt efter sammensætningen begynder styrkeudviklingen at tiltage. Dette er et resultat af kemiske bindinger mellem cement og vand. Normalt har betonen opnået sin maksimale styrke efter 28 døgn mens hærdeperioden fortsætter længe efter, men aftager dog med tiden.

### 2.1.8 Trykstyrke

Beton har en høj trykstyrke og en lav trækstyrk, med mindre der er armering i betonen. Trækstyrken er ikke relevant i denne rapport, men som udgangspunkt siger man, at trækstyrken er 1/10 af trykstyrken (Larsen & Jensen, 2015). Trykstyrken er den maksimale sammenpresning, som et materiale kan udholde uden at bryde sammen. Alt afhængig af prøvevilkårene for trykstyrken, får man forskellige resultater. Trykstyrken kan både findes teoretisk med blandt andet Bolomeys formel<sup>1</sup> (Geiker & Nielsen, 2012), som tager hensyn til vand/cement forholdet og en K-værdi, som er et tal,

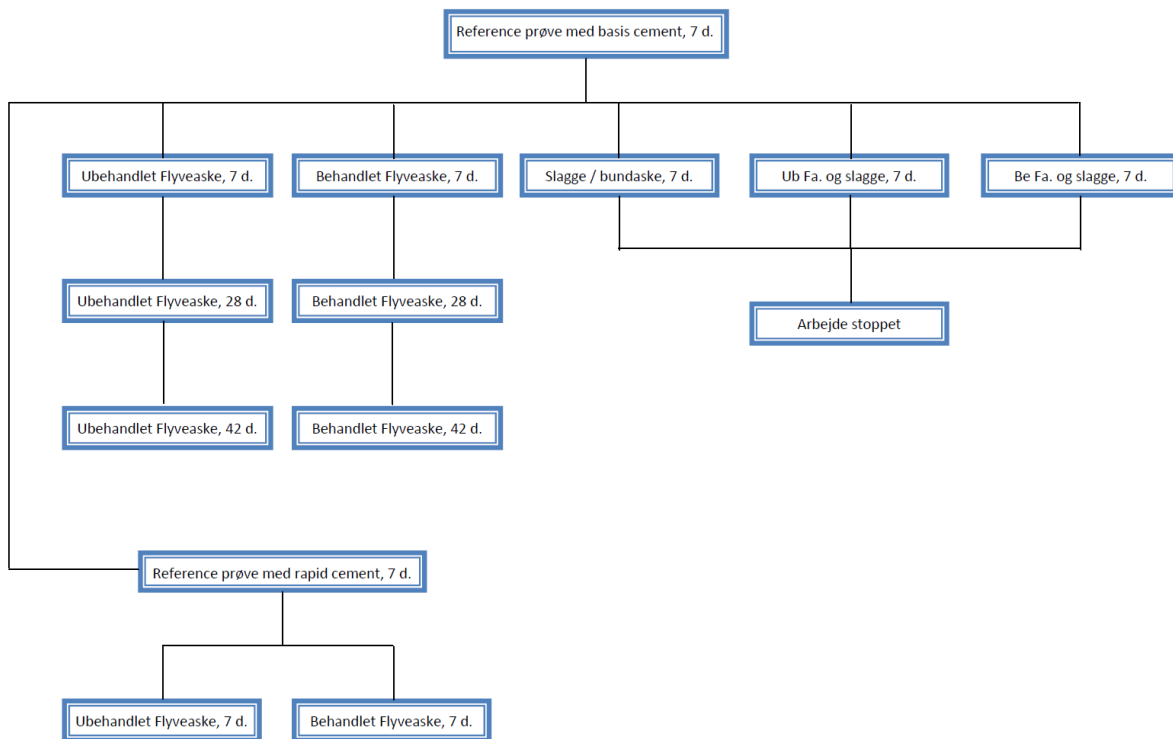
---

<sup>1</sup>  $f_c = K \cdot \left( \frac{1}{v/c} - \alpha \right)$

der er lavet på erfaring alt efter cementtypen. Rent praktisk kan trykstyrken findes ved trykstyrkeforsøg, som benyttet i denne rapport.

### 3 Laboratorium forsøg

For at få et overblik over alle de prøver, der er blevet foretaget i dette projekt, er der blevet udarbejdet et diagram, der viser de valgte kombinationer i figur 4. Screening og fokusområdet er her vist i den rækkefølge, de er blevet udført i laboratoriet.



Figur 4 Udvælgelsesdiagram

Der vil endvidere i dette afsnit blive fokuseret på det praktiske arbejde i laboratoriet. Laboratorieforsøgene kan deles op i tre dele, hhv. de indledende øvelser, screening og fokusområde. Afsnittet er derfor delt op efter denne struktur.

## 3.1 Karakteristik af aske fra Sisimiut

I byen Sisimiut på Grønland findes et forbrændingsanlæg. Anlægget brænder affaldet af fra byens cirka 5500 indbyggere. Efter forbrændingen af affaldet opstår et biprodukt i form af fjernvarme, men der opstår samtidigt et restprodukt i form af flyveaske og bundaske, som er svært deponerings-bare. Da der på nuværende tidspunkt ikke er et affaldssystem, hvor affaldet bliver sorteret, indeholder flyveasken og bundasken en masse forskellige stoffer blandet andet i form af tungmetaller. Der skal desuden gøres opmærksom på, at flyveasken fra Sisimiut har en meget karakteristisk sort farve, det betyder at mørtelen, der kommer ud af blandingen også er sort, både for den ubehandlede og den behandlede flyveaske.

### 3.1.1 Aske typer

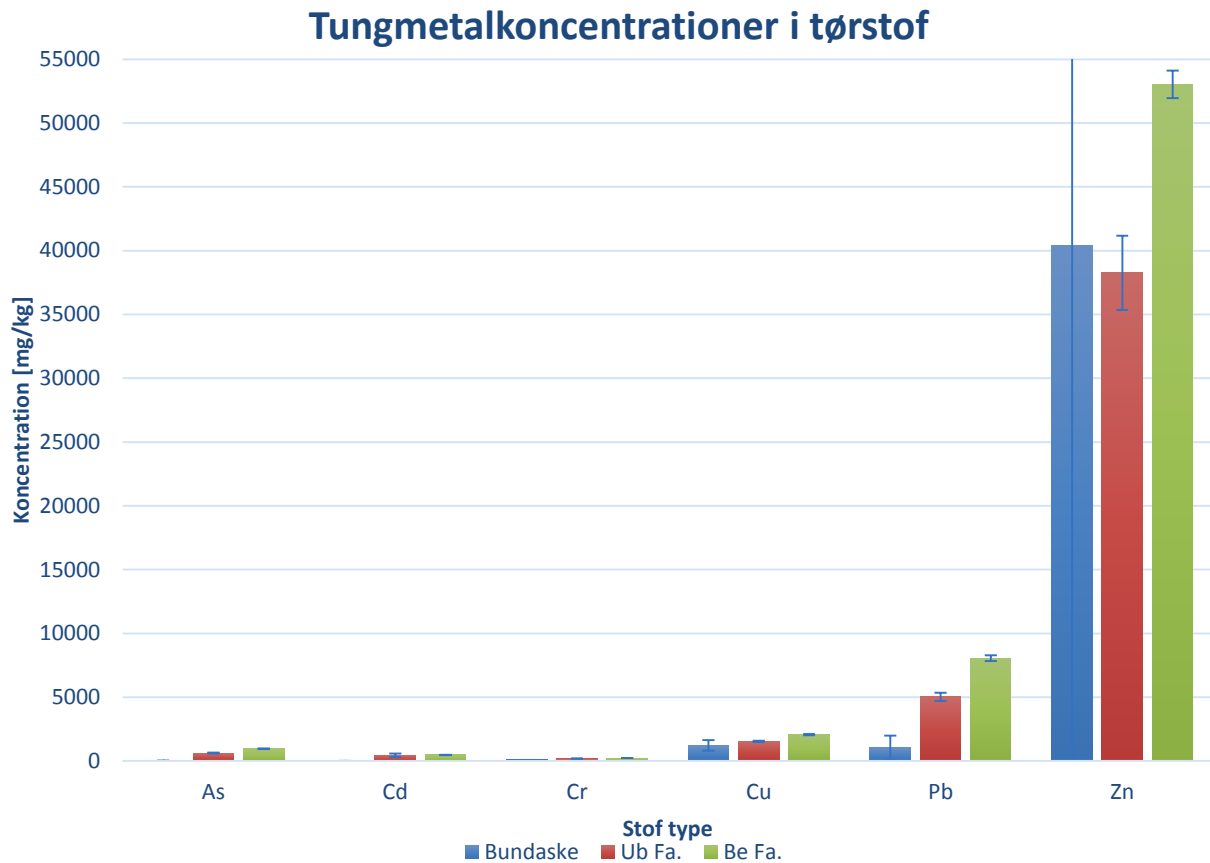
Det er tidligere blevet beskrevet, at denne rapport arbejder med behandlet og ubehandlet flyveaske samt bundaske. Disse tre asketyper har i forvejen være behandlet og opbevaret på DTU. Derfor er der ved tidligere arbejde med disse aske blevet lavet karakteristisk. Dette arbejde har jeg valgt at genbruge for at kunne fokusere på trykstyrkeforsøg. Af det tidligere arbejde er der brugt resultater fra Lektor Kirkelund, G. M. (Bilag 5+6) og tidligere studerende Olsen, R. J og Hansen, M. M. W. (Olsen, 2013). Der er i denne rapport derfor ikke blevet lavet en dybdegående analyse af indholdet i askerne.

### 3.1.2 XRF og metalkoncentrationer(ICP)

Der er to målinger af indholdet i askerne. Forskellen er finheden i målingerne, en ICP kan lave meget fintfølede målinger, mens XRF'en er lidt grovere.

Ved ICP-forsøget er målt indholdet af metaller i bundasken, ubehandlet og behandlet flyveaske. Som det ses af figur 5 er mængden fundet og stillet op i et søjlediagram for at sammenligne indholdet fra de 3 prøver. Værdierne er ikke fundet ud fra denne rapport, men er fra tidligere forsøg bilag 6. Det er derfor ikke sikkert, at det er præcis samme indhold, som askerne, der er forarbejdet i denne rapport. Det interessante ved asken fra Sisimiut er indholdet af tungmetallerne Zn og Pb. Begge disse metaller er ikke vandopløselige. Indholdet af Zn er cirka 6,5 gange større ind indholdet af Pb i den behandlede flyveaske, den samme tendens er også gældende for den ubehandlede flyveaske og bundasken. Ved alle de testede stoffer var det den behandlede flyveaske, der havde højeste indhold af Zn. Bundaskens

værdier var lavest ved alle stoffer, undtagen ved Zn, men her er variationen af målte data også med en meget stor spredning. Tallene her er derfor lidt svære at konkludere noget ud fra.



Figur 5 - Koncentration af tungmetal

XRF er en grundstofanalyse ved røntgenfluorescenceteknik (Technology, 2015). Det er en effektiv og billig måde, at måle indholdet af de askedannede grundstoffer. I figuren herunder er den brugt for at finde elementfordelingen i den ubehandlede flyveaske, den behandlede flyveaske og bundasken. Herved er oxiderne blevet målt i en procent fordeling. Det mest interessante er indholdet af Cl, da dette tal er væsentligt større end de tilladte værdier i cement.

% oxider	Ub. Fa	Be. Fa	Bundaske	Portland cement	Krav
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2	6,6	7,35	5,04	
Si <sub>2</sub> O	4,9	10,5	36	18,76	> 70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	1,4	5	4,42	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6	1,6	1,7	0,08	-
MgO	0,6	2	1,7	2,16	< 4
MnO	0,0	0,05	0,2	0,02	-
Na <sub>2</sub> O	16,2	3,1	2	0,27	< 5
K <sub>2</sub> O	8,9	2	1	1,01	
CaO	25,2	30,8	39	59,07	< 10
SO <sub>3</sub>	3,0	4,7	1,7	0	< 3
TiO <sub>2</sub>	0,9	1,3	2,8	0,37	-
Cl	23,0	3	0,5	0	-

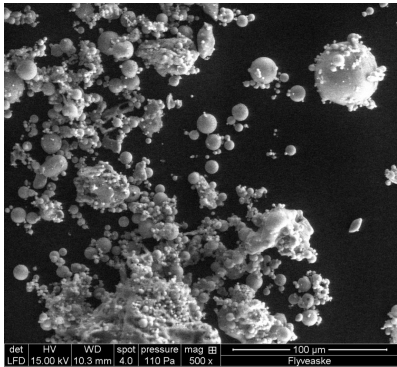
Figur 6 - Resultater fra XRF scanning sammenholdt mod Portland og krav

Figur 6 viser overgangen fra ubehandlet til behandlet, samt hvordan indholdet af Cl falder fra 23 til 3 procent. Dette er en væsentlig forbedring. Som det kan ses, er der ikke nogen Cl i Portland cement. Det er nemlig skadeligt for armering i beton, hvis der er indhold af Cl. Indholdet af Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> og Si<sub>2</sub>O og Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> stiger fra den ubehandlede til den behandlede. Dette er også meget positivt, da den igen kommer tættere på referencen. Stofferne er også blevet sammenlignet med DS/EN 450-1. Dette er kravene for flyveaske til beton. Ingen af de 4 prøver overholder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> og Si<sub>2</sub>O og Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -kravene om, at den samlede værdi af disse skal ligge på over 70 procent. Den ubehandlede prøve overholder heller ikke krav om at Na<sub>2</sub>O plus K<sub>2</sub>O skal samlet være under 5 procent. Ingen af prøverne med CaO overholder grænseværdien på 10 procent. Den behandlede prøve for behandlet flyveaske overholder heller ikke krav om at ligge under 3 procent. Ellers er resten overholdt.

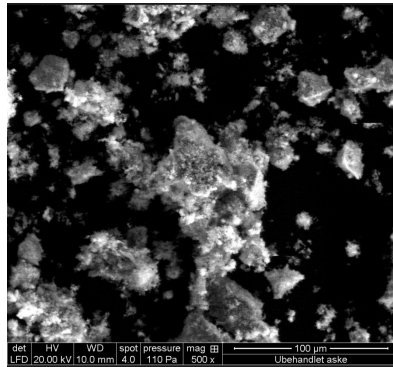
### 3.1.3 SEM og laserdiffraktometer

For bedre at kunne forstå opbygningen af askerne, er der blevet udført to typer analyser af askesammensætningen. Den første er SEM som står for Scanning Electron Microscope. Dette er en metode, hvor der bliver taget billeder af askeoverfladen. Det fungerer således, at der bliver lavet et vakuum indeni FEI Quanta 2000. Dette gøres for at stabilisere ionerne, som opfanges og bliver til billeder. På SEM scanneren er der tre indstillinger: High Vakuum, som er beregnet til meget hårde prøver såsom metal. Low Vacuum til en mellemting, såsom aske. Den sidste er ESEM, den fungerer til mere blødt materiale såsom træ. Der er blevet lavet SEM på tre forskellige prøver. Den ubehandlede og den behandlede flyveaske fra Sisimiut er blevet holdt op imod en standard kulflyveaske. Der er

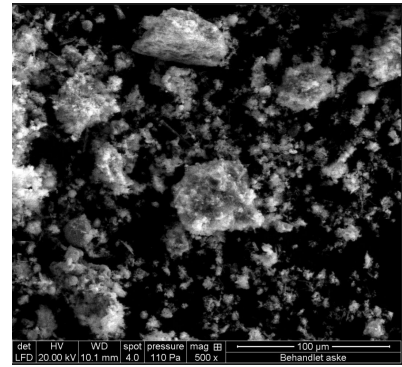
blevet taget billeder i to formater. Både en forstørrelse på 500 og 1500 gange. Alle billederne kan findes i Bilag 9.



Figur 7 – Standard X 500



Figur 8 - Ubehandlet X 500

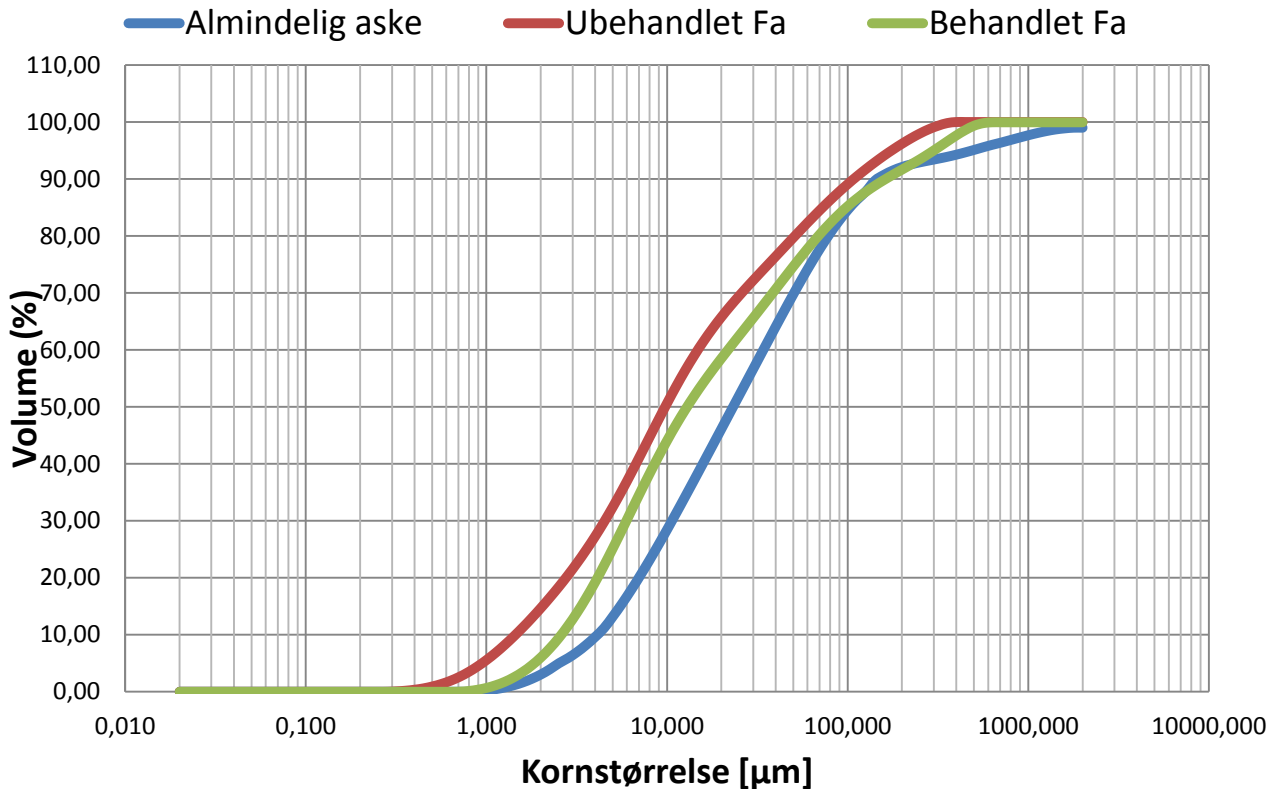


Figur 9 - Behandlet X 500

Figur 7(billedet til venstre) viser strukturen på en standard kulflyveaske. Formen på kulflyveaskens partikler kan beskrives som sferiske i forskellige størrelser med meget ensformighed i opbygningen. Figur 8(billedet i midten) er et billede af ubehandlet flyveaske. Der kan tydeligt ses mineraler, som er alle de områder, hvor der er meget lyst. Desuden kan der i periferien af de forskellige knolde ses tynde tråde og krystaller, disse tråde kunne være salte. Den sidste figur 9(billedet til højre) er behandlet flyveaske. Strukturen her er også meget knoldet. Der er blevet frigivet en masse elementer det kunne skyldes, at det er blevet behandlet og trukket lidt fra hinanden. I det behandlede ses også tydelige mineraler i de hvide områder. Ved at sammenligne standard kulflyveasken med den behandlede og ubehandlede flyveaske, er det første som gør sig udslagsgivende overfladearealet. Arealet på partiklerne i kulflyveasken er væsentligt mindre end hos de to andre asker. Dette vil have en betydning i forhold til reaktionstiden med cement og vand i en betonblanding.

Den anden analyse af askerne, er blevet foretaget for at få en mere dybdegående og præcis sammensætning af partiklerne i askerne. Disse forsøg er blevet udført med et laserdiffraktometer, hvor askernes kornstørrelse bliver bestemt. Der er blevet foretaget tre gentagelser på hver af prøverne. Der er igen tale om almindeligt kulflyveaske samt ubehandlet og behandlet flyveaske. Prøverne er blevet lavet i samarbejde med laborant Grønvold, M. Det indsamlede data er opgivet i bilag 8. Ud fra dataen er foretaget beregninger som resulterer i en akkumuleret kornkurve, som ses herunder i figur 10.

## Kornkurver for Sisimiut



Figur 10 Kornkurver for alm, ube og be flyveaske

Det interessante ved figur 10 er, at den viser, at både den ubehandlede og behandlede flyveaske har finere korn og partikler end den konventionelle kulflyveaske. Dette betyder, at der er flere korn, ubehandlet og behandlet, pr. vægt end almindeligt flyveaske. Dette underbygger at overfladearealet har en betydning for reaktionens hastighed, hvilket SEM påviser. Over hele intervallet er den ubehandlede flyveaske markant finere end de to andre. Det at den behandlede flyveaske er grovere kan skyldes en kemisk reaktion under behandlingen. Det kan forklares med, at kornene har lavet en form for gitterstruktur. Det kan på SEM billedet for behandlet aske ses, at partiklerne ligger tæt på hinanden. Mens der ved den ubehandlede aske var store områder, hvor der ikke var noget stof. Dette betyder at den ubehandlede flyveaske vil reagere hurtigere end den behandlede flyveaske.

### 3.1.4 Vandindhold

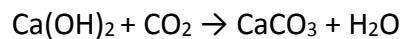
Ifølge DS/EN 196-1 skal mørtelprøverne indeholde og må afvige med følgende 450 gram cement  $\pm 2$  gram, 1350 gram sand  $\pm 5$  gram og 225 gram vand  $\pm 1$  gram afvigelse. For at overholde disse værdier,



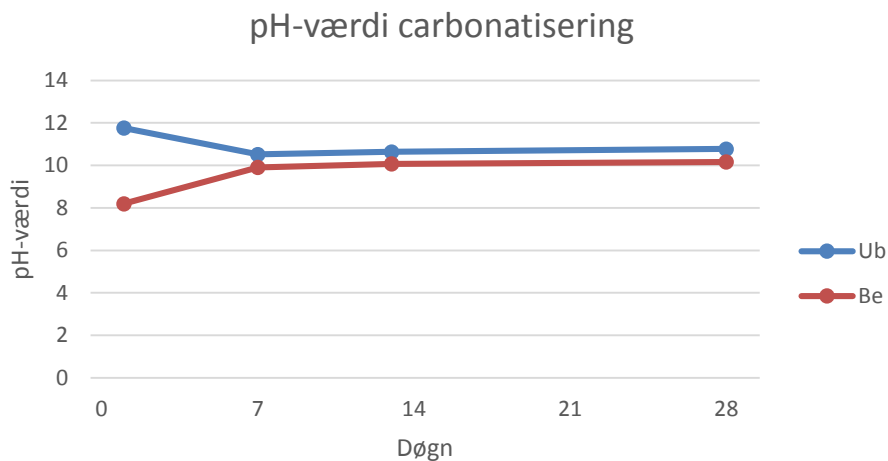
er der blevet udført nogle mindre laboratorieforsøg. De forskellige ingredienser (asker, bundasker og cement) vejes i et lille bæger og sættes herefter i en ovn ved 105 °C. Efter at have stået minimum 16 timer i ovnen, tages prøverne ud og vejes igen. Forskellen i vægten viser indholdet af vandet i prøverne. Se forsøgsbeskrivelse i bilag 14. Efter et par forsøg forelå et brugbart resultat indenfor den accepterede afvigelse på 10 procent. Vandindholdet i de forskellige prøver kan findes i bilag 3. Alt det sand der har været anvendt i mørtelprøverne er blevet tørret på samme måde som prøverne foroven, ved 105 °C i minimum 16 timer. Herefter er det blevet hældt over i en lufttæt plastikspand med låg. Herved har det kunnet holde en fugtighedsprocent på så godt som nul.

### 3.1.5 Carbonatisering

For at få en ide om hvilken pH-værdi den ubehandlede og behandlede flyveaske har, er der blevet lavet et carbonatiseringsforsøg. Her bliver asken tilsat vand, hvorefter vand, luft og aske indgår i en kemisk reaktion. Carbonat-ionerne reagerer med Ca-ioner som fører til følgende reaktionsdiagram:



Askens pH-værdi har en betydning, da denne rapport arbejder med cementerstatning. Der er forskel på cements pH-værdi, men den ligger normalt omkring pH 13.



Figur 11 pH-værdi af Ub og Be aske ved carbonatisering

Ud fra forsøget er den ovenstående figur 11 kommet til. Her kan man se, hvordan den ubehandlede flyveaske starter med en pH på 11,76 hvorefter den bevæger sig nedad og ender med en pH på 10,77. Den behandlede flyveaske stiger derimod fra en pH 8,2 og op til en pH 10,16. Det, der er spændende,

er at se, hvordan de to prøver udlignes. Den største ændring ses inden for de første 7 døgn. Det vil derfor være interessant at undersøge denne del, for at se om reaktionen tager 2 timer eller nogle dage. For som det fremgår nu, er det inden for den første uge, at der sker en reaktion. Derefter følger den ubehandlede og den behandlede carbonatiserede flyveaske hinanden meget nært over den resterende periode. Som tidligere nævnt er det spændende at se, hvordan pH-værdien ændrer sig. Det svarer til, at når aske og cement blandes og indgår i en kemisk reaktion, så vil pH-værdien falde. I dette forsøg har det en lille betydning, for der arbejdes kun med 5% cementerstatning. Men hvis der havde været store mængder aske i, kunne det i værste tilfælde betyde, at eventuelt indbygget armering ville kunne begynde at korrodere ved den lavere pH-værdi. Efter målingen af pH-værdien blev resterne fra prøverne tørret i en ovn, hvorefter asken fra den ubehandlede og behandlede flyveaske er indgået i nogle mørtelprøver og tryktestet. Dette vil blive belyst under afsnittet fokusering.

## 3.2 Screening af muligheder

Dette afsnit vil fokusere på de første forsøg der blev undersøgt. De opnåede resultater bliver præsenteret og diskuteret. Sammen med Ottosen, L. M. og Kirkelund, G. M. blev der udvalgt seks forskellige mørtelblandinger med en hærdetid på 7 dage.

### 3.2.1 Mørtelprøver

For at få et overblik af de forskellige askers indvirkning på beton, er der blevet lavet mørtelprøver. Disse er blevet blandet efter forskriften i DS/EN 196-1. Forsøgsbeskrivelsen kan ses i bilag 17. Mørtelprøverne er blevet lavet i betonlaboratorium på DTU under kyndig vejledning af betontechniker Leth, P. Mørtelprøverne er først blevet blandet, derefter lagt i forme, vibreret og afrettet. Efter et døgn's hærdetid er prøverne blevet afformet og lagt i et vandbad. Prøverne er blevet navngivet efter hærdetid og indhold. Da mørtelprøverne har en lille dimension 40 x 40 x 160 mm. Har prøverne været overdækket med plastfilm lige efter støbning for at prøverne ikke skulle udtørre for hurtigt og dermed revne i overfladen. Der har været en jævn temperatur i betonlaboratoriet på 24,5 °C. Temperaturen har meget at sige i forhold til tørringstiden på overfladen af prøverne.

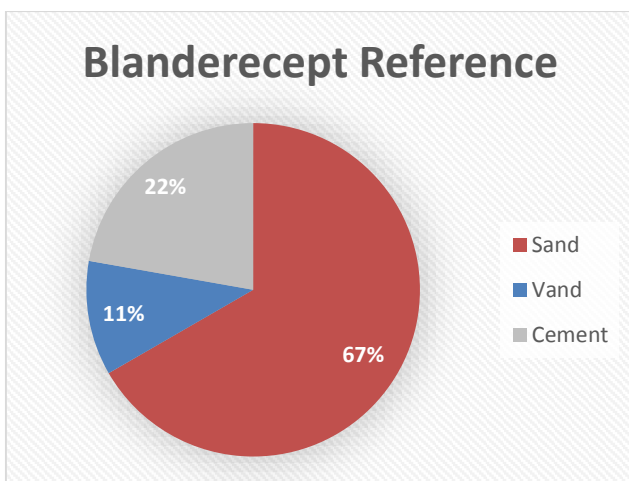
### 3.2.2 Cement og sanderstatning 5%

Der er blevet lavet seks forskellige blandinger i den første del af projektet. Blandingerne indeholder 5% cementerstatning af flyveaske og/eller 5% sanderstatning af bundaske. Der er også blevet lavet en reference til sammenholdelse af blandingerne. Formålet med, at der kun er lavet prøver med 5% cementerstatning og ikke erstatninger med 10 eller 20%, er lavet på baggrund af tidligere afgangsprojekter med cementerstatning. Fra en tidligere rapport<sup>2</sup> vides det, at asken fra Sisimiut kan være vanskelig bearbejdelig. Der er i stedet blevet lavet flere forskellige typer mørtelblandinger. Sanderstatning med bundaske, ubehandlede flyveaske erstattet med cement og som noget helt nyt behandlede flyveaske som cementerstatning. I bilag 2(Blanderecept) er der lavet en oversigt over blandingsforholdet i de forskellige prøver. Her er der særligt fokus på vandindholdet i asken og cementen. Da det får en betydning for blandingen i betonlaboratoriet, når mørtelprøver skal blandes sammen.

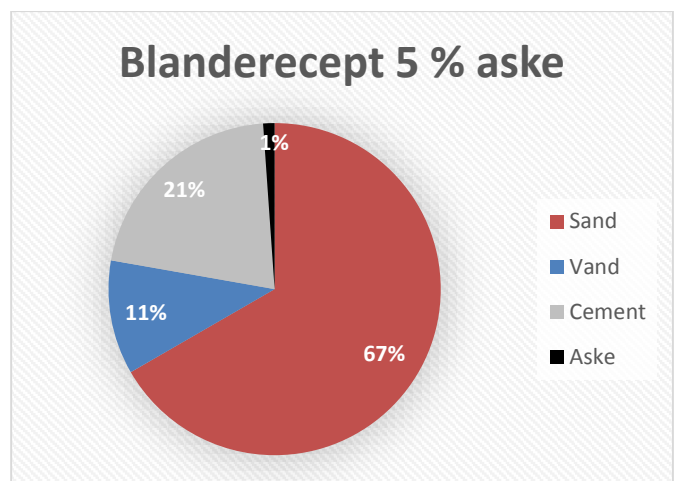
---

<sup>2</sup> Olsen, R.J.; Hansen, M.M.W (2012). Anvendelse af alternative asker i beton. Med fokus på grønlandsk flyveaske.

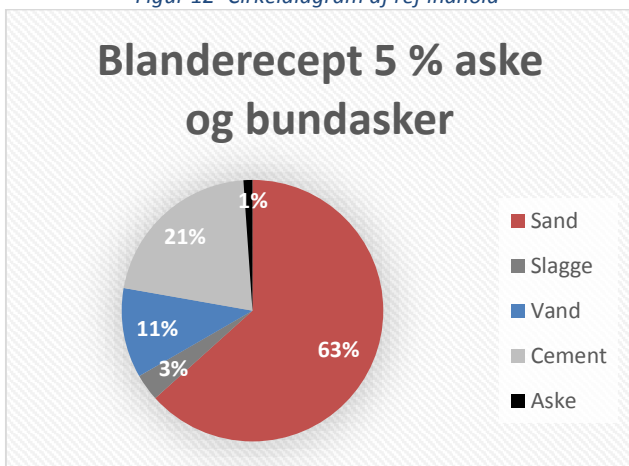
Nedenunder er der lavet cirkeldiagrammer for de forskellige kombinationer af mørtelprøver. Figur 12(øverst til venstre) viser forholdene i en standard referenceprøve. Mens figur 13(øverst til højre) er med en erstatning af 5% cement for både ubehandlet og behandlet flyveaske fra Sisimiut. Som figuren viser, er det ikke mere end 1% af den samlede masse, der er aske. Lidt længere nede er figur 15(nederst til højre) er der blevet lavet en erstatning af sand med bundaske. Da der er en større del sand end cement betyder det også, at den samlede andel bundasker på 3% er større end asken fra før på 1%. Til sidst er der figur 14(nederst til venstre), her er lavet en kombination mellem aske og bundasker. Der er her en cementerstatning på 5% aske og en sand erstatning på 5% bundasker.



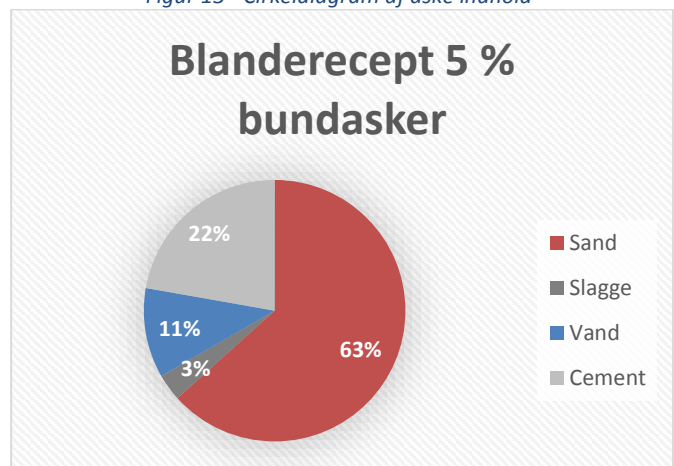
Figur 12- Cirkeldiagram af ref indhold



Figur 13 - Cirkeldiagram af aske indhold



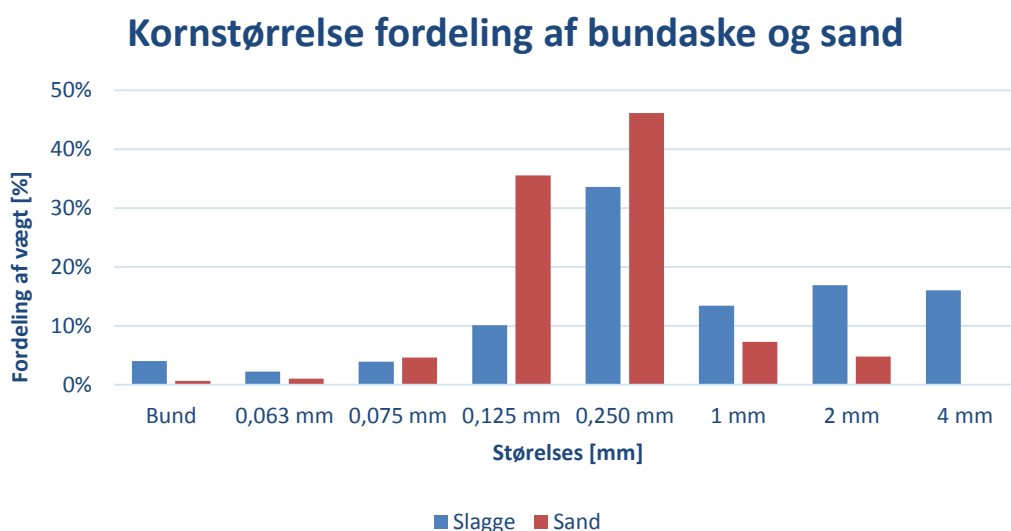
Figur 14 - Cirkeldiagram af aske og bundasker



Figur 15 - Cirkeldiagram af bundasker

Forholdene er blevet udregnet ud fra vandindholdet i asken og cementen. Proceduren for blandingen af mørtelprøverne er som følgende: Alle ingredienser afvejes på en teknisk vægt. Der er en accepteret afvigelse på forholdene. Cement må afvige med  $\pm 2$  gram, sand må afvige med  $\pm 5$  gram og vandet må

varierte med  $\pm 1$  gram. Bundasken var meget grov i strukturen, derfor skulle den sigtes for at have samme forhold som sandet i kornstørrelsen. Dette vil sige, at alle de korn, der var over 4 mm. i bundasken, blev sorteret fra og indgår derfor ikke i mørtelprøven. Herved var det kun dele i samme størrelse, som søsandet 0-4 mm, der blev brugt til prøven. Nedenunder i figur 16 er fordelingen af bundasken og sandkorn vist. Det kan ses, at der er en stor variation i fordelingen. Bundasken er forholdsvis bredt fordelt over hele skalaen med en enkelt afstikker ved 0,250 mm. Sandet er mere koncentreret ved 0,125 og 0,250 mm. korn. Da bundasken skal bruges som sanderstatning, skal kornstørrelsen helst være så identisk som muligt. Det kan give en indikation af, hvordan trykprøverne vil arte sig.



Figur 16 - Sammenligning af kornstørrelse i bundaske og sand. Data er opgivet af lektor Kirkelund, G. M. og EC.

For at blande cement, aske, vand og sand sammen bruges HOBART 2. Det er at foretrække, at der benyttes den samme røremaskine til alle prøver for at undgå fejlkilder. Når blandingen er færdigrørt, tages den ud til vibrationsbordet. Ved vibrationsbordet er der klargjort en støbeform, hvorpå der er blevet påført formolie. Olien er med til at prøven nemmere kan slippe formen. Når formen er fyldt, vibreret og afrettet sættes den til tørring med et stykke plast over. Grunden til at prøven overdækkes er, at undgå at prøven tørrer for hurtigt ud. En for hurtig udtørring kan forårsage revner og dermed vil prøven have en dårligere styrke. Selve formen er lavet således, at der er tre prøver i en form. Billederne figur 17, 18 og 19 illustrerer udstyret i betonlaboratoriet.



Figur 17 - HOBART mørtelblander



Figur 18 - Sigtning af bundaske



Figur 19 - Mørtelform med indhold

Prøverne bliver taget ud af formen et døgn efter de er færdigstøbt. På prøverne noteres, hvad der er i dem, og hvornår de skal trykprøves. Herefter bliver de lagt over i et kar med tempereret demineraliseret vand. Mørtelprøverne kommer ned i et kar for sig selv, for at vandet, hvor de andre prøver er, ikke bliver påvirket af den anvendte flyveaske i dette forsøg. Herefter skal hærdningsprocessen have lov til at virke, hvorefter mørtelprøverne bliver trykprøvet.

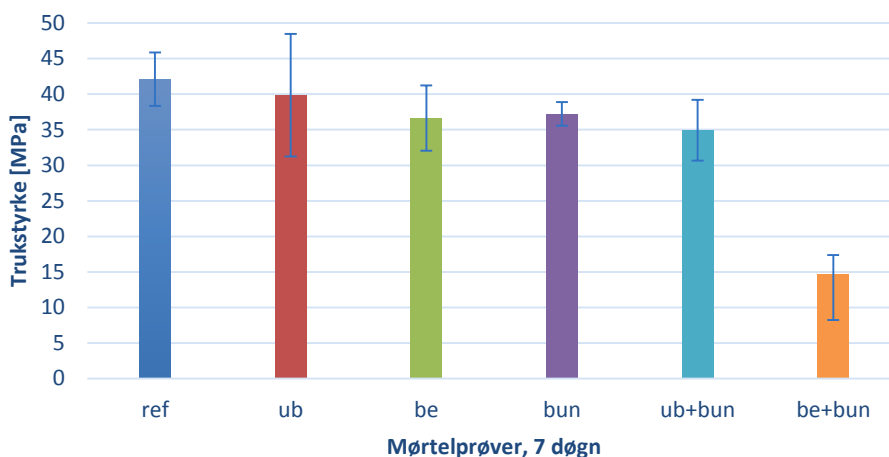
### 3.2.3 Trykprøvning

Formålet med de seks mørtelprøver<sup>3</sup> var at kunne udvælge de prøver, som havde de bedste resultater. Til fokuseringsafsnittet er derfor udvalgt de prøver, som efter en hærdetid på 7 døgn har opnået den højeste trykstyrke, hvilket herefter er blevet tryktestet på TONI 3000. Prøverne er i screeningfasen hærdet i 7 døgn. Det er blandingsforholdene, som kan ses i bilag 2, der er blevet brugt. Mørtelprismerne er blevet trykket på den flade led, hvilket vil sige, at der på hver prisme er blevet lavet to trykprøver. Opstillingen er beskrevet i forsøgsbeskrivelsen for TONI 3000, bilag 18. Efter prøverne er blevet tryktestet og resultaterne noteret, er der blevet omregnet fra kilonewton til megapascal. Der er blevet beregnet en afvigelsesprocent, en nedre og en øvre grænseværdi og til sidst er der fundet et gennemsnit af de forskellige prøvers resultat.

---

<sup>3</sup> Hhv. 1. Referencen, 2. 5% cementerstatning med ubehandlet flyveaske, 3. 5 % cementerstatning med behandlet flyveaske, 4. 5 % sanderstatning med bundaske, 5. 5 % cementerstatning med ubehandlet flyveaske og 5 % sanderstatning med bundaske. 6. 5 % cementerstatning med behandlet flyveaske og 5 % sanderstatning med bundaske.

## Styrkeudvikling for screening



Figur 20 - Resultater for screening, sammenligning af mørtelprøver.

Som figur 20 viser er der stor forskel på de forskellige prøvers trykstyrke. Der er på nogle af prøverne en stor variation af styrken. Den største afvigelse er på 33% og er for den ubehandlede flyveaske prøve.

Hvis der ses på resultaterne fra venstre mod højre, ser de således ud. 1-ref) Den første prøve er referencen, den har en gennemsnitsstyrke på 42,1 Mpa. Det er desuden den stærkeste af de seks testede mørtelblandinger. 2-ub) Herefter er den ubehandlede med en gennemsnits trykstyrke på 39,86 Mpa. Det viser at den ubehandlede flyveaske reagerer hurtigt med cementen og udvikler derfor en god styrke på 7 døgn. 3-be,-bun og ub+bund) De næste tre prøver ligger meget op af hinanden rent styrkemæssigt. Den behandlede har gennemsnitstrykstyrke 36,65 Mpa. Bundasken som er blevet erstattet med sand har en gennemsnitstrykstyrke på 37,21 Mpa. Det er også denne prøve, der har den mindste afvigelse på max 7 % afvigelse i trykstyrken. Kombinationen af ubehandlet flyveaske og bundaske har en gennemsnitlig trykstyrke på 34,93 Mpa. Til sidst er der kombinationen mellem behandlet flyveaske og bundaske. Her er den gennemsnitlige trykstyrke en del lavere end de andre, med en styrke på 14,71 Mpa. Det skal nævnes, at de to prøver med behandlet flyveaske i var svære at afforme efter et døgn. Det vurderes, at de var så bløde, at man uden stor kraft ville kunne trykke en nål igennem disse emner. Alle prøver er dog blevet afformet på samme tid og lagt i vandbad.

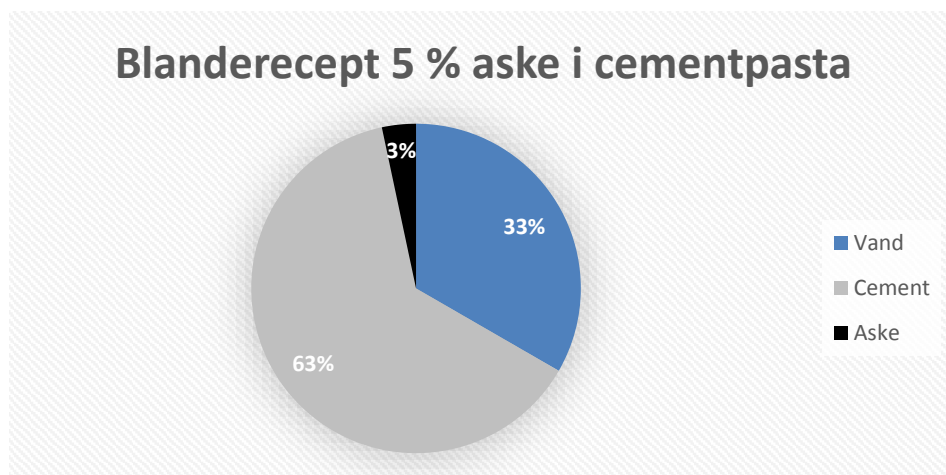
## 3.3 Fokusområde

Efter arbejdet og forsøgene i screeningsperioden er der nogle af sammensætningerne, der virker som værende de bedste at de testede. Dette er grunden til valgte fokusering af videre arbejde over en periode på 42 døgn med sammensætningen 5% cementerstatning af behandlet flyveaske samt sammensætningen 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske. Desuden er der blevet arbejdet med to forskellige typer cement for at se, om det ville ændre hærningstiden. Der er lavet mørtelprøver med det carboniserede aske fra screeningsperioden. Det vil blive belyst, hvordan de forskellige kombinationer har artet sig.

### 3.3.1 Mørtelprøver

Mørtelprøverne til trykprøverne er blevet lavet efter samme forskrift, som beskrevet oppe i screeningsafsnittet.

Ved Vicat-forsøget er der dog ikke blevet lavet en mørtel, men i stedet en cementpasta. Cementpastaen har samme vand-cement forhold [v/c], som opskriften for mørtelprøverne. I en cementpasta er der ingen sand tilsat. Forholdet er vist ved figur 21, som viser et cirkeldiagram over blandingsforholdet.



Figur 21 - Blanderecept for cementpasta til Vicat forsøg

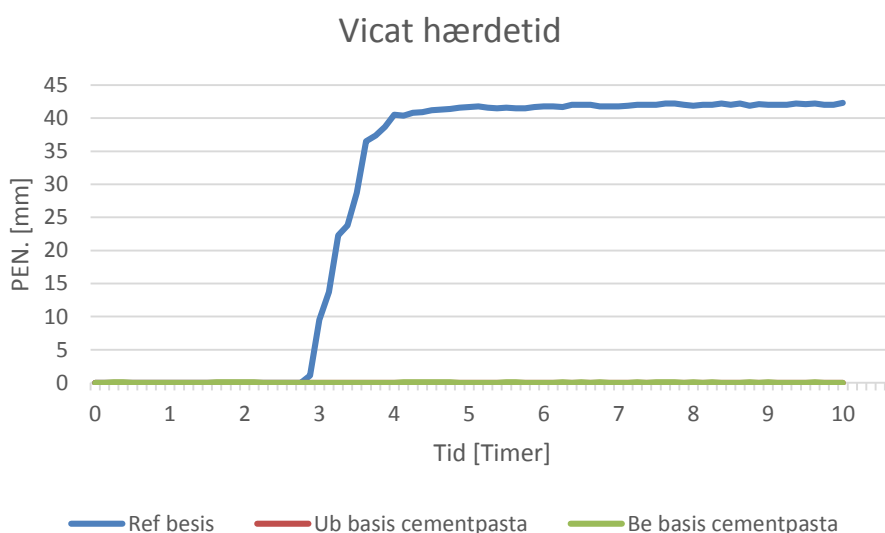


### 3.3.2 Cementerstatning 5%

For at holde den røde tråd med resten af rapporten er der også i de næste prøver blevet lavet en 5% cementerstatning med ubehandlet og behandlet flyveaske fra Sisimiut.

### 3.3.3 Vicatforsøg

For bedre at forstå, hvorfor hærningstiden er så lang på de ubehandlede og behandlede flyveasker fra Sisimiut, er der blevet lavet Vicatforsøg for at se hærningstiden. I Vicatforsøget er der udført emner med ubehandlet og behandlet flyveaske, og for at sammenholde resultaterne er der blevet lavet en reference med basiscement.



Figur 22 - Vicat oversigt af hærdetid for reference, ubehandlet og behandlet flyveaste

Som man kan se, reagerer referencen efter ca. 3 timer, herefter stiger hærningen drastisk og prøven er næsten færdighærdet efter en time. Herefter flader kurven ud. Sammenlignet med de to andre Vicatforsøg med behandlet og ubehandlet flyveaske er der ingen reaktion inden for de 10 timer som forsøget er lavet over. Dette viser, at der er en lang reaktionstid og hærningstid med de to flyveasker fra Sisimiut. Det kunne derfor være interessant at foretage et Vicatforsøg over længere tid for at iagttage prøvernes reaktionstid. Dette vil blive belyst i diskussionsafsnittet.

### 3.3.4 Trykprøvning

Der er blevet fokuseret på fire forskellige delforsøg: Vicat, carbonatisering, rapid-cement og længere hærningstid for behandlet og ubehandlet flyveaske med basis cementerstatning. Efter trykprøverne på TONI 3000 i screeningsafsnittet, måtte der konkluderes, at mørtelprismens placering i opstillingen i TONI 3000 har en stor betydning for resultatet. Der er derfor ved alle prøver i fokuseringsafsnittet blevet lavet en ekstra forholdsregel, at alle mørtelprismer skal trykkes 20 mm. fra side A+B. Dette vil rent praktisk sige, at der er blevet slået to streger på hver prisme. Figur 23 viser de to streger. Denne streg har været retningslinjen for placeringen af trykpladen på mørtelprøven.

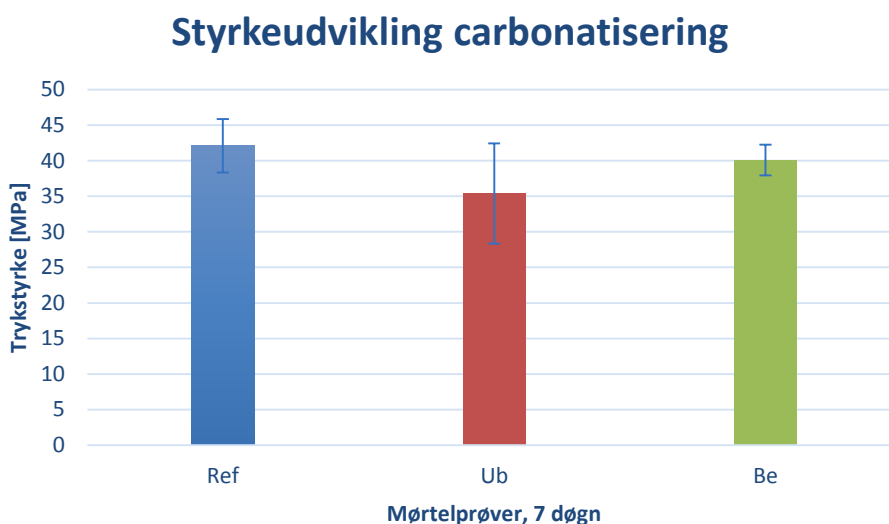


*Figur 23 – Mørtelprisme med markerings streg til trykprøve*

Ved at foretage dette tiltag forventes afvigelsen på trykprøverne at falde, så alle prøver ligger inden for den maksimale afvigelse på 10 procent.

### 3.3.5 Carbonatisering

På baggrund af ændringen i pH-værdien i den ubehandlede og behandlede flyveaske fra carboniseringsforsøget, er der blevet lavet nogle tryktest af mørtelprøver med asken fra dette forsøg. Efter pH-værdien blev målt, er de to prøver blevet tørret ud i en ovn ved 105 °C i et døgn. Herefter er asken blevet malet med en morter. Det var nødvendigt, da asken efter at have været i ovnen var blevet til en hård fast masse. Herefter kunne mørtelprøverne blandes og efter 7 døgn var prøverne klar til tryktest.

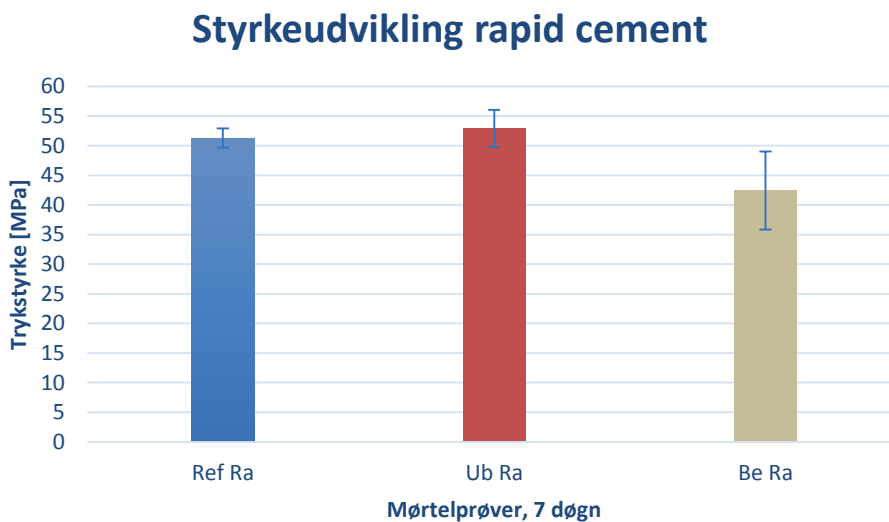


Figur 24 - Styrkeudvikling for carbonatisering, 7 dages hærdetid

Mørtelprismene for ubehandlet og behandlet flyveaske, som har været udsat for carbonatisering, har vist, at den behandlede aske har en mere gavnlig effekt på trykstyrken end den ubehandlede aske. Den behandlede mørtelprøve har en gennemsnitslig trykstyrke på 40,12 Mpa, mens den ubehandlede har en gennemsnitslig trykstyrke på 35,39. Desuden har den ubehandlede prøve en stor afvigelse på op til 25 procent. Interessant nok har den behandlede flyveaske næsten den samme styrke som referencen med en styrke på 42,1 Mpa.

### 3.3.6 Rapid cement

Da det i screeningsfasen var svært at få mørtelprøverne til at hærde efter 24 timer, var det interessant at se, hvilken effekt en rapid cement ville have på mørtelen over en periode på 7 døgn. Resultatet blev at mørtelprøverne var væsentlig nemmere at afforskalle, da de var helt tørre på overfladerne. Efter at have ligget i vandbad i 6 døgn er prøverne blevet tryktestet.

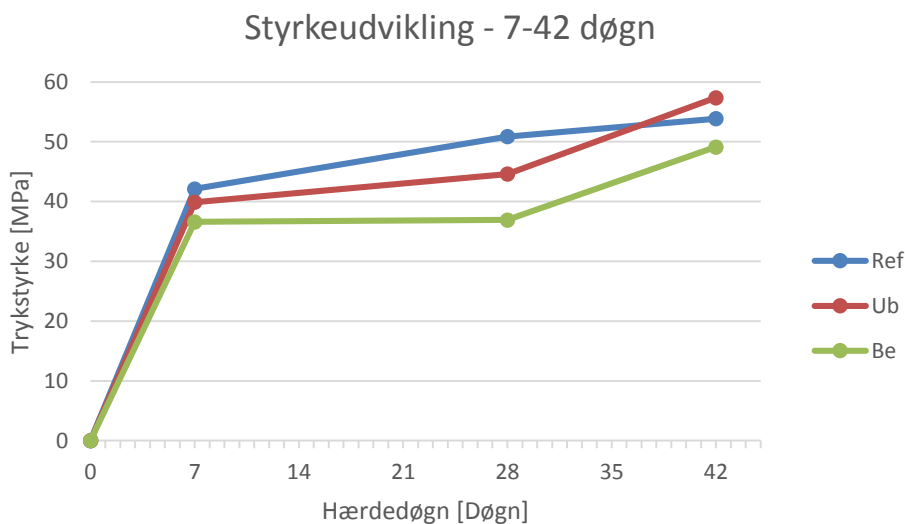


Figur 25 - Styrkeudvikling for trykprøve med 5% flyveaske og rapid cement

Som figur 25 viser er trykstyrken markant større end tidligere 7 døgn-prøver med basis cement. Styrken er fordelt som følger: Reference 51,3 Mpa, ubehandlet 52,9 Mpa og behandlet 42,42 Mpa. Alle styrkerne er gennemsnitslige trykstyrker. Det er her spændende, at den ubehandlede prøve har opnået en større styrke end referencen. Der må derfor være en positiv effekt af, at der er blevet tilføjet 5 procent ubehandlet flyveaske. Tallene ligger dog meget tæt på hinanden, så det er svært at konkludere, hvad den samlede effekt er. Det giver dog en forsmag på, hvad der kan forventes af resultaterne for den lange hærde tid for basis cementen. Den behandlede flyveaske skiller sig meget ud, da den ligger omkring 10 Mpa under de to andre. Desuden har den behandlede flyveaske forholdsvis store afvigelser i trykstyrken med op mod 21 procent afvigelse fra gennemsnits trykstyrken. Det må betyde, at der er en langsommere og dårligere reaktion i denne kombination mellem aske og cement.

### 3.3.7 Lang hærningstid

I den første del af projektet var der et meget bredt fokus. Det blev derfor indskrænket til at arbejde videre med to prøver. En ubehandlet og behandlet 5 procent cement erstatning med flyveaske fra Sisimiut. Der er blevet fulgt op dette, og der er nu lavet en kurve for styrkeudviklingen over en periode på 42 døgn. Det indsamlede data kan findes i bilag 1 og ud fra det kan resultaterne beskrives.



Figur 26 - Styrkeudvikling for Ubehandlet og behandlet flyveaske, 42 døgn

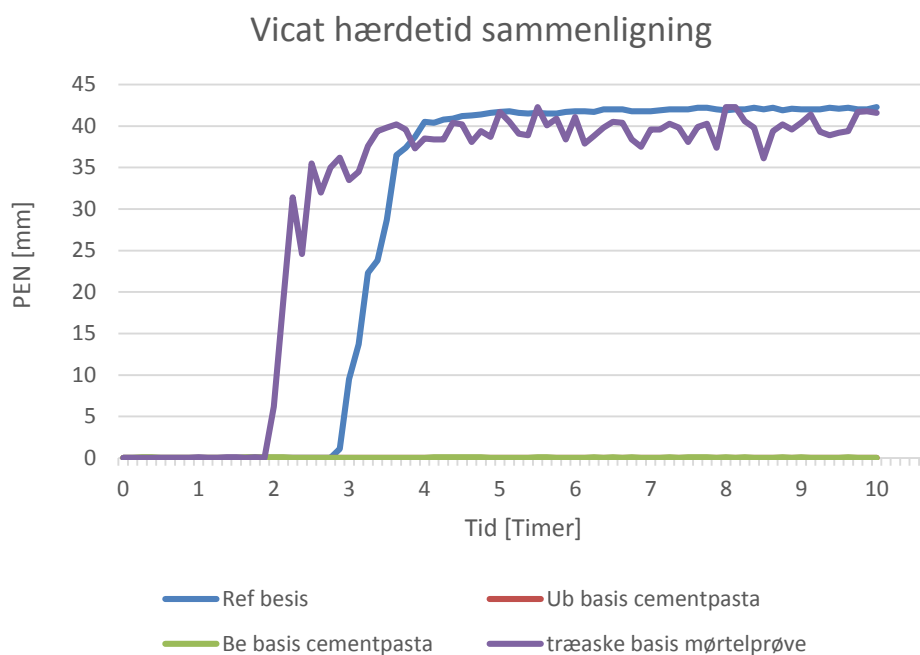
Kurverne for alle tre prøver viser meget flot, hvordan styrken stiger i takt med tiden. Det er de resultater, der var håbet og forventet. Sammenlignes de tre kurver, kan det ses, at referencen ligger i overkanten frem til 28. døgn. Derefter et sted mellem 28. og 42. døgn overhaler den ubehandlede prøve referencen. Mens referencens stigning i trykstyrken løjer af og planer mere ud ved perioden 28. til 42. døgn, fortsætter både den ubehandlede og behandlede prøve med at tiltage kraftigt i den sidste periode mellem 28. og 42. døgn. Det er desuden interessant at se, hvordan de følges meget lineært til sidst. Der må derfor være noget i flyveasken, som gør at reaktionen har den sene styrkeudvikling. Det kan forklares med en sen hærningstid. Det ender med, at de tre prøver har følgende slutstyrke: Reference 53,85 Mpa, ubehandlet 57,36 Mpa og den behandlede har en gennemsnitslig trykstyrke på 49,12 Mpa. Den gode stigning og udvikling med tiden viser sig også i afvigelserne mellem resultaterne. I den sidste trykstyrketest er der kun 4 afvigelser. Dette må betyde, at reaktioner bliver mere homogene med tiden.

## 4 Diskussion

I dette afsnit vil den forelagte data blive diskuteret og sammenlignet med resultater og anden relevant data fra tidligere forskning. Dette er for at få en fast struktur og kunne adskille de forskellige afsnit fra hinanden. Derved burde opgaven være nemmere at læse og hurtigere at forholde sig til.

### 4.1.1 Vicat

Der er blevet sammenlignet med en mørtelprøve 5 % cementerstatning af træaske fra Køge kraftvarmeværk. Den valgte reference for træasken er taget fra rapporten: Anvendelse af alternativ aske i beton af Bonerup, A. H. og Sigvardsen, N. M (Bonerup & Sigvardsen, 2014).



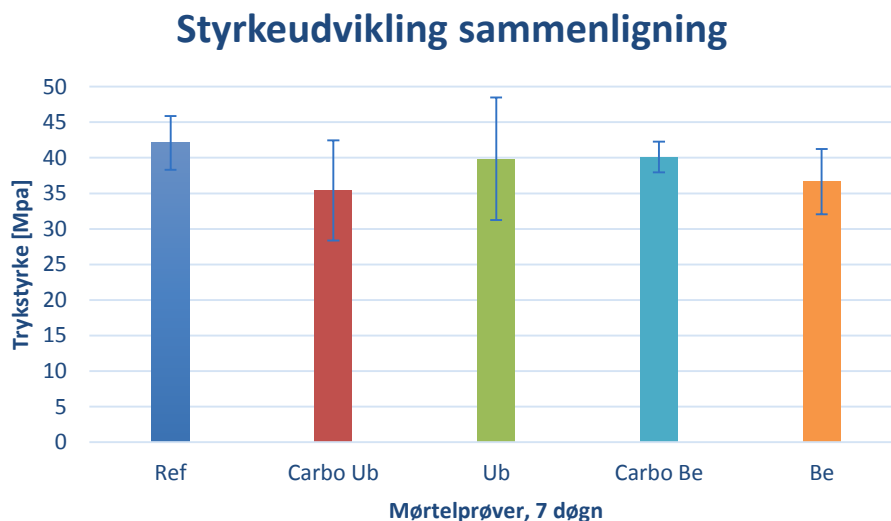
Figur 27 - Vicat sammenligning

Da der i de tidligere forsøg med Vicat har være tilsat søsand i mørtelprøverne, har det ikke været muligt at sammenligne med en cementpastaprøve. Dette vil sige, at de forsøg, der tidligere er blevet beskrevet i denne rapport med Vicat, er lavet med en cementpasta. Altså en blanding uden sand. Der er dog valgt at sammenligne med en mørtelprøve med 5% træaske, hvor der er blevet brugt sand i blandingen. Ud fra figur 27 kan man se, hvordan træaskeerstatningen reagerer hurtigere end referenceprøven. Træasken reagerer en time tidligere end referencen. Som tidligere nævnt i rapporten, er der ingen reaktion i løbet af de 10 timer for den ubehandlede og behandlede prøve.

Derfor ligger disse to helt nede i bunden af kurven, og kan ikke ses af figur 27. Udviklingen i hærdetiden for hver mørtel- og cementpastaprøve varierer meget. Desuden varierer træasken meget i udslagene. Det kan forklares med, at der er blevet brugt sand. Hvis nålen i Vicaten rammer et stort eller flere mindre sandkorn, der er hærdet sammen, kan det bremse nålens penetrering af prøven. Der er dog en reaktion inden for de 10 timer fra træasken. Det er ikke tilfældet for de to prøver fra Sisimiut. Det ville derfor have været en fordel hvis Vicat-forsøgene var lavet over en længere periode. Tidligere bachelorprojekt om alternative asker i beton fra Sisimiut skrevet af Olsen, R. J. og Hansen, M. M. W. beskriver, at der går op til 70 timer, før deres prøver er gennemhærdet. Det kan derfor konstateres, at flyveasken fra Sisimiut er sværere bearbejdelig end træasken fra Køge. Der er dog ikke blevet sammenlignet med resultaterne fra den tidligere rapport fra Sisimiut i dette tilfælde, da der i deres rapport er blevet lavet manuelle Vicatforsøg. Dette giver et forkert billede af udviklingen, da der er store spring mellem målingerne.

#### 4.1.2 Carbonatisering sammenlignet med screening

Der er blevet lavet en sammenligning af styrkeudviklingen fra carbonatiseringsforsøget og fra screeningforsøget. Ved at sammenholde disse prøver kan der ses, hvilken betydning pH-ændringen i de to asker som er blevet carbonatiseret har.



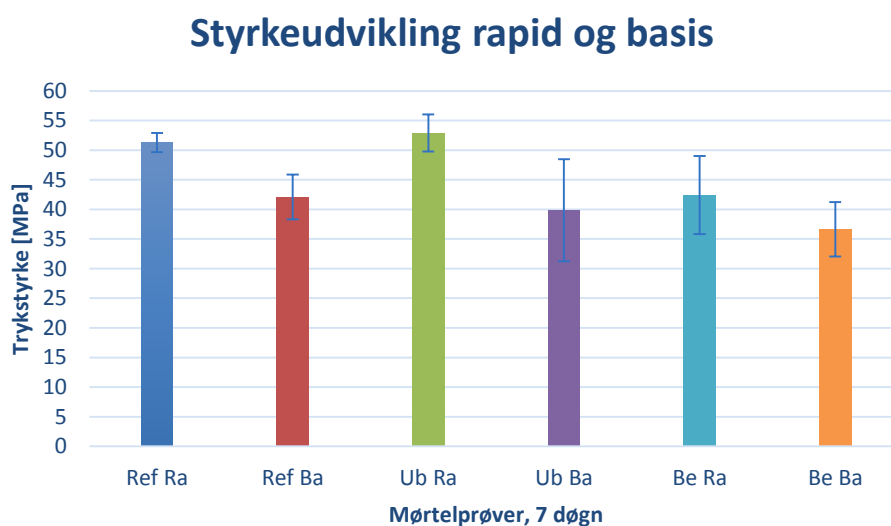
Figur 28 - Styrkeudvikling. Carbonatisering bliver sammenholdt med screening af trykstyrken.

Forskellen i styrken fra de opnåede prøver passer perfekt i forhold til figur 11, hvor der kan ses, hvordan pH-værdien bevæger sig. pH oversigten viser, at den ubehandlede prøves pH-værdi falder

ved carbonatiseringen. Det passer med figur 28, som viser, at mørtelprøven for ubehandlet flyveaske har en højere styrke end den carboniserede aske. Ligeså med den behandlede carboniserede flyveaske, her stiger pH-værdien. Det svarer til, at trykstyrken for den carboniserede behandlede mørtelprøve har en højere styrke end den ikke-carboniserede behandlede flyveaske. Ud fra dette kan det siges, at pH-værdien i asken har en betydning for trykstyrken i mørtelprøverne, den er dog ikke så stor, så det er svært at konkludere den samlede effekt. Det er også interessant at afvigelserne mellem prøverne hænger meget fint sammen. Der er to tendenser, enten reagere prøven før eller efter carbonatiseringen. De to mørtelprøver med ubehandlet flyveaske i har begge tilfælde en stor afvigelse. Mens de to prøver med behandlet aske har en lavere afvigelse i trykstyrken.

### 4.1.3 Rapid kontra basiscement

På baggrund af den forlængede hærdetid for den ubehandlede og behandlede flyveaske er der lavet en sammenligning mellem de to typer cement, basis cement og rapid cement. Dette skal forkorte afformningstiden og forbedre prøvernes styrke. Alle mørtelprøverne har hærdet i 7 døgn og er med en 5 procent cementserstatning. Dette skulle være tilstrækkeligt for at opnå det bedste sammenligningsgrundlag (Olsen, 2013). Som det ses i figur 29 havde ændringen af cementen en betydning for styrkeudviklingen. Det havde også en betydning for afforskallingen. Overfladen var væsentlig forbedret på rapidprøverne. Der er dog stadigvæk en stor afvigelse i trykprøverne for rapidprøverne, særligt for den behandlede rapid-mørtelprøve.



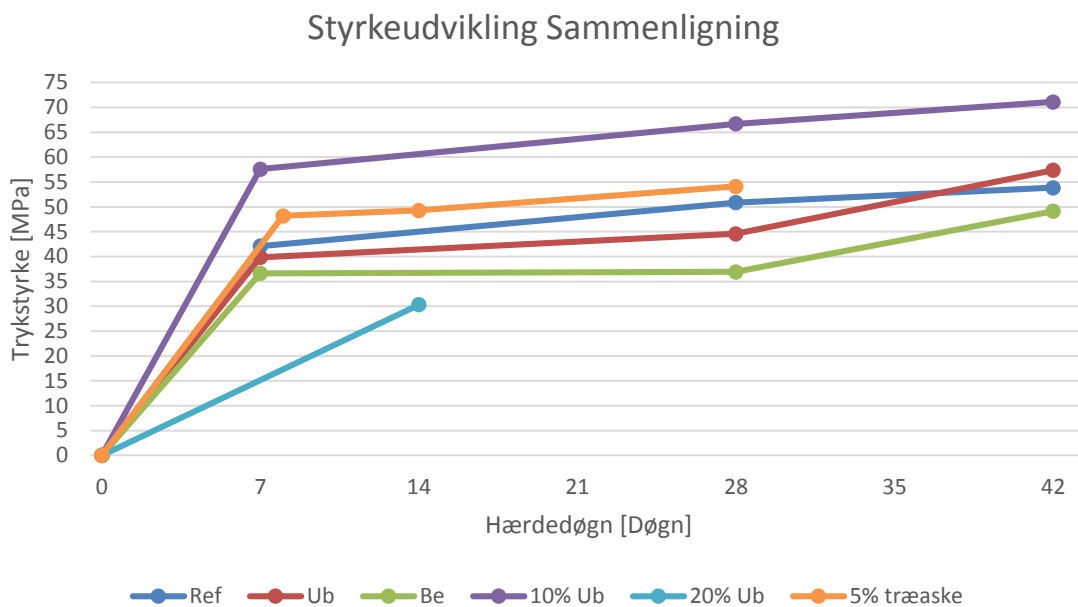
Figur 29 - Styrkeudvikling rapid og basis cement 5%



Det er entydigt, at trykprøverne på rapidprøverne er højere end for basisprøverne. Prøverne er ikke testet på helt samme måde, da det først var efter screeningsforsøget, at markeringen af en ydre linje for trykarealet blev foretaget. Ellers er alle prøver blevet udført i TONI 3000 efter samme opstillingsprincip. Det må derfor siges, at det godt kan betale sig at bruge en rapid-cement, hvis betonen skal afformes efter en kort periode.

#### 4.1.4 Styrke over tid

På baggrund af fokusområdets tidligere forsøgsresultater fra Sisimiut (Alternative asker i beton af Olsen, R. J. og Hansen, M. M. W) og tidligere forsøgsresultater fra Køge kraftvarmeværk (Trykstyrke og densitet for beton ved samtidig og delvis erstatning af cement og sand med træaske skrevet af Hansen, E. Ø. (Hansen, 2015)) er der blevet sammenlignet styrke over tid med forskellige data.



Figur 30 - Styrkeudvikling sammenligning, for flere typer og forhold cementerstatning

Udviklingen af de seks mørtelprøver<sup>4</sup> der ses herover i figur 30 er foretaget efter forskellige hærdedøgn, men kan godt sammenlignes. På nær træasken er alle prøver blevet trykket på TONI 3000. Alle prøver er lavet ud fra DS/EN 196-1, så mørtelprøverne bør også være identiske. På figur 30 i diagrammet kan man se, hvordan mørtelprøverne udvikler sig. Det ses ikke særligt

<sup>4</sup> Hhv. 1. Referenceprøve, 2. 5% cementerstatning med træaskeprøve, 3. 5% cementerstatning med behandlet flyveaske, til sidst er der tre ubehandlede flyveasker med henholdsvis 5, 10 og 20% cementerstatning.

overraskende, at alle prøver får en højere trykstyrke med tiden. Referenceprøven ligger midt imellem resultaterne af styrken, og der ligger to over referencen. Altså den 5% træaske og 10% ubehandlede flyveaske burde være under referencen. Men dette kan skyldes mindre usikkerheder. Det spændende er udviklingsforløbet for de to prøver. De stiger kraftigt i den første periode, så løjer de af og herfra følges alle resultater meget fint henover tiden. Det var dog ikke forventet, at en 10% cementerstatning ville være stærkere end en 5% cementerstatning. Resultatet for mørtelprøven med 20 % cementerstatning taler også for sig selv, den ligger væsentlig lavere end alle de andre prøver. Her er der kun lavet en 14 døgns prøve og det kan derfor være svært at sammenligne, men det giver et indtryk af, at styrken er lavere, jo højere cementerstatningen er. Træasken har vist sig at være stærkere end både den ubehandlede og behandlede mørtelprøve. Træasken er en renere aske type og giver derfor en bedre reaktion med cementen. Samlet er der en god stigning med tiden, og efter de 42 døgn har alle prøverne en meget fin trykstyrke i forhold til referencen. Det skal endvidere oplyses at alle de forsøg, der er lavet i denne rapport, er lavere end dem fra den tidligere rapport (Olsen, 2013) fra Sisimiut, dette skyldes at asken variere fra gang til gang, alt efter hvor prøven er taget fra den store bunke.

## 5 Videre forskning

Dette projekt "Anvendelse af aske fra Sisimiut i beton" er lavet over en periode på 5 måneder. Ved et længere og større projekt, kunne det have været interessant at arbejde videre med flere af de berørte emner, da det har vist sig, at visse dele kunne have været præciseret yderligere.

Blandt andet viste det sig, at der ved carboniseringsforsøget inden for de første 7 dage var en stor udvikling i pH udviklingen. Det kunne derfor være spændende at se nærmere på perioden fra 1. til 7. døgn, og bestemme præcist, hvornår der er en kemisk buffer-reaktion. Herved vil man også få viden om, hvornår flyveasken reagerer i cementpastaen, og man vil kunne bruge dette til styrke-udviklingen og hærdningstiden.

Ved arbejdet med den lange styrkeudvikling viste de ubehandlede og behandlede prøver en relativ kraftig stigning i styrkeudviklingen mellem 28. og 42. døgn. Det ville derfor være en god ide at lave flere mørtelprismer, som kunne blive tryktestet inden for denne periode. Herved vil man få viden om præcis hvornår, den ubehandlede flyveaske overstiger referencens trykstyrke. Det kunne også være spændende at fortsætte forsøget i en længere periode for at få en forståelse af, hvor længe de to prøver med ubehandlet og behandlet flyveaske fortsætter med at udvikle trykstyrken. Det er tydeligt, at de to prøver har en sen styrkeudvikling. For at gøre trykprøverne med stor variation mere saglige, burde disse laves om flere gange, da man dermed vil opnå en større mængde data, som kan sammenlignes.

Endvidere kunne det være interessant at male bundasken for at opnå en bedre reaktion med cement. Herved ville bundasken bedre kunne sammenholdes med en cementerstatning af flyveaske. Jo finere asken er, jo hurtigere og bedre en reaktion. I forbindelse med bundasken kunne det også være en ide at sortere kornstørrelsen, således at den ved en sanderstatning havde præcis den samme sammensætning af korn fra sand. Herved ville materialet være mere identisk med hinanden. Dette kunne have en betydning for sammensætningen af tilslaget ved store mængder sanderstatning af bundaske.

Et andet emne at forske videre i kunne være alternative armeringstyper, som kan bruges i beton med flyveaske fra Sisimiut. Grundet indholdet af blandt andet Cl, kan flyveasken ikke anvendes til almindelig armeret beton. Herved ville flyveasken blive mere anvendelig inden for byggeri.

## 6 Konklusion

Arbejdet i rapporten har haft udgangspunkt i aske fra byen Sisimiut på Grønland. Der er blevet arbejdet med flyveaske, hhv. en ubehandlet og en behandlet, samt bundaske fra et forbrændingsanlæg i Sisimiut.

Screeningsforsøgene viste, det var fordelagtigt at viderearbejde med kombinationerne 5 % cementerstatning af ubehandlet og 5 % cementerstatning af behandlet flyveaske. Dette var resultatet af 18 mørtelprismer, der blev tryktestet. Ved støbning af de første mørtelprøver var det dagen efter synligt, at mørtelprøverne, særligt med kombinationen af både cement og sand erstatning, havde svært ved at tørre ud. Dette viste sig også ved trykprøverne, hvor disse prøver var mere porøse end de andre.

De trykprøver, der er udført efter 7 døgn, har vist, at den ubehandlede flyveaske har en stor variation i styrken, undtagen for prøven hvor basiscementen er skiftet ud med Rapid. Over længere perioder altså ved 28 og 42 døgn-prøverne, er det prøverne med behandlet flyveaske i, der varierer mest i styrken. Dette betyder at rapid-cementen sætter hurtigere gang i de kemiske reaktioner. Ved basis-cementen tager det længere tid, før reaktionen starter for flyveasken. Dette er hovedresultatet for trykprøve-forsøgene. Ved basis-cement er der en sen styrkeudvikling, mens rapid-cementer speeder hastigheder op for reaktionerne.

Ved carbonatiseringsforsøget viste resultaterne, at pH-værdi falder for ubehandlet flyveaske og stiger for behandlet flyveaske et sted mellem 1. og 7. døgn. Det kan påvirke, hvordan cementen reagerer med asken. Der kan også være en forklaring på, at asken er svært forarbejdelig. Når der siges "svært forarbejdelig" menes, at hærdnings- og styrkeudviklingen ligger forholdsvis sent for de mørtelprøver, hvor der har været iblandet flyveaske fra Sisimiut.

Ved prøverne med 7 døgn hærdeperiode for rapid-cement og ved forsøgene med basis-cement for lang hærdeperiode, er det den ubehandlede prøve, der opnår den største styrke. Det kan derfor konkluderes, at det vil være mest gavnligt for at opnå så stor en styrke som muligt med flyveaske fra Sisimiut at bruge den ubehandlede flyveaske som erstatningsmateriale for cement.

Betonen skal ikke bruges til bærende konstruktioner. Betonens lave pH og indholdet af mineraler, blandt andet Cl gør, at betonen ikke beskytter armeringen. Desuden opfylder flyveasken ikke kravene fra EN/DS 450-1, og derfor kan det ikke bruges til armering. Det kan i stedet bruges til udfyldning af ikke-bærende fundamenter.

På trods af at overfladearealet på kornene er større på den behandlede og ubehandlede flyveaske end hos kulflyveasken, reagerer kulflyveasken hurtigere. Alt andet lige skyldes dette en kemisk reaktion, som ikke er blevet undersøgt. Den behandlede og ubehandlede flyveaske burde ellers have reageret hurtigere ud fra filosofien med: jo større areal, jo hurtigere reaktion.

Den ubehandlede aske opnår en højere styrke end den behandlede aske, som hele vejen ligger lavere end referencen og den ubehandlede, men til sidst i 42 døgns perioden stiger den behandlede trykstyrke fortsat kraftigt. Hvilket er meget positivt, da den muligvis kan stige endnu mere over længere tid, og derved opnå en styrke, der er ligeså god som en ren basis-cement mørtelprøve. Udfordringen med indholdet af mineraler og tungmetaller i flyveaske fra affaldsforbrændingsanlæg skal dog løses, da værdierne på nuværende tidspunkt er for høje i forhold til EN/DS 450-1 i byggeriet. Det forventes, at målet med nyttiggørelse og salg af askerne som et nyt råmateriale i beton kan opstå inden for overskuelig fremtid, hvilket åbner nye perspektiver for anvendelse af flyveasken i Grønland.

## 7 Litteraturliste

Litteraturlisten er opbygget således, at referencerne står i alfabetisk rækkefølge og er herudover opdelt i hhv. bøger, uddrag fra bøger, artikler og hjemmesider.

### Referencer

- Albinus, J. (2011). *Miljøsikker indretning og drift af lossepladser i Grønland - Eksisterende dumpe og nye affaldsdeponier*. Hentet d.28.05.15 fra:  
<http://www.kanukoka.gl/Portals/0/PDF/Teknik%20og%20milj%C3%B8/Affald/Rapport%20Milj%C3%B8sikker%20indretning%20og%20drift%20af%20lossepladser%20i%20Gr%C3%B8nland.pdf>: Grontmij/ Carl Bro.
- Bonerup, A., & Sigvardsen, N. (2014). *Anvendelse af alternativt aske i beton. Bearbejdelighed og afbindingsforløb*. Kongens Lyngby: DTU Civil Engineering.
- Geiker, M. (2012). D5 Beton. I *Bygningsingeniørernes materialer - uddrag fra Materialebogen* (s. D5.3). København: Nyt Teknisk Forlag.
- Geiker, M. (2012). D5.2.4. Tilslag. I *Bygningsingeniørernes materialer - uddrag af Materialebogen* (s. 50-54). København: Nyt Teknisk Forlag.
- Geiker, M., & Nielsen, A. (2012). Mekaniske egenskaber. I *Bygningsingeniørernes materialer - uddrag af Materialebogen* (s. 64). København: Nyt Teknisk Forlag.
- Hansen, E. Ø. (2015). *Trykstyrke og densitet for beton ved samtidig og delvis erstatning af cement og sand med træaske*. Kongens Lyngby: DTU Civil Engineering.
- Larsen, K., & Jensen, K. N. (2015). *Egenskaber ved beton ved samtidig, delvis erstatning af cement og sand med træaske - undersøgelse af træaskes indflydelse på betons trykstyrker*. Kongens Lyngby: DTU Civil Engineering.
- Nielsen, A. (2012). D4 Beton. I *Bygningsingeniørernes materialer - uddrag af materialebogen* (s. D.4.4). København: Nyt Teknisk Forlag.
- Olsen, R. J. (2013). *Alternative asker i beton*. Kongens Lyngby: DTU Department of Civil Engineering.
- Ottosen, L. M., Kirkelund, G. M., & Christensen, I. V. (nr.4. 91 2010). Opgradering af farligt røggasaffald. *Dansk Kemi*, s. 16.
- Portland, A. (2007). *Cement og Beton. Håndbogen om cement, beton og mørtel*. Aalborg: Aalborg Portland.
- Technology, F. (28. 05 2015). *Force Technology*. Hentet fra  
<http://www.forcetechnology.com/NR/rdonlyres/5940BB32-7A42-43FE-95D8-25E313F47257/4459/40891da.pdf>

AalborgPortland. (21. 05 2015). *www.aalborgportland.dk*. Hentet fra <http://www.aalborgportland.dk/default.aspx?m=4&i=241&pi=33&pr=0>

## **Supplerende litteratur**

Gottfredsen, Finn R. & Nielsen, Anders: Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber. 1. udgave, 6. oplag 2010. Lyngby: Polyteknisk Forlag.

Affald.dk (26-05-2015). Restprodukter fra forbrænding af affald. Hentet fra <http://www.affald.dk/da/7-10/forbraending/artikler/345-restprodukter-fra-forbraending-af-affald-7-10.html>.

(15-05-2015). Tabel værdi brugt i figur 6. Hentet fra <http://www.google.com/patents/WO2006034487A1?cl=en>

# 8 Bilag

## Bilag

Resultater .....	48
Bilag 1. – styrkemålinger af mørtelprøver.....	48
Bilag 2. – Blanderecepter.....	50
Bilag 3. – Vandindhold .....	51
Bilag 4. – Vicat resultater .....	52
Bilag 5. – XRF.....	53
Bilag 6. – Metalkonstruktion .....	54
Bilag 7. – pH-værdi for carbonatiseringsforsøg.....	54
Bilag 8. – Kornkurver og SEM.....	55
Bilag 9. – SEM .....	65
Forsøgsbeskrivelser .....	71
Bilag 10. - SEM scanning .....	71
Bilag 11. – Laserdiffraktometer .....	72
Bilag 12. - Vicatronic manual.....	73
Bilag 13. - Blande og vibration .....	80
Bilag 14. - Vandindhold i jord .....	81
Bilag 15. - Carbonatisering.....	83
Bilag 16. - Tørring af sand .....	84
Bilag 17. - Støbning og afformning .....	85
Bilag 18. - TONI 3000 .....	86
Bilag 19. – Kemisk risikovurdering.....	87



## Resultater

### Bilag 1. - styrkemålinger af mørtelprøver.

$$kN \text{ til } Mpa \rightarrow \frac{\text{Trykprøve [kN]} \cdot 1000}{\left(\frac{\text{Højde [mm]} + \text{Brede [mm]}}{2}\right)^2}$$

#### Screening, 7, døgn mørtelprøver

Prøve	Prøvenummer	Dato for støbning	Dato for styrketest	Højde	Brede	Længde	Tryk 1	Tryk 2	Gennemsnit	Trykstyrke 1	Trykstyrke 2	Middel	Øvre grænse	Nedre grænse	Afvigelse 1	Afvigelse 2	Tør vægt	Våd vægt
				[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]	[g]	[g]
Basis 7 dage - Reference	1	03-03-2015, kl 8,30	10-03-2015, kl 9,00	40,95	40,00	160,25	60	70		36,62	42,73				-13%	1%	581	320
Basis 7 dage - Reference	2	03-03-2015, kl 8,30	10-03-2015, kl 9,10	40,95	40,00	160,15	64	75		39,07	45,78				-7%	9%	578	318
Basis 7 dage - Reference	3	03-03-2015, kl 8,30	10-03-2015, kl 9,20	41,00	40,00	160,10	76	69	69,00	46,33	42,07	42,10	45,87	38,33	10%	0%	582	321
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	4	03-03-2015, kl 9,00	10-03-2015, kl 9,30	41,25	40,10	160,60	44	77		26,59	46,54				-33%	17%	587	324
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	5	03-03-2015, kl 9,00	10-03-2015, kl 9,40	40,90	40,00	160,30	75	75		45,84	45,84				15%	15%	582	320
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	6	03-03-2015, kl 9,00	10-03-2015, kl 9,50	41,35	40,00	160,05	52	71	65,67	31,43	42,91	39,86	48,49	31,23	-21%	8%	587	323
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	7	03-03-2015, kl 9,30	10-03-2015, kl 10,00	41,05	40,00	159,90	55	67		33,49	40,80				-9%	11%	582	323
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	8	03-03-2015, kl 9,30	10-03-2015, kl 10,10	41,45	40,20	0,00	56	60		33,60	36,00				-8%	-2%	579	321
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	9	03-03-2015, kl 9,30	10-03-2015, kl 10,20	41,75	40,00	160,25	54	73	60,83	32,32	43,69	36,65	41,24	32,06	-12%	19%	587	326
Basis 7 dage - 5% sanderstatning af bundaske	10	03-03-2015, kl 10,00	10-03-2015, kl 10,30	41,20	40,00	160,15	57	65		34,58	39,43				-7%	6%	571	309
Basis 7 dage - 5% sanderstatning af bundaske	11	03-03-2015, kl 10,00	10-03-2015, kl 10,40	41,35	40,10	160,10	63	63		37,99	37,99				2%	2%	566	306
Basis 7 dage - 5% sanderstatning af bundaske	12	03-03-2015, kl 10,00	10-03-2015, kl 10,50	41,50	40,10	160,20	61	61	61,67	36,64	36,64	37,21	38,87	35,56	-2%	-2%	569	307
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske og 5% sanderstatning af bundaske	13	03-03-2015, kl 10,30	10-03-2015, kl 11,00	42,00	40,00	161,20	48	66		28,55	39,26				-18%	12%	580	314
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske og 5% sanderstatning af bundaske	14	03-03-2015, kl 10,30	10-03-2015, kl 11,10	41,40	40,00	160,85	63	57		38,03	34,41				9%	-1%	563	303
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske og 5% sanderstatning af bundaske	15	03-03-2015, kl 10,30	10-03-2015, kl 11,20	41,40	40,05	160,80	52	63	58,17	31,35	37,99	34,93	39,21	30,66	-10%	9%	577	312
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske og 5% sanderstatning af bundaske	16	03-03-2015, kl 11,00	10-03-2015, kl 11,30	42,15	40,50	0,00	28	0		16,40	0,00				11%	-100%	579	309
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske og 5% sanderstatning af bundaske	17	03-03-2015, kl 11,00	10-03-2015, kl 11,40	41,10	40,20	161,55	19	20		11,50	12,10				-22%	-18%	567	302
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske og 5% sanderstatning af bundaske	18	03-03-2015, kl 11,00	10-03-2015, kl 11,50	42,10	40,35	161,45	29	28	25,33	17,06	16,48	14,71	17,38	8,24	16%	12%	566	303

#### Rapid, 7, døgn mørtelprøver

Prøve	Prøvenummer	Dato for støbning	Dato for styrketest	Højde	Brede	Længde	Tryk 1	Tryk 2	Gennemsnit	Trykstyrke 1	Trykstyrke 2	Middel	Øvre grænse	Nedre grænse	Afvigelse 1	Afvigelse 2	Tør vægt	Våd vægt
				[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]	[g]	[g]
Rapid 7 dage - Reference	19	17-03-2015, kl 12,30	24-03-2015, kl 10,10	40,80	40,10	160,30	79	85		48,28	51,95				-6%	1%	583	325
Rapid 7 dage - Reference	20	17-03-2015, kl 12,30	24-03-2015, kl 10,20	40,00	40,00	160,25	82	83		51,25	51,88				0%	1%	571	317
Rapid 7 dage - Reference	21	17-03-2015, kl 12,30	24-03-2015, kl 10,30	41,10	40,30	160,00	85	88	83,67	51,31	53,12	51,30	52,92	49,68	0%	4%	582	323
Rapid 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	22	17-03-2015, kl 13,00	24-03-2015, kl 10,40	40,65	40,00	160,60	87	92		53,50	56,58				1%	7%	583	324
Rapid 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	23	17-03-2015, kl 13,00	24-03-2015, kl 10,50	40,70	40,00	160,80	77	87		47,29	53,44				-11%	1%	583	324
Rapid 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	24	17-03-2015, kl 13,00	24-03-2015, kl 11,00	40,80	40,00	160,70	85	89	86,17	52,08	54,53	52,90	56,03	49,77	-2%	3%	588	328
Rapid 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	25	17-03-2015, kl 13,30	24-03-2015, kl 11,10	40,00	40,30	160,50	56	54		34,74	33,50				-18%	-21%	574	321
Rapid 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	26	17-03-2015, kl 13,30	24-03-2015, kl 11,20	41,70	40,00	160,25	78	81		46,74	48,54				10%	14%	591	330
Rapid 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	27	17-03-2015, kl 13,30	24-03-2015, kl 11,30	42,00	40,00	160,80	79	74	70,33	47,00	44,02	42,42	49,03	35,82	11%	4%	591	330

Fokus, 28, døgns mørtelprøver

Prøve	Prøvenummer	Dato for støbning	Dato for styrketest	Højde	Brede	Længde	Tryk 1	Tryk 2	Gennemsnit	Trykstyrke 1	Trykstyrke 2	Middel	Øvre grænse	Nedre grænse	Afvigelse 1	Afvigelse 2	Tør vægt	Våd vægt
				[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]	[g]	[g]
Basis 28 dage - Reference	28	17-03-2015, kl 09,30	14-04-2015, kl 08,30	40,80	40,00	161,20	86	96		52,69	58,82				4%	16%	584	324
Basis 28 dage - Reference	29	17-03-2015, kl 09,30	14-04-2015, kl 08,40	40,40	40,00	161,25	82	82		50,74	50,74				0%	0%	579	321
Basis 28 dage - Reference	30	17-03-2015, kl 09,30	14-04-2015, kl 08,50	40,80	40,15	161,20	78	73	82,83	47,61	44,56	50,86	55,70	46,02	-6%	-12%	591	329
Basis 28 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	31	17-03-2015, kl 10,00	14-04-2015, kl 09,00	40,60	40,00	160,60	84	74		51,72	45,56				16%	2%	574	317
Basis 28 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	32	17-03-2015, kl 10,00	14-04-2015, kl 09,10	40,25	40,10	160,35	65	76		40,27	47,09				-10%	6%	567	312
Basis 28 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	33	17-03-2015, kl 10,00	14-04-2015, kl 09,20	40,70	40,00	160,20	66	69	72,33	40,54	42,38	44,59	49,02	40,17	-9%	-5%	566	311
Basis 28 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	34	17-03-2015, kl 10,30	14-04-2015, kl 09,30	41,40	40,10	160,55	55	72		33,12	43,36				-10%	17%	585	326
Basis 28 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	35	17-03-2015, kl 10,30	14-04-2015, kl 09,40	40,80	40,30	160,40	48	49		29,19	29,80				-21%	-19%	577	321
Basis 28 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	36	17-03-2015, kl 10,30	14-04-2015, kl 09,50	41,20	40,30	160,25	72	71	61,17	43,36	42,76	36,93	43,89	29,98	17%	16%	583	324

Fokus, 42, døgns mørtelprøver

Prøve	Prøvenummer	Dato for støbning	Dato for styrketest	Højde	Brede	Længde	Tryk 1	Tryk 2	Gennemsnit	Trykstyrke 1	Trykstyrke 2	Middel	Øvre grænse	Nedre grænse	Afvigelse 1	Afvigelse 2	Tør vægt	Våd vægt
				[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]	[g]	[g]
Basis 42 dage - Reference	37	17-03-2015, kl 08,30	28-04-2015, kl 0	40,10	40,15	160,60	100	77		62,11	47,83				15%	-11%	574	320
Basis 42 dage - Reference	38	17-03-2015, kl 08,30	28-04-2015	40,10	40,15	160,40	93	89		57,76	55,28				7%	3%	568	315
Basis 42 dage - Reference	39	17-03-2015, kl 08,30	28-04-2015	40,10	40,10	160,40	83	78	86,67	51,62	48,51	53,85	59,43	48,27	-4%	-10%	573	319
Basis 42 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	40	17-03-2015, kl 09,00	28-04-2015	41,20	40,20	160,50	91	99		54,94	59,76				-4%	4%	586	325
Basis 42 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	41	17-03-2015, kl 09,00	28-04-2015	40,90	40,30	160,60	93	92		56,42	55,81				-2%	-3%	582	321
Basis 42 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske	42	17-03-2015, kl 09,00	28-04-2015	40,75	40,20	160,65	95	97	94,50	57,99	59,21	57,36	59,29	55,42	1%	3%	580	321
Basis 42 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	43	17-03-2015, kl 09,30	28-04-2015	40,30	40,10	160,20	72	79		44,55	48,88				-9%	0%	566	314
Basis 42 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	44	17-03-2015, kl 09,30	28-04-2015	41,00	40,10	160,10	88	69		53,52	41,96				9%	-15%	577	321
Basis 42 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske	45	17-03-2015, kl 09,30	28-04-2015	41,00	40,10	160,10	93	81	80,33	56,56	49,26	49,12	54,54	43,70	15%	0%	581	323

Carbonatisering, 7, døgns mørtelprøver

Prøve	Prøvenummer	Dato for støbning	Dato for styrketest	Højde	Brede	Længde	Tryk 1	Tryk 2	Gennemsnit	Trykstyrke 1	Trykstyrke 2	Middel	Øvre grænse	Nedre grænse	Afvigelse 1	Afvigelse 2	Tør vægt	Våd vægt
				[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]	[g]	[g]
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske CA	46	14-04-2015, kl 08,50	21-04-2015, kl 07,25	41,20	40,10	160,00	44	55		26,63	33,28				-25%	-6%	583	325
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske CA	47	14-04-2015, kl 08,50	21-04-2015, kl 07,35	40,35	40,20	160,20	64	69		39,46	42,54				11%	20%	573	319
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af ubehandlet flyveaske CA	48	14-04-2015, kl 08,50	21-04-2015, kl 07,45	40,60	40,20	160,15	46	69	57,83	28,18	42,28	35,39	42,44	28,35	-20%	19%	576	320
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske CA	49	14-04-2015, kl 09,20	21-04-2015, kl 07,55	41,70	40,00	160,20	60	66		35,96	39,55				-10%	-1%	584	325
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske CA	50	14-04-2015, kl 09,20	21-04-2015, kl 08,05	41,30	40,00	160,30	68	68		41,15	41,15				3%	3%	581	323
Basis 7 dage - 5% cementerstatning af behandlet flyveaske CA	51	14-04-2015, kl 09,20	21-04-2015, kl 08,15	41,60	40,00	160,35	69	69	66,67	41,45	41,45	40,12	42,28	37,96	3%	3%	581	323

## Bilag 2. – Blanderecepter

Screening.

Prøve	Prøvenummer	Procent	Aske - FA [g]	Aske - bund [g]	Cement [g]	SAND [g]	Vand i cement [g]	Vand i aske [g]	Vand [g]
Standart opskrift					450	1350			225
Basis - Reference	1 - 3.				450	1350	2,00		223,00
Basis - 5% cementsubstitution af ubehandlet flyveaske	4 - 6.	0,05	22,5		427,5	1350	1,90	0,24	222,86
Basis - 5% cementsubstitution af behandlet flyveaske	7 - 9.	0,05	22,5		427,5	1350	1,90	1,11	221,99
Basis - 5% sandersubstitution af bundaske	10 - 12.	0,05		67,5	450	1282,5	2,00	0,25	222,75
Basis - 5% cementsubstitution af ubehandlet flyveaske og 5% sandersubstitution af bundaske	13 - 15	0,05	22,5		427,5		1,90	0,24	222,86
Basis - 5% cementsubstitution af behandlet flyveaske og 5% sandersubstitution af bundaske	16 - 18	0,05	22,5		427,5		1,90	1,11	221,99
Basis - 5% cementsubstitution af ubehandlet flyveaske og 5% sandersubstitution af bundaske		0,05		67,5		1282,5		0,25	

Fokusering.

Prøve	Prøvenummer.	Procent	Aske - FA [g]	Cement [g]	SAND [g]	Vand i cement [g]	Vand i aske [g]	Vand [g]
Standart opskrift				450	1350			225
Rapid 7 dage - Reference	19 - 21			450	1350	2,00		223,00
Rapid 7 dage - 5% cementsubstitution af ubehandlet flyveaske	22 - 24	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	0,24	222,86
Rapid 7 dage - 5% cementsubstitution af behandlet flyveaske	25 - 27	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	1,11	221,99
Basis 28 dage - Reference	28 - 30			450	1350	2,00		223,00
Basis 28 dage - 5% cementsubstitution af ubehandlet flyveaske	31 - 33	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	0,24	222,86
Basis 28 dage - 5% cementsubstitution af behandlet flyveaske	34 - 36	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	1,11	221,99
Basis 42 dage - Reference	37 - 39			450	1350	2,00		223,00
Basis 42 dage - 5% cementsubstitution af ubehandlet flyveaske	40 - 42	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	0,24	222,86
Basis 42 dage - 5% cementsubstitution af behandlet flyveaske	43 - 45	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	1,11	221,99
Basis 7 dage - Reference				450	1350	2,00		223,00
Basis 7 dage - 5% cementsubstitution af ubehandlet CARBO flyveaske	46 - 48	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	0,24	222,86
Basis 7 dage - 5% cementsubstitution af behandlet CARBO flyveaske	49 - 51	0,05	22,5	427,5	1350	1,90	1,11	221,99

### Bilag 3. – Vandindhold

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

Ubehandlet							
Prøvenummer	Glas [g]	Våd prøve [g]	Dato våd prøve	Tør prøve [g]	Dato våd prøve	Vandindhold [%]	Afvigelse [%]
1	19,12	29,10	26-02-2015, kl 11.00	28,99	27-02-2015, kl 16.00	1,102%	4%
2	19,21	28,73	26-02-2015, kl 11.01	28,63	27-02-2015, kl 16.01	1,050%	-1%
3	19,10	28,91	26-02-2015, kl 11.02	28,81	27-02-2015, kl 16.02	1,019%	-4%
Gennemsnit	19,14	28,91		28,81		1,057%	

Behandlet							
Prøvenummer	Glas [g]	Våd prøve [g]	Dato våd prøve	Tør prøve [g]	Dato våd prøve	Vandindhold [%]	Afvigelse [%]
4	22,51	32,28	26-02-2015, kl 11.05	31,82	27-02-2015, kl 16.05	4,708%	-4%
5	19,08	28,99	26-02-2015, kl 11.06	28,48	27-02-2015, kl 16.06	5,146%	5%
6	19,06	28,84	26-02-2015, kl 11.07	28,36	27-02-2015, kl 16.07	4,908%	0%
Gennemsnit	20,22	30,04		29,55		4,921%	

Slagge							
Prøvenummer	Glas [g]	Våd prøve [g]	Dato våd prøve	Tør prøve [g]	Dato våd prøve	Vandindhold [%]	Afvigelse [%]
7	19,52	36,12	26-02-2015, kl 11.10	36,06	27-02-2015, kl 16.10	0,361%	-1%
8	18,77	33,80	26-02-2015, kl 11.11	33,75	27-02-2015, kl 16.11	0,333%	-9%
9	19,23	34,35	26-02-2015, kl 11.12	34,29	27-02-2015, kl 16.12	0,397%	9%
Gennemsnit	19,17	34,76		34,70		0,364%	

Basis cement							
Prøvenummer	Glas [g]	Våd prøve [g]	Dato våd prøve	Tør prøve [g]	Dato våd prøve	Vandindhold [%]	Afvigelse [%]
10	20,17	34,99	26-02-2015, kl 11.15	34,93	27-02-2015, kl 16.10	0,405%	-9%
11	18,54	33,39	26-02-2015, kl 11.16	33,32	27-02-2015, kl 16.11	0,471%	6%
12	19,37	34,58	26-02-2015, kl 11.17	34,51	27-02-2015, kl 16.12	0,460%	3%
Gennemsnit	19,36	34,32		34,25		0,445%	

## Bilag 4. – Vicat resultater

Reference basis cementpasta			
Dato	ID	PEN. [mm]	Temperatur
17-03-2015	1	0	24,5
	2	0	
	3	0	
	4	0	
	5	0	
	6	0	
	7	0	
	8	0	
	9	0	
	10	0	
	11	0	
	12	0	
	13	0	
	14	0	
	15	0	
	16	0	
	17	0	
	18	0	
	19	0	
	20	0	
	21	0	
	22	0	
	23	0	
	24	1,1	
	25	9,5	
	26	13,7	
	27	22,3	
	28	23,8	
	29	28,7	
	30	36,5	
	31	37,4	
	32	38,7	
	33	40,5	
	34	40,4	
	35	40,8	
	36	40,9	
	37	41,2	
	38	41,3	
	39	41,4	
	40	41,6	
	41	41,7	
	42	41,8	
	43	41,6	
	44	41,5	
	45	41,6	
	46	41,5	
	47	41,5	
	48	41,7	
	49	41,8	
	50	41,8	
	51	41,7	
	52	42	
	53	42	
	54	42	
	55	41,8	
	56	41,8	
	57	41,8	
	58	41,9	
	59	42	
	60	42	
	61	42	
	62	42,2	
	63	42,2	
	64	42	
	65	41,9	
	66	42	
	67	42	
	68	42,2	
	69	42	
	70	42,2	
	71	41,9	
	72	42,1	
	73	42	
	74	42	
	75	42	
	76	42,2	
	77	42,1	
	78	42,2	
	79	42	
	80	42	
	81	42,3	
	82	42,2	
	83	42,3	
	84	42,1	
	85	42	
	86	42,2	

Ubehandlet basis cementpasta			
Dato	ID	PEN. [mm]	Temperatur
24-03-2015	1	0	24,5
	2	0	
	3	0	
	4	0	
	5	0	
	6	0	
	7	0	
	8	0	
	9	0	
	10	0	
	11	0	
	12	0	
	13	0	
	14	0	
	15	0	
	16	0	
	17	0	
	18	0	
	19	0	
	20	0	
	21	0	
	22	0	
	23	0	
	24	0	
	25	0	
	26	0	
	27	0	
	28	0	
	29	0	
	30	0	
	31	0	
	32	0	
	33	0	
	34	0	
	35	0	
	36	0	
	37	0	
	38	0	
	39	0	
	40	0	
	41	0	
	42	0	
	43	0	
	44	0	
	45	0	
	46	0	
	47	0	
	48	0	
	49	0	
	50	0	
	51	0	
	52	0	
	53	0	
	54	0	
	55	0	
	56	0	
	57	0	
	58	0	
	59	0	
	60	0	
	61	0	
	62	0	
	63	0	
	64	0	
	65	0	
	66	0	
	67	0	
	68	0	
	69	0	
	70	0	
	71	0	
	72	0	
	73	0	
	74	0	
	75	0	
	76	0	
	77	0	
	78	0	
	79	0	
	80	0	
	81	0	
	82	0	
	83	0	
	84	0	
	85	0	
	86	0	

Behandlet basis cementpasta			
Dato	ID	PEN. [mm]	Temperatur
22-04-2015	1	0	24,5
	2	0	
	3	0,1	
	4	0,1	
	5	0	
	6	0	
	7	0	
	8	0	
	9	0	
	10	0	
	11	0	
	12	0	
	13	0	
	14	0,1	
	15	0,1	
	16	0,1	
	17	0,1	
	18	0,1	
	19	0	
	20	0	
	21	0	
	22	0	
	23	0	
	24	0	
	25	0	
	26	0	
	27	0	
	28	0	
	29	0	
	30	0	
	31	0	
	32	0	
	33	0	
	34	0,1	
	35	0,1	
	36	0,1	
	37	0,1	
	38	0,1	
	39	0,1	
	40	0	
	41	0	
	42	0	
	43	0	
	44	0	
	45	0,1	
	46	0,1	
	47	0	
	48	0	
	49	0	
	50	0	
	51	0,1	
	52	0	
	53	0,1	
	54	0	
	55	0,1	
	56	0	
	57	0	
	58	0	
	59	0,1	
	60	0	
	61	0,1	
	62	0,1	
	63	0,1	
	64	0	
	65	0,1	
	66	0	
	67	0,1	
	68	0	
	69	0	
	70	0	
	71	0,1	
	72	0	
	73	0,1	
	74	0	
	75	0	
	76	0	
	77	0	
	78	0,1	
	79	0	
	80	0	
	81	0	
	82	0	
	83	0,1	
	84	0	
	85	0	
	86	0	

## Bilag 5. - XRF

### Elementfordeling i aske/slagge i form af oxider målt ved XRF

% oxider	Sisimiut rå	Sis-2.0	Slagge
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,2	6,6	7,35
CaO	25,2	30,8	39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	1,4	5
K <sub>2</sub> O	8,9	2	1
MgO	0,6	2	1,7
MnO	0,0	0,05	0,2
Na <sub>2</sub> O	16,2	3,1	2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6	1,6	1,7
SiO <sub>2</sub>	4,9	10,5	36
SO <sub>3</sub>	3,0	4,7	1,7
TiO <sub>2</sub>	0,9	1,3	2,8
Cl	23,0	3	0,5

## Bilag 6. – Metalkonstruktion

### Tungmetalkoncentrationer i tørstof

Prøve	mg/kg As	mg/kg Cd	mg/kg Cr	mg/kg Cu	mg/kg Pb	mg/kg Zn
Sisimiut slagge (gn.snit)	21,6	6,0	71,5	1219,6	1036,8	40408,2
St. dev	2,6	2,6	4,9	407,4	958,8	51462,7
Sisimiut rå aske	622,1	447,2	177,2	1542,2	5023,3	38270,3
st dev	27,4	127,4	29,8	47,0	323,6	2907,4
Sisimiut 2.0 (gn.snit)	962	474	228	2075	8060	53044
st. dev	30	14	4	51	234	1077

## Bilag 7. – pH-værdi for carbonatiseringsforsøg

Dato	Ubehandlet flyveaske, carbo	pH-værdi	Behandlet flyveaske, carbo	pH-værdi
12-03-2015		11,76		8,2
18-03-2015		10,52		9,91
24-03-2015		10,64		10,07
08-04-2015		10,77		10,16

# Bilag 8. – Kornkurver og SEM

Kornkurve data for Almindeligt aske – Tør måling 1.



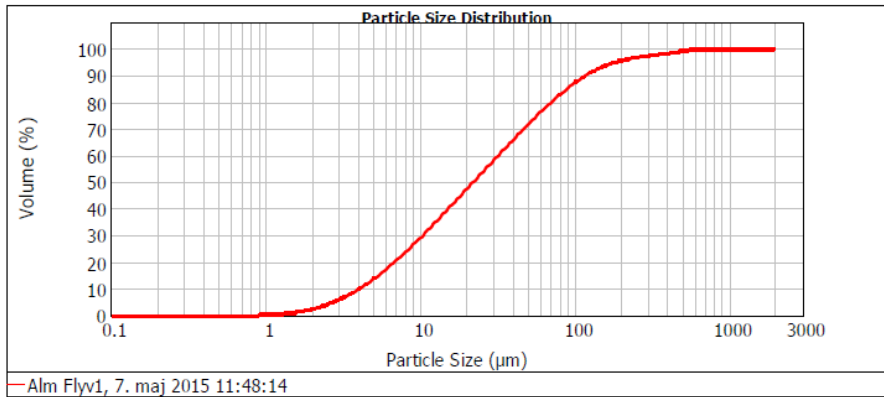
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Alm Flyv1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske Tør 1	<b>Measured:</b> 7. maj 2015 11:48:14
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 7. maj 2015 11:48:15
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<b>Particle Name:</b> aske	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 3.45 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.772 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0011 %Vol	<b>Span :</b> 5.160	<b>Uniformity:</b> 1.88	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.575 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 10.434 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 51.104 um	

**d(0.1): 4.053 um                      d(0.5): 22.148 um                      d(0.9): 118.344 um**



Alm Flyv1, 7. maj 2015 11:48:14

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	0.14	7.096	2.65	50.238	2.91	355.656	0.41
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.22	7.962	2.76	56.368	2.83	399.052	0.43
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.31	8.934	2.86	63.246	2.71	447.744	0.43
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.41	10.024	2.94	70.963	2.57	502.377	0.38
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.53	11.247	3.00	79.621	2.40	563.677	0.33
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.66	12.619	3.05	89.337	2.20	632.456	0.27
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.81	14.159	3.07	100.237	1.98	709.627	0.22
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.97	15.887	3.09	112.468	1.73	796.214	0.18
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.13	17.825	3.08	126.191	1.49	893.367	0.14
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.31	20.000	3.08	141.589	1.24	1002.374	0.11
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.49	22.440	3.07	158.866	1.01	1124.683	0.09
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	1.68	25.179	3.06	178.250	0.81	1261.915	0.07
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	1.86	28.251	3.05	200.000	0.64	1415.892	0.06
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	2.04	31.698	3.03	224.404	0.52	1588.656	0.05
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	2.21	35.566	3.01	251.785	0.44	1782.502	0.04
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	2.37	39.905	2.97	282.508	0.41	2000.000	0.04
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	2.52	44.774	2.97	316.979	0.40		
0.142	0.00	1.002	0.09	7.096	2.65	50.238	2.97	355.656	0.40		

Operator notes:



Kornkurve data for Almindeligt aske – Tør måling 2.



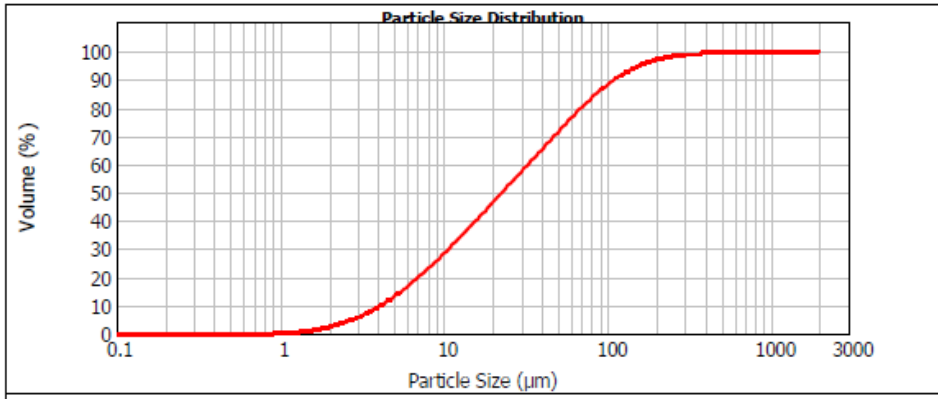
### Result Analysis Report

**Sample Name:** Alm Flyv2  
**SOP Name:** Flyveaskeaske Tør 1  
**Measured:** 7. maj 2015 11:54:19  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** f-user  
**Analysed:** 7. maj 2015 11:54:21  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 3.70 %  
**Dispersant Name:**  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.713 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0012 %Vol  
**Span :** 4.696  
**Uniformity:** 1.62  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.566 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 10.592 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 46.731 um

**d(0.1): 4.136 um                      d(0.5): 22.823 um                      d(0.9): 111.317 um**



Alm Flyv2, 7. maj 2015 11:54:19

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	0.15	7.096	2.59	50.238	3.07	356.666	0.25
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.23	7.962	2.72	56.368	3.00	398.052	0.24
0.025	0.00	0.179	0.00	1.262	0.31	8.934	2.80	62.346	2.99	447.744	0.22
0.029	0.00	0.200	0.00	1.416	0.41	10.024	2.91	70.963	2.75	502.377	0.19
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.52	11.247	2.98	79.621	2.56	563.677	0.13
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.65	12.619	3.03	89.337	2.34	632.456	0.07
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.78	14.159	3.07	100.237	2.10	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.93	15.887	3.09	112.468	1.84	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.09	17.825	3.10	126.191	1.57	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.26	20.000	3.11	141.589	1.31	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.43	22.440	3.12	158.866	1.06	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	1.61	25.179	3.12	178.250	0.83	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	1.79	28.251	3.13	200.000	0.64	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.96	31.698	3.14	224.404	0.50	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.004	2.14	35.566	3.14	251.785	0.39	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	2.30	39.905	3.14	282.508	0.31	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.10	6.325	2.46	44.774	3.12	316.379	0.27		
0.142	0.00	1.002	0.10	7.096	2.66	50.238	3.12	356.666	0.27		

Operator notes:

Kornkurve data for Almindeligt aske – Tør måling 3.



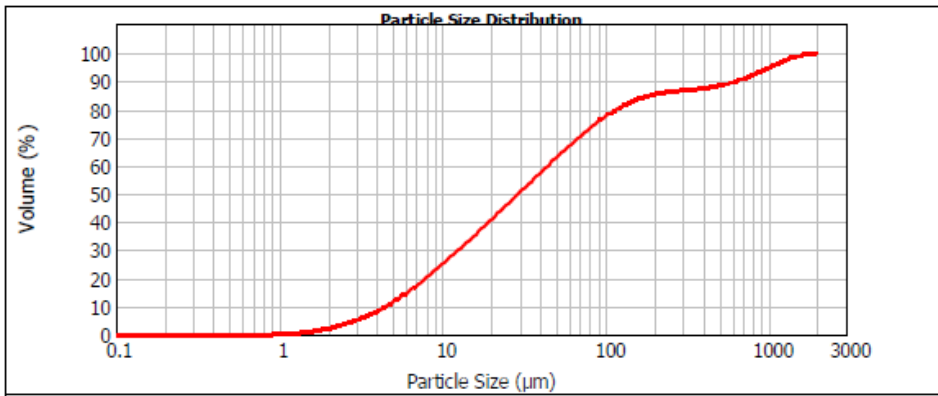
### Result Analysis Report

**Sample Name:** Alm Flyv3  
**SOP Name:** Flyveaskeaske Ter 1  
**Measured:** 7. maj 2015 13:03:06  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** f-user  
**Analysed:** 7. maj 2015 13:03:08  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 3.30 %  
**Dispersant Name:**  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 1.038 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0012 %Vol  
**Span :** 21.659  
**Uniformity:** 5.09  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.499 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 12.031 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 161.281 um

**d(0.1): 4.510 um                      d(0.5): 29.379 um                      d(0.9): 640.833 um**



Alm Flyv3, 7. maj 2015 13:03:06

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	0.13	7.096	2.39	50.238	2.69	355.656	0.33
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.20	7.962	2.39	56.368	2.62	399.062	0.44
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.27	8.934	2.48	63.246	2.53	447.744	0.59
0.029	0.00	0.200	0.00	1.416	0.36	10.024	2.55	70.963	2.41	502.377	0.76
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.46	11.247	2.61	79.621	2.25	563.677	0.92
0.036	0.00	0.252	0.00	1.793	0.57	12.619	2.66	89.337	2.08	632.456	1.08
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.69	14.159	2.69	100.237	1.98	709.627	1.20
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.82	15.887	2.72	112.468	1.88	796.214	1.28
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.96	17.825	2.73	126.191	1.81	893.367	1.30
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.11	20.000	2.75	141.589	1.76	1002.374	1.27
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.26	22.440	2.76	158.866	1.72	1124.683	1.18
0.071	0.00	0.502	0.00	3.657	1.42	25.179	2.76	178.250	1.68	1261.915	1.03
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	1.57	28.251	2.77	200.000	1.64	1415.892	0.85
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.73	31.698	2.77	224.404	1.61	1588.656	0.58
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	1.88	35.566	2.77	251.785	1.58	1782.502	0.27
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	2.02	39.905	2.76	282.508	1.55	2000.000	0.24
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	2.16	44.774	2.73	316.979	1.52		
0.142	0.00	1.002	0.09	7.096	2.16	50.238	2.73	355.656	1.49		

Operator notes:

Kornkurve data for Ubehandlet flyveaske fra Sisimiut – Tør måling 1.



### Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Sis Ub1	<b>SOP Name:</b> Flyveaskeaske Tør 1	<b>Measured:</b> 7. maj 2015 13:10:01
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> f-user	<b>Analysed:</b> 7. maj 2015 13:10:02
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

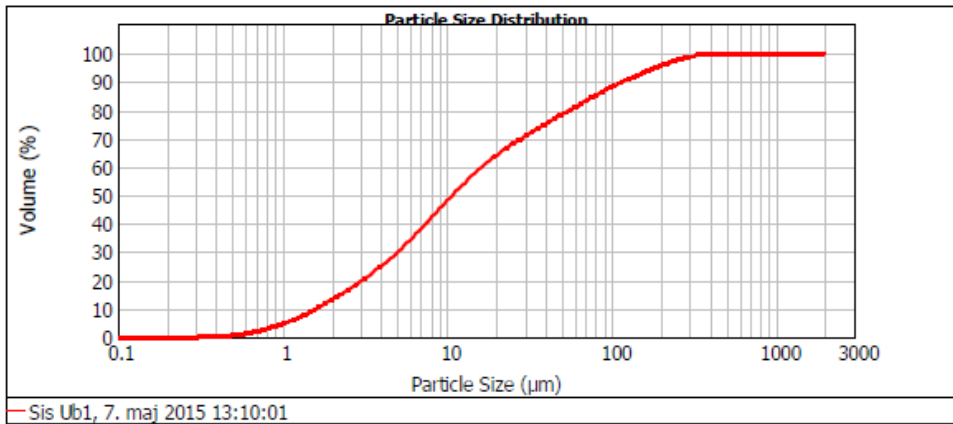
---

<b>Particle Name:</b> aske	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 8.42 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.513 %	<b>Result Emulation:</b> Off

---

<b>Concentration:</b> 0.0010 %Vol	<b>Span :</b> 10.726	<b>Uniformity:</b> 3.18	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 1.35 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 4.434 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 39.017 um	

d(0.1): 1.607 um                      d(0.5): 10.836 um                      d(0.9): 117.838 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	1.14	7.096	3.09	50.238	1.68	355.656	0.41
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.27	7.962	3.13	56.368	1.67	399.052	0.17
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.39	8.934	3.12	63.246	1.65	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.49	10.024	3.06	70.963	1.61	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.49	11.247	2.96	79.621	1.56	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.59	12.619	2.80	89.337	1.50	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.01	2.000	1.67	14.159	2.62	100.237	1.43	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.08	2.244	1.83	15.887	2.43	112.468	1.35	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.12	2.518	1.92	17.825	2.24	126.191	1.29	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.18	2.825	2.02	20.000	2.08	141.589	1.21	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.25	3.170	2.13	22.440	1.94	158.866	1.14	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.34	3.567	2.26	25.179	1.83	178.250	1.06	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.45	3.991	2.41	28.251	1.75	200.000	0.99	1415.882	0.00
0.089	0.00	0.632	0.57	4.477	2.57	31.698	1.70	224.404	0.90	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.71	5.024	2.72	35.566	1.68	251.785	0.81	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.85	5.637	2.87	39.905	1.67	282.508	0.69	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	1.00	6.325	3.00	44.774	1.68	316.979	0.54		
0.142	0.00	1.002		7.096		50.238		355.656			

Operator notes:

Kornkurve data for Ubehandlet flyveaske fra Sisimiut – Tør måling 2.



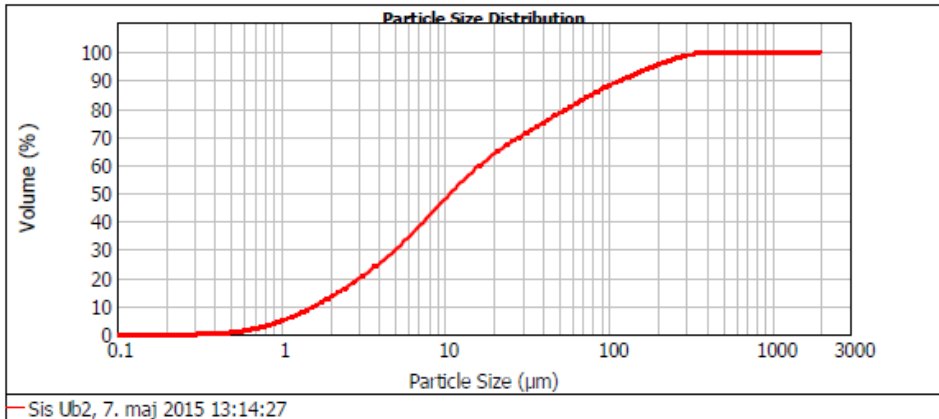
### Result Analysis Report

**Sample Name:** Sis Ub2  
**SOP Name:** Flyveaskeaske Tør 1  
**Measured:** 7. maj 2015 13:14:27  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** f-user  
**Analysed:** 7. maj 2015 13:14:29  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000  $\mu\text{m}$   
**Obscuration:** 7.52 %  
**Dispersant Name:**  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.480 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0009 %Vol  
**Span :** 10.921  
**Uniformity:** 3.24  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 1.35  $\text{m}^2/\text{g}$   
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 4.459  $\mu\text{m}$   
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 39.833  $\mu\text{m}$

**d(0.1): 1.616  $\mu\text{m}$                       d(0.5): 10.907  $\mu\text{m}$                       d(0.9): 120.729  $\mu\text{m}$**



Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	1.13	7.096	3.07	50.238	1.70	355.656	0.45
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.26	7.962	3.10	56.368	1.68	399.052	0.18
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.38	8.934	3.09	63.246	1.66	447.744	0.00
0.029	0.00	0.200	0.00	1.416	1.49	10.024	3.02	70.963	1.60	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.59	11.247	2.91	79.621	1.55	563.577	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.67	12.619	2.76	89.337	1.48	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.76	14.159	2.58	100.237	1.41	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.01	2.244	1.84	15.887	2.40	112.468	1.33	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.07	2.518	1.92	17.825	2.22	126.191	1.25	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.17	2.825	2.02	20.000	2.07	141.589	1.20	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.24	3.170	2.14	22.440	1.93	158.866	1.14	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.34	3.557	2.27	25.179	1.84	178.250	1.08	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.44	3.991	2.41	28.251	1.77	200.000	1.02	1415.882	0.00
0.089	0.00	0.632	0.57	4.477	2.57	31.698	1.73	224.404	0.96	1588.556	0.00
0.100	0.00	0.710	0.70	5.024	2.72	35.566	1.71	251.785	0.96	1792.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.85	5.637	2.86	39.905	1.70	282.508	0.75	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.99	6.325	2.98	44.774	1.70	316.979	0.59		
0.142	0.00	1.002		7.096		50.238		355.656			

Operator notes:

Kornkurve data for Ubehandlet flyveaske fra Sisimiut – Tør måling 3.



MASTERSIZER



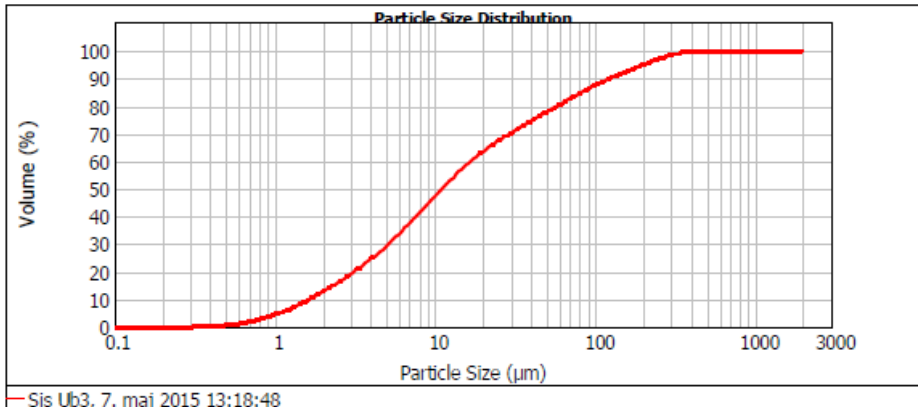
Result Analysis Report

Sample Name: Sis Ub3  
 Sample Source & type: Paris  
 Sample bulk lot ref: 123-ABC  
 SOP Name: Flyveaskeaske Tør 1  
 Measured by: f-user  
 Result Source: Measurement  
 Measured: 7. maj 2015 13:18:48  
 Analysed: 7. maj 2015 13:18:50

Particle Name: aske  
 Particle RI: 1.500  
 Dispersant Name:  
 Accessory Name: Scirocco 2000  
 Absorption: 0  
 Dispersant RI: 1.000  
 Analysis model: General purpose  
 Size range: 0.020 to 2000.000 um  
 Weighted Residual: 0.457 %  
 Sensitivity: Enhanced  
 Obscuration: 8.94 %  
 Result Emulation: Off

Concentration: 0.0011 %Vol  
 Specific Surface Area: 1.33 m<sup>2</sup>/g  
 Span: 11.141  
 Surface Weighted Mean D[3,2]: 4.525 um  
 Uniformity: 3.27  
 Vol. Weighted Mean D[4,3]: 40.954 um  
 Result units: Volume

d(0.1): 1.640 um      d(0.5): 11.098 um      d(0.9): 125.283 um



Sis Ub3, 7. maj 2015 13:18:48

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	1.11	7.096	3.07	50.238	1.67	355.656	0.51
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	1.24	7.962	3.12	56.368	1.66	399.052	0.21
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	1.36	8.934	3.11	63.246	1.63	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	1.47	10.024	3.06	70.963	1.59	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.56	11.247	2.96	79.621	1.53	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.65	12.619	2.80	89.337	1.47	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.01	2.000	1.73	14.159	2.63	100.237	1.40	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.07	2.244	1.81	15.887	2.44	112.468	1.33	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.11	2.518	1.90	17.825	2.25	126.191	1.27	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.17	2.825	1.99	20.000	2.09	141.589	1.21	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.24	3.170	2.11	22.440	1.94	158.966	1.16	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.33	3.567	2.24	25.179	1.83	178.250	1.11	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.43	3.991	2.38	28.251	1.76	200.000	1.06	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.55	4.477	2.54	31.698	1.71	224.404	1.00	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.69	5.024	2.70	35.566	1.69	251.785	0.92	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.83	5.637	2.85	39.905	1.68	282.508	0.81	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.97	6.325	2.97	44.774	1.68	316.979	0.66		
0.142	0.00	1.002		7.096		50.238		355.656			

Operator notes:

Kornkurve data for Behandlet flyveaske fra Sisimiut – Tør måling 1.



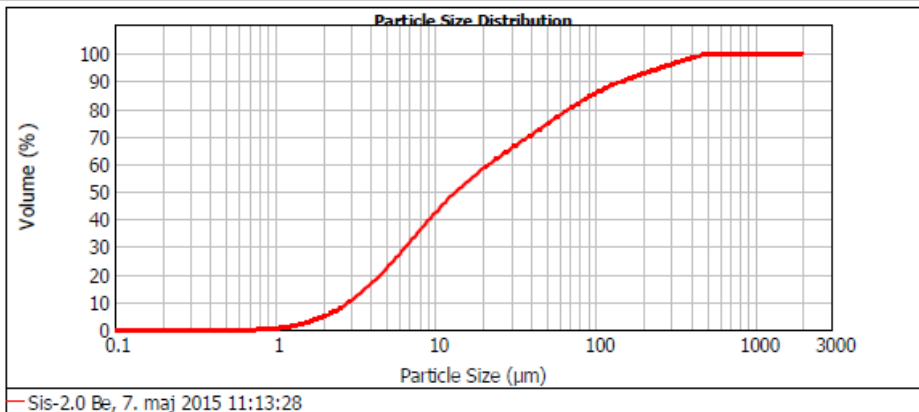
Result Analysis Report

**Sample Name:** Sis-2.0 Be  
**SOP Name:** Flyveaskeaske Tør 1  
**Measured:** 7. maj 2015 11:13:28  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** f-user  
**Analysed:** 7. maj 2015 11:13:29  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 4.25 %  
**Dispersant Name:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.993 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0009 %Vol  
**Span :** 10.834  
**Uniformity:** 3.42  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.807 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 7.439 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 52.677 um

**d(0.1): 2.918 um      d(0.5): 13.613 um      d(0.9): 150.407 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	0.34	7.096	3.39	50.238	1.99	355.656	0.87
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.46	7.962	3.34	56.368	1.96	399.052	0.78
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.61	8.934	3.25	63.246	1.90	447.744	0.63
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.77	10.024	3.10	70.963	1.82	502.377	0.47
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.96	11.247	3.00	79.621	1.72	563.677	0.39
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.15	12.619	2.94	89.327	1.72	632.456	0.32
0.040	0.00	0.280	0.00	2.000	1.36	14.159	2.75	100.227	1.60	709.627	0.27
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.59	15.887	2.57	112.468	1.48	796.214	0.23
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.83	17.825	2.40	126.191	1.35	893.367	0.20
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.08	20.000	2.26	141.589	1.24	1002.374	0.18
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.33	22.440	2.14	158.866	1.13	1124.683	0.16
0.071	0.00	0.502	0.00	3.567	2.58	25.179	2.06	178.250	1.05	1261.915	0.15
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.81	28.251	2.01	200.000	0.98	1415.882	0.14
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	3.02	31.698	1.99	224.404	0.94	1588.656	0.13
0.100	0.00	0.710	0.03	5.024	3.19	35.566	1.99	251.785	0.92	1782.502	0.12
0.112	0.00	0.796	0.12	5.637	3.21	39.905	2.00	282.508	0.92	2000.000	0.11
0.126	0.00	0.893	0.22	6.325	3.38	44.774	2.01	316.379	0.91		
0.142	0.00	1.002	0.22	7.096	3.38	50.238	2.01	355.656	0.91		

Operator notes:

Kornkurve data for Behandlet flyveaske fra Sisimiut – Tør måling 2.



Result Analysis Report

**Sample Name:** 150507-Villads Be1  
**Sample Source & type:** Paris  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC

**SOP Name:** Flyveaskeaske Tør 1  
**Measured by:** f-user  
**Result Source:** Measurement

**Measured:** 7. maj 2015 11:37:12  
**Analysed:** 7. maj 2015 11:37:13

**Particle Name:** aske  
**Particle RI:** 1.500  
**Dispersion Name:**

**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Absorption:** 0  
**Dispersant RI:** 1.000

**Analysis model:** General purpose  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Weighted Residual:** 0.914 %

**Sensitivity:** Enhanced  
**Obscuration:** 3.72 %  
**Result Emulation:** Off

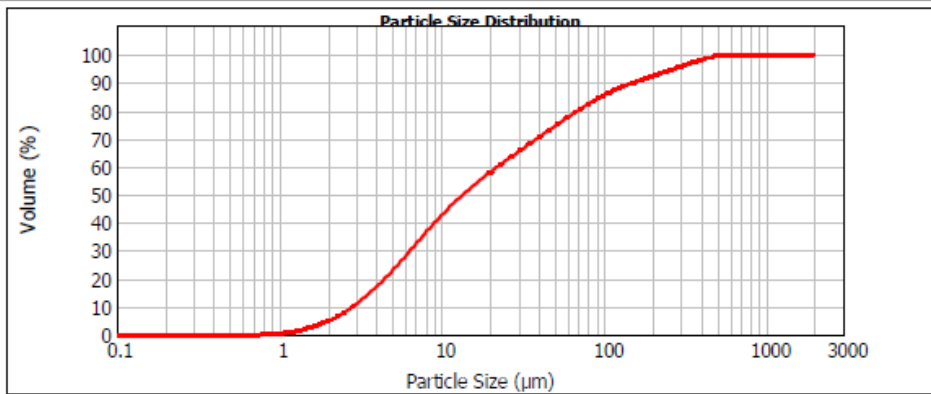
**Concentration:** 0.0008 %Vol  
**Specific Surface Area:** 0.821 m<sup>2</sup>/g

**Span :** 11.124  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 7.308 um

**Uniformity:** 3.49  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 53.315 um

**Result units:** Volume

**d(0.1): 2.844 um      d(0.5): 13.555 um      d(0.9): 153.629 um**



150507-Villads Be1, 7. maj 2015 11:37:12

Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %	Size (um)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.35	7.096	3.32	50.238	2.01	355.656	0.92
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.48	7.962	3.26	56.368	1.96	399.062	0.82
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.64	8.934	3.14	63.246	1.88	447.744	0.67
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.81	10.024	2.99	70.963	1.79	502.377	0.50
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	1.00	11.247	2.83	79.621	1.68	563.677	0.39
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.21	12.619	2.66	89.337	1.56	632.456	0.30
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.43	14.159	2.48	100.237	1.42	709.627	0.22
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.66	15.887	2.33	112.468	1.30	796.214	0.16
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.91	17.825	2.21	126.191	1.18	893.367	0.11
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.16	20.000	2.12	141.589	1.09	1002.374	0.08
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.40	22.440	2.06	158.866	1.01	1124.683	0.06
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	2.64	25.179	2.04	178.250	0.96	1261.915	0.04
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.86	28.251	2.03	200.000	0.93	1415.892	0.03
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	3.04	31.698	2.04	224.404	0.93	1588.656	0.02
0.100	0.00	0.710	0.03	5.034	3.19	35.566	2.06	251.785	0.94	1782.502	0.01
0.112	0.00	0.796	0.12	5.637	3.29	39.905	2.06	282.508	0.96	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.23	6.325	3.33	44.774	2.04	316.979	0.96		
0.142	0.00	1.002	0.23	7.096	3.33	50.238	2.04	355.656	0.96		

Operator notes:

Kornkurve data for Behandlet flyveaske fra Sisimiut – Tør måling 3.



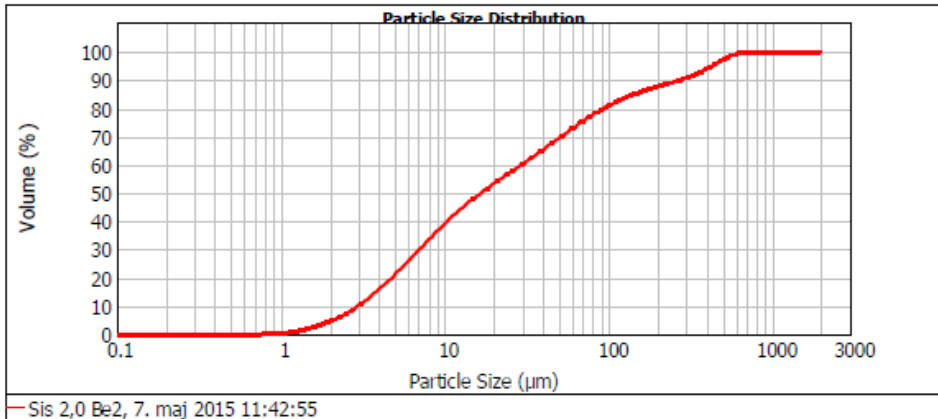
### Result Analysis Report

**Sample Name:** Sis 2,0 Be2  
**SOP Name:** Flyveaskeaske Tør 1  
**Measured:** 7. maj 2015 11:42:55  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** f-user  
**Analysed:** 7. maj 2015 11:42:56  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** aske  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000  $\mu\text{m}$   
**Obscuration:** 1.03 %  
**Dispersant Name:**  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 1.169 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0002 %Vol  
**Span :** 16.375  
**Uniformity:** 4.19  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.759  $\text{m}^2/\text{g}$   
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 7.903  $\mu\text{m}$   
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 76.921  $\mu\text{m}$

**d(0.1): 2.971  $\mu\text{m}$       d(0.5): 16.738  $\mu\text{m}$       d(0.9): 277.062  $\mu\text{m}$**



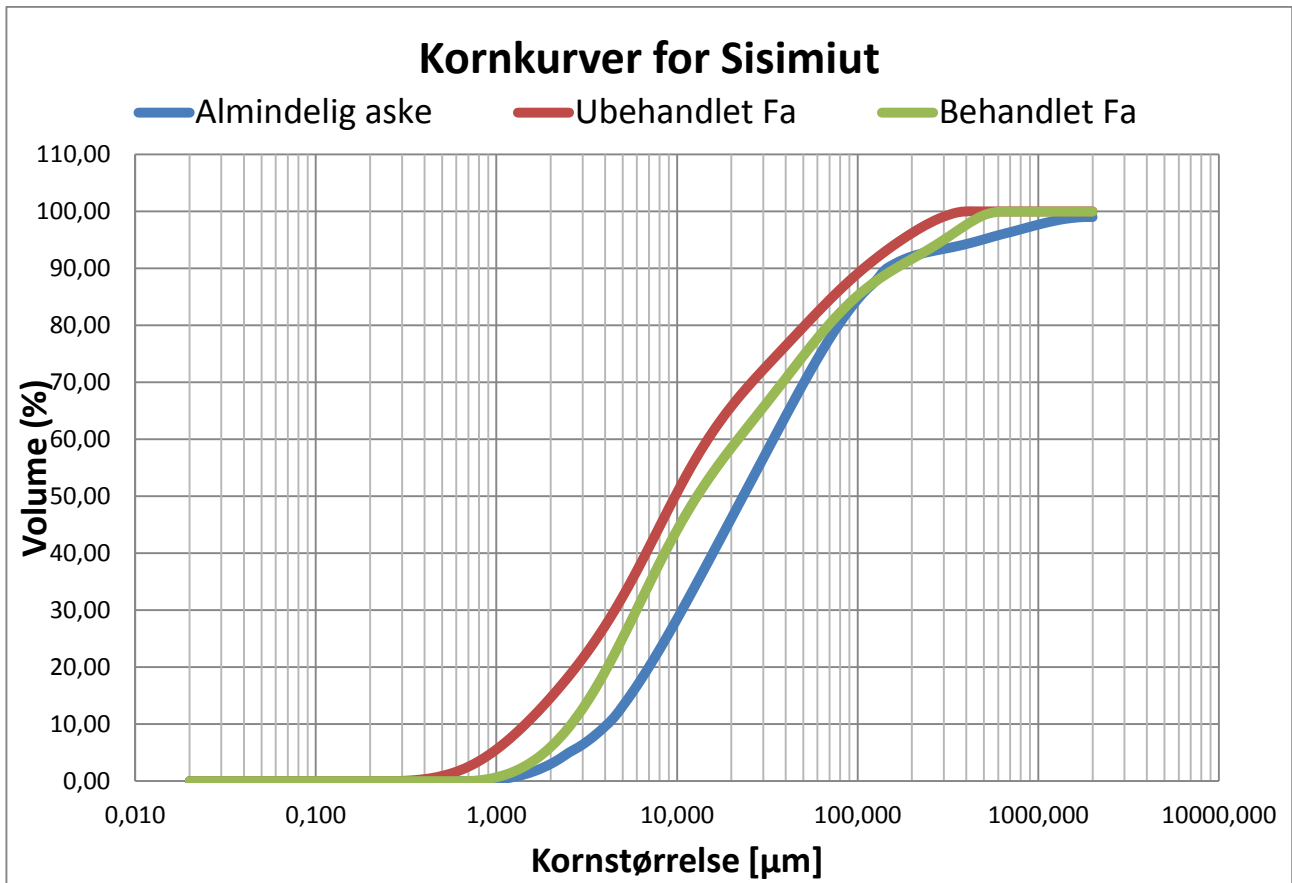
Sis 2,0 Be2, 7. maj 2015 11:42:55

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	0.31	7.096	3.00	50.238	2.08	355.656	1.42
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.44	7.962	2.94	56.368	2.05	399.052	1.54
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.59	8.934	2.83	63.246	1.98	447.744	1.55
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.75	10.024	2.70	70.963	1.89	502.377	1.38
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.90	11.247	2.56	79.621	1.77	563.677	1.15
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	1.13	12.619	2.41	89.337	1.63	632.456	0.45
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	1.34	14.159	2.28	100.237	1.48	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	1.56	15.887	2.16	112.468	1.31	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	1.79	17.825	2.07	126.191	1.16	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	2.02	20.000	2.01	141.589	1.02	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	2.24	22.440	1.98	158.866	0.91	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	2.46	25.179	1.97	178.250	0.84	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	2.65	28.251	1.99	200.000	0.82	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	2.81	31.698	2.02	224.404	0.85	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.02	5.024	2.93	35.566	2.05	251.785	0.94	1792.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.10	5.637	3.00	39.905	2.08	282.508	1.08	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.20	6.325	3.03	44.774	2.09	316.979	1.26		
0.142	0.00	1.002	0.20	7.096	3.00			355.656	1.26		

Operator notes:



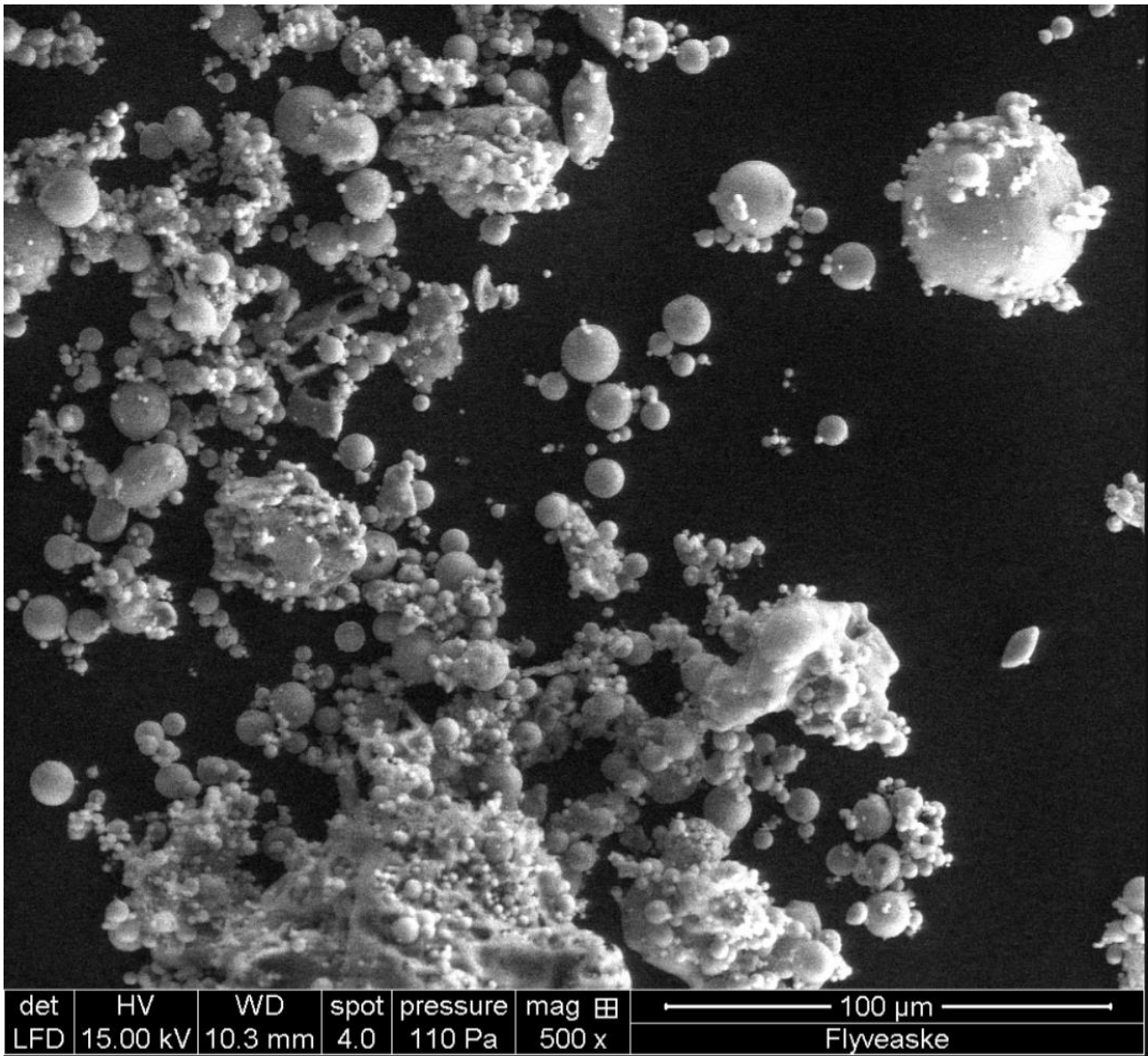
Akkumulerede Kornkurver for almindeligt aske, Ubehandlet flyveaske fra Sisimiut og Behandlet flyveaske fra Sisimiut.



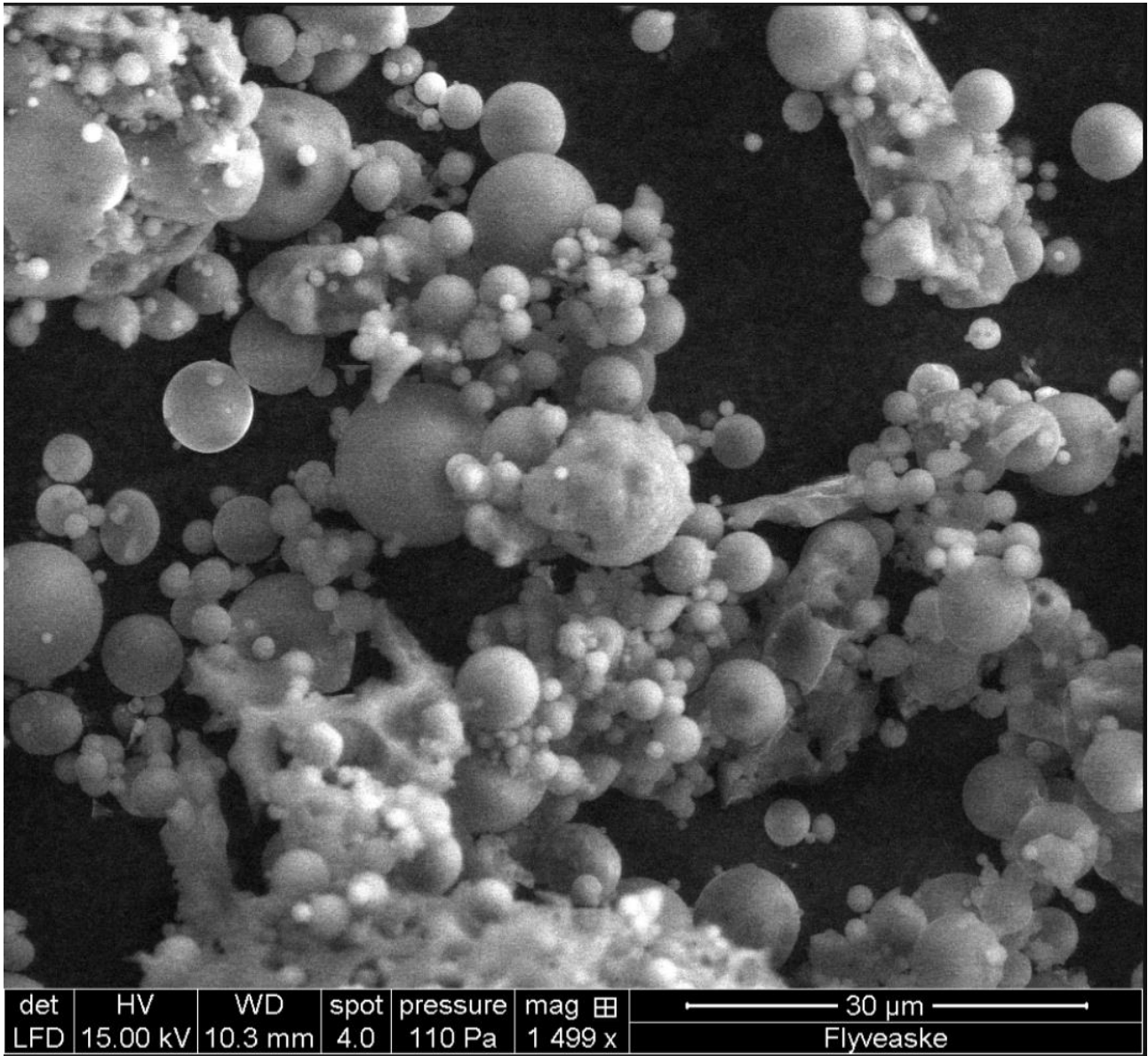
I

## Bilag 9. – SEM

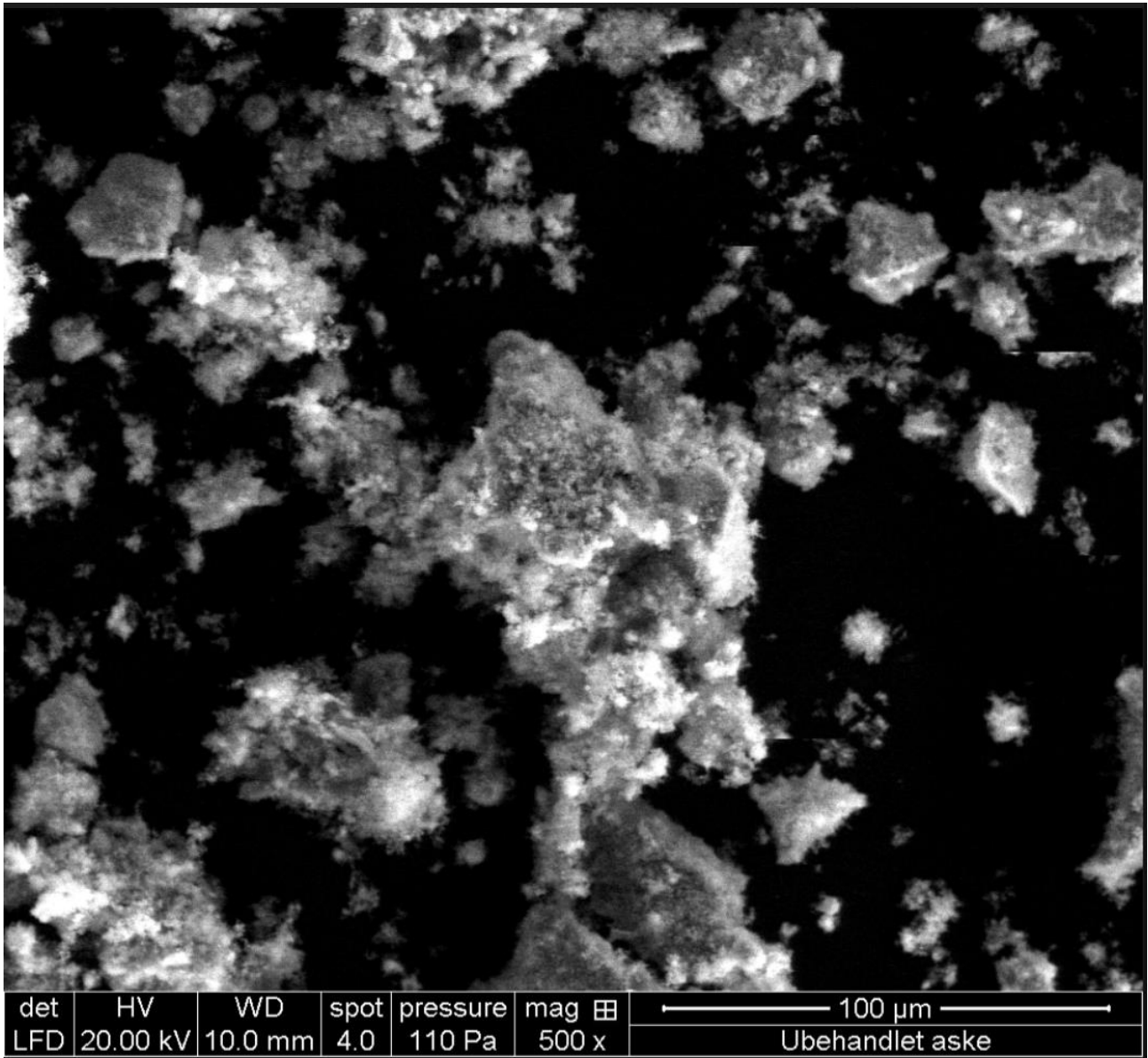
Almindeligt aske – Forstørret 500 gange.



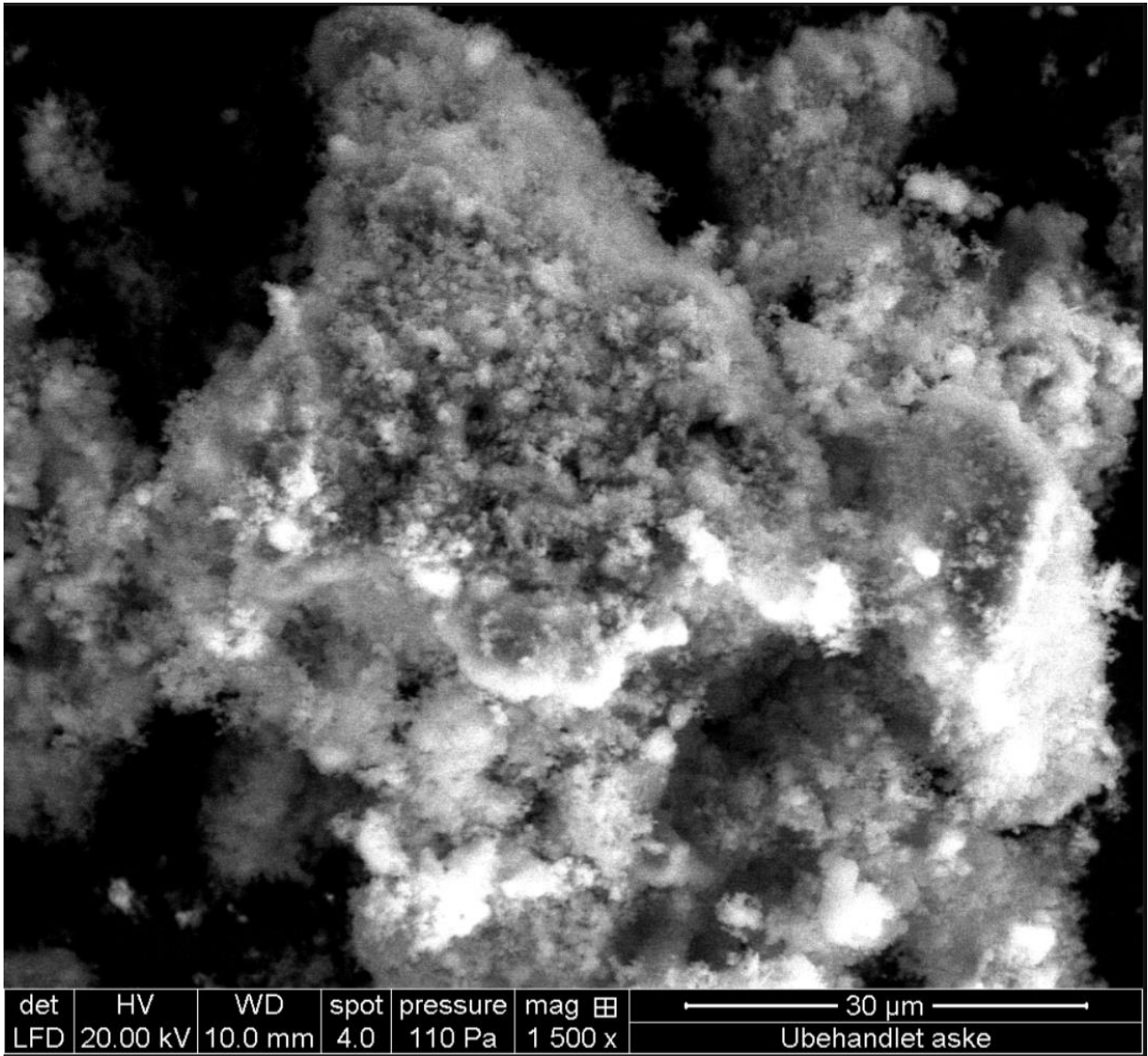
Almindeligt aske – Forstørret 1500 gange.



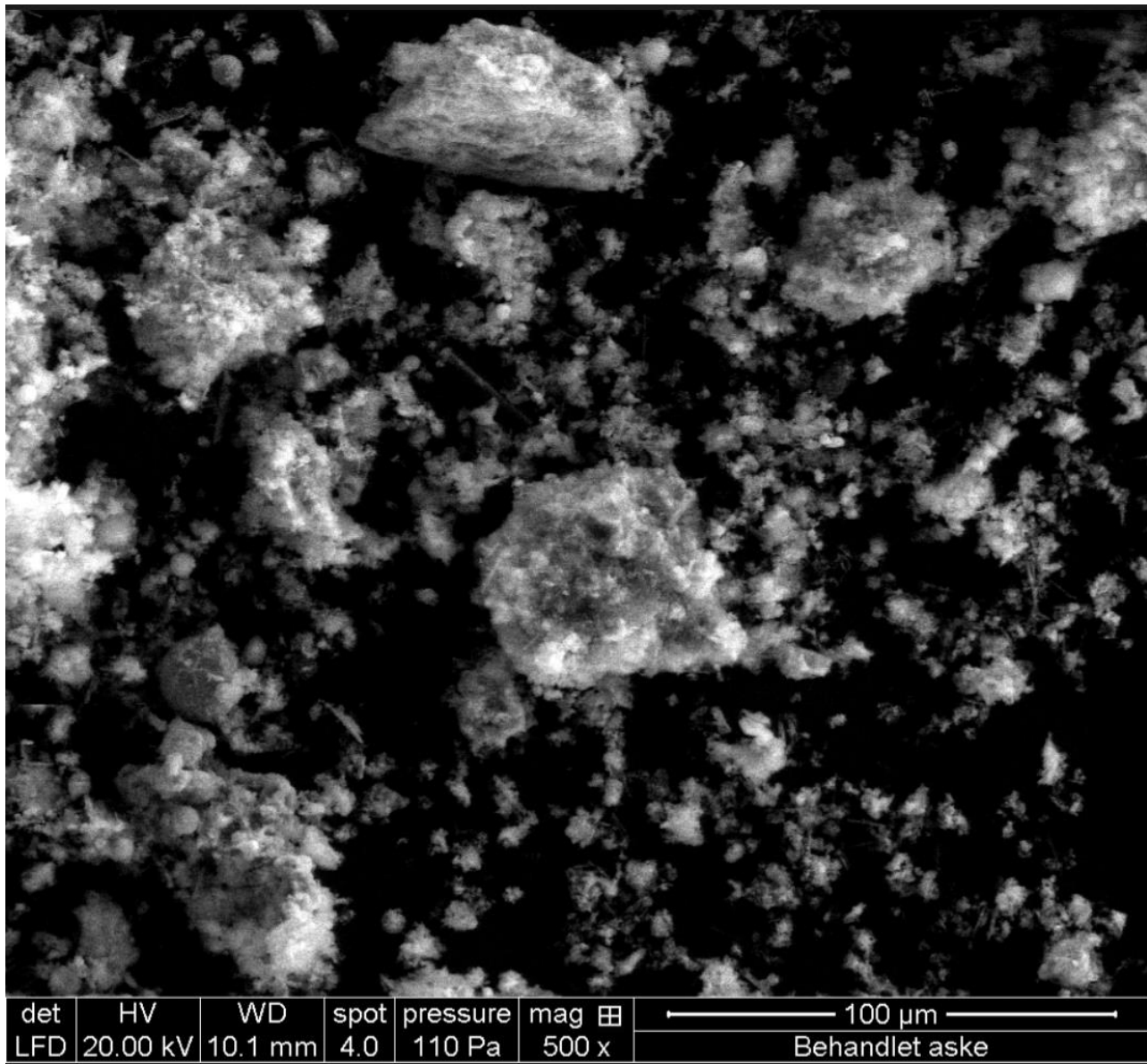
Ubehandlet flyveaske fra Sisimiut – Forstørret 500 gange.



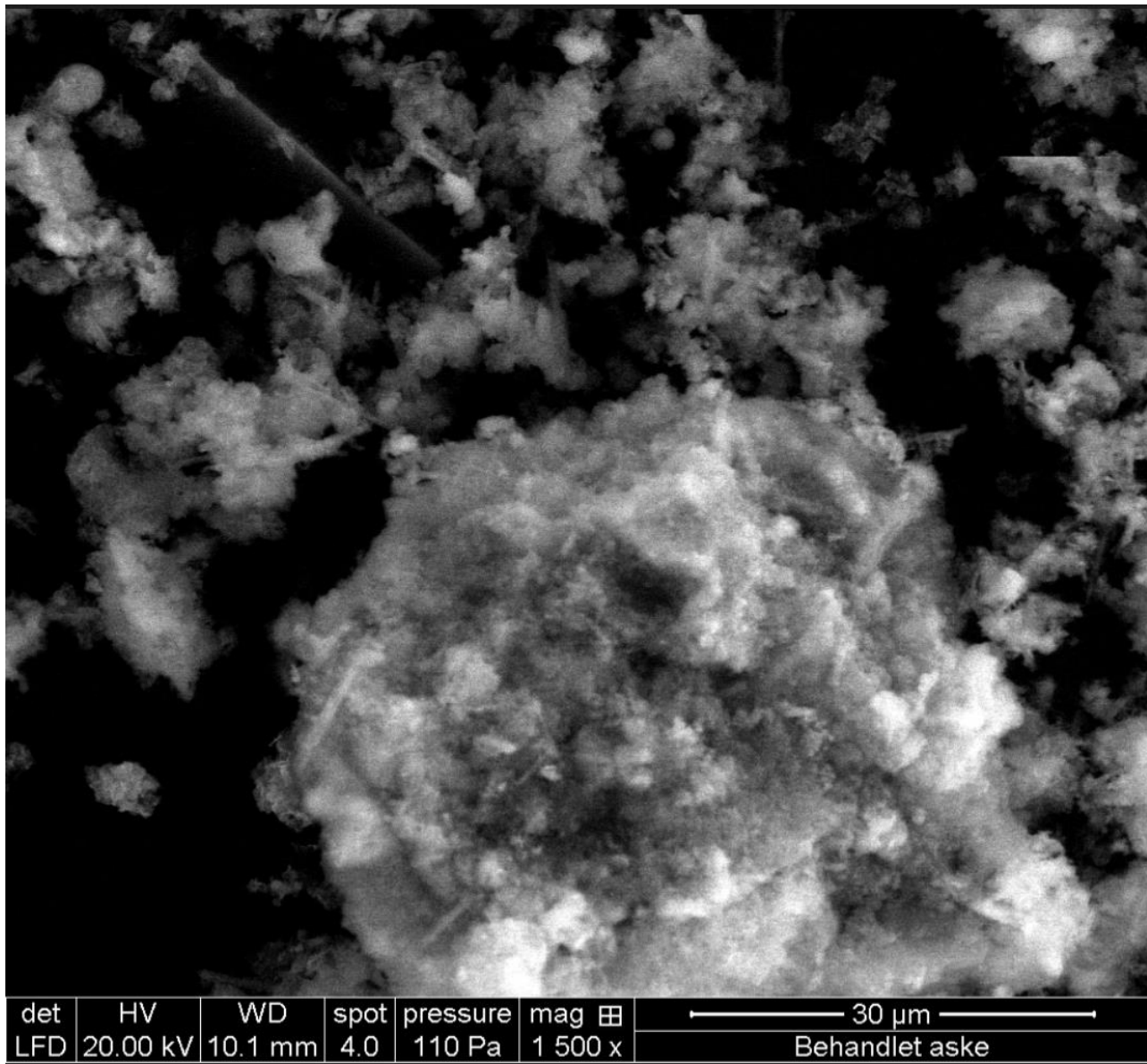
Ubehandlet flyveaske fra Sisimiut – Forstørret 1500 gange.



Behandlet flyveaske fra Sisimiut – Forstørret 500 gange.



Behandlet flyveaske fra Sisimiut – Forstørret 1500 gange.



## Forsøgsbeskrivelser

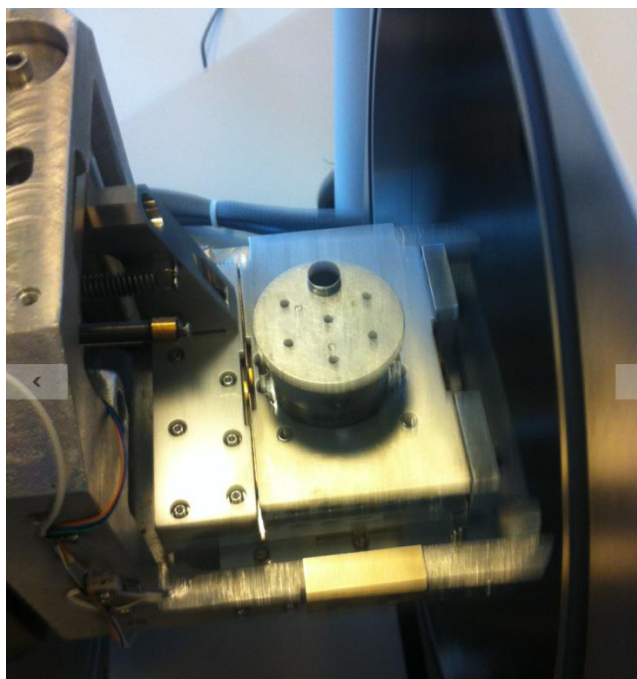
### Bilag 10. - SEM scanning

Med SEM scanning får man et billede af sin prøve i høj opløsning.



*Figur 31. - Hele SEM scanneren, FEI Quanta 2000*

Fremgangsmåde med FEI Quanta 2000.



*Figur 32. - Aske prøven indsat i Quanta 2000*

De aktuelle prøver findes frem. Prøverne kommer på en lille nål med et hoved på, hovedet har størrelse som en knap. På knappen kommer et lille stykke "dobbeltklister-tape" på. Oven på tapen kommer asken i et meget fint lag. Knappenålen bliver sat ind i maskinen på en oval metalplade. Maskinen lukkes. Derfra bliver alt styret over en computer. Den ovale metalplade med aske prøvet bliver tilpasset til kameraet, således at også der hvor ionerne bliver skudt ud fra ville ramme prøven. Når prøverne er færdige med at blive beskudt af ioner, er billedet klar til at blive videre behandlet. Efter en rendering kommer et fint billede frem i høj kvalitet.



## Bilag 11. - Laserdiffraktometer

Ved at benytte et laserdiffraktometer kan kornstørrelsen bestemmes.



Figur 33. - Hele Laserdiffraktometeret, MAINERN SCIROCCO 2000

Fremgangsmåde med MAINERN SCIROCCO 2000.

Maskinen kan arbejde med våde og tørre prøver. Der opnås bedst resultater med våde prøver, men det fungerer ikke så godt med aske.

Prøverne findes frem. Der tages en teske af det aske, der ønskes testet. Det ligges i en lang tynd pølse i en metal skål, der sider inden i maskinen. Når materialet er placeret lukkes maskine. Derefter starter man det hele op fra en computer. Man vælger den nødvendige indstilling og trykker start. Asken bliver suget ind i et lukket system, hvor der skydes laser igennem askekornene. Computeren opfanger antallet og størrelsen på kornene.



Figur 34. - Aske skuffe, tilførings beholder



Figur 35. - Der hvor asken bliver blæst igennem og målt

## Bilag 12. - Vicatronic manual

Apparatet benyttes til at bestemme afbindingstiden af en cementmørtel. Vicatronic er udstyret med en nål og en føler, som registrerer dybden af hvert nedstik i en mørtel i forhold til et kalibreret nulpunkt. Herved gives brugeren en nem og præcis måde at fastlægge afbindingens start- og sluttidspunkt. Testene udføres automatisk, så der opnås absolut præcision og validitet over resultaterne, da man undgår typiske fejl som er forekommende ved manuelt arbejde.

Denne instruktionsmanual giver en kort gennemgang af de test, som er mulige at udføre med Vicatronic. Der gives en beskrivelse af de operatørmæssige funktioner samt en gennemgang af kalibreringsmetoden. Endeligt gennemgås et eksempel på en test igennem en beskrivelse af en "standardprocedure", som vil give selv uerfarne operatører mulighed for at udføre en test.

Vicatronic har følgende operatørfunktioner, som er beskrevet kort i det nedenstående. På Figur 2 er de forskellige funktionernes placering afbildet.

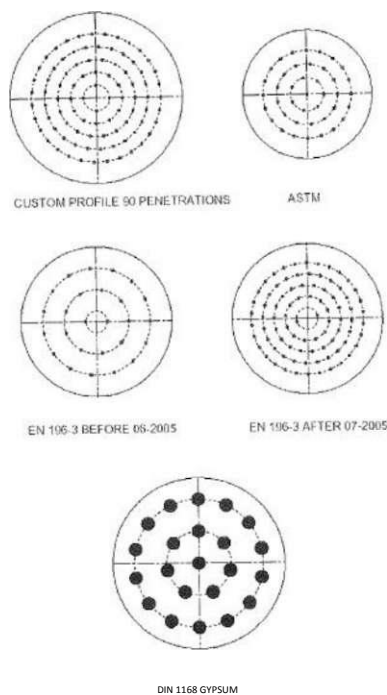
TABEL 1. OPERATØR FUNKTIONER PÅ VICATRONIC.

Element	Funktion	Beskrivelse
A1	Kontrolpanel	Indstillinger og data indtastes.
A2	Nål	Nålen som udfører nedstikket.
A3	Glasplade	Kan anbringes på roterpladen.
A4	Ramme	Den ydre ramme om apparatet.
A5	Kalibreret vægt (Ikke vist i dokumentet)	Bruges til at præcisere kalibreringen.
A6	Føler	Nålen er fastgjort herpå. Føleren bevæger sig vertikalt ved hvert nedstik.
A7	Roterplade	Holder prøven under tests.
A8	Hovedafbryder	Tænder og slukker apparatet.
A9	Strømindgang	Strømmen tilsluttes
B,	ESC-KNAP	Ved at trykke på 'ESCAPE KNAPPEN', da forlades enhver menu.
B2	Manøvreringsknap	Knappen kan drejes og benyttes til at manøvrere rundt i de forskellige menuer samt til at indtaste testdata. Ved tryk på manøvreringsknappen opnås 'ENTER FUNKTIONEN'. Herved åbnes menuer og valg bekræftes.

## 01 Test programmer

Det er muligt at udføre programtests iht. fem standarder og tests med brugerdefinerede indstillinger (FREE1 :FREE5). Test udført iht. standarder fremgår af nedenstående og tilhørende testprofiler for hver programtests fremgår af Figur 1.

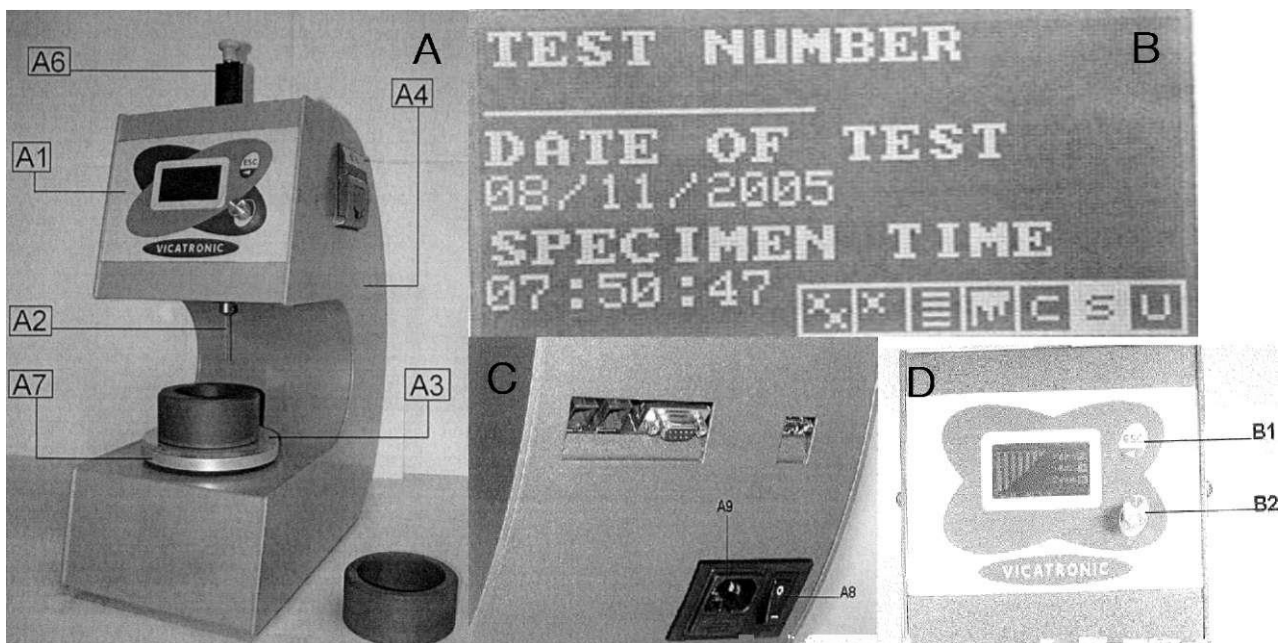
STANDARD	EN196-3:2005 (EN 196-3 BEFORE 06-2005)
Total number of penetrations	26
Conical mould	70 / 80 / 40 mm
Min. distance between two penetrations	10 mm
STANDARD	EN (EN 196-3 AFTER 07-2005)
Total number of penetrations	86
Conical mould	70 / 80 / 40 mm
Min. distance between two penetrations	10 mm
STANDARD	ASTM (ASTM C 191)
Total number of penetrations	41
Conical mould	60 / 70 / 40 mm
Min. distance between two penetrations	6.4 mm
STANDARD	DIN1168 GYPSUM (DIN 1168 GYPSUM)
Total number of penetrations	22
Conical mould	100 g.
Min. distance between two penetrations	08 mm / Length 50 mm
STANDARD	90 DROP (CUSTOM PROFILE 90 PENETRATIONS)
Total number of penetrations	90
Conical mould	80 / 90 / 40 mm
Min. distance between two penetrations	6 mm



FIGUR 1. TEST-PROFILER.

## 02 Test fremgangsmåde

1. Tænd apparatet ved at trykke på hovedafbryderen (A8) bag på apparatet.
2. Ved opstart vil der være en kort forsinkelse på 8-10 sekunder, mens nålen stiller sig i den korrekte position, før apparatet kan tages i brug.
3. Brug manøvreringsknappen (B2) til at vælge og styre igennem de forskellige menuer.
4. Brug ESC-KNAP (B1) til at forlade enhver menu.
5. Indstil manuelt maskinens tid og dato ved at gå ind i menuen OPTIONS fra hovedmenuen.
6. Fra menuen INSTRUMENTS vælges NEEDLE CALIBRATION for at kalibrere apparatet før en test jf. 03 *KALIBRERING*.
7. Efter endt kalibrering bekræftes kalibreringen ved tryk på manøvreringsknappen (B2). Føleren vil nu positionere sig i det højeste punkt før en test.
8. Placer prøven på bundpladen. Gå ind i menuen TEST EXECUTION fra hovedmenuen. De nødvendige test data indtastes jf. 04 *TEST DATA EKSEMPEL*. Testen kan efterfølgende påbegyndes ved tryk på manøvreringsknappen (B2).
9. Under hele testen er det muligt at følge dataene og hente information om hvert nedstik ved brug af manøvreringsknappen (B2).
10. Testen stopper automatisk. I menuen FILE TESTS vælges printerfunktionen "S" for at printe forsøgsdataene i et komplet print eller i en papirbesparende udgave.



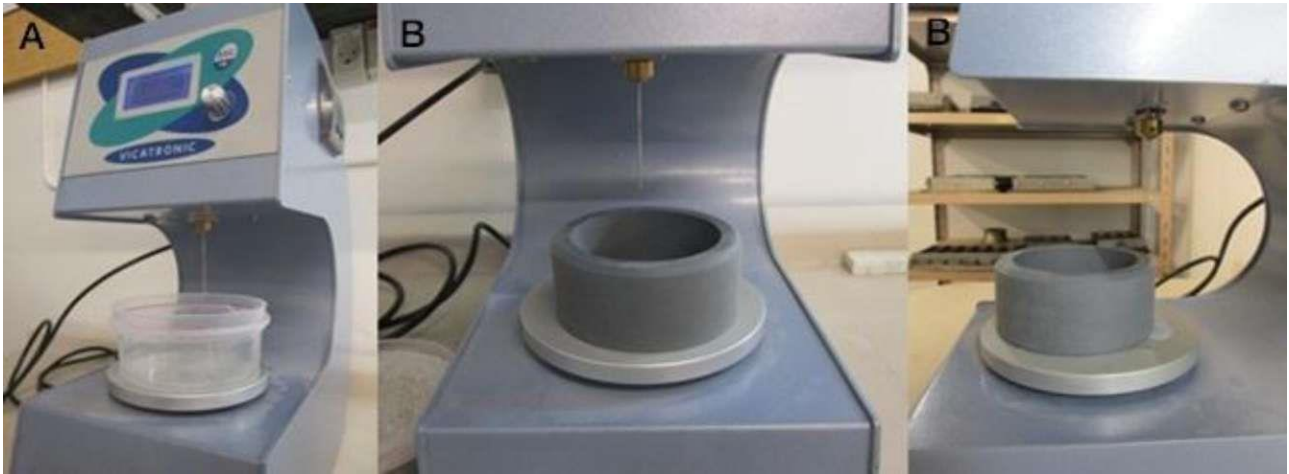
FIGUR 2. A: VICATRONIC APPARAT. B: PRINTERKNAP. C: HOVEDAFBRYDER. D: ESC-KNAP OG MANØVRERINGSKNAP.

### 03 Kalibrering **før test**

For at sikre brugbare resultater, kan det være nødvendigt at kalibrere Vicatronic før en test påbegyndes. Apparatet skal kalibreres for et nulpunkt og et øvre punkt som benyttes som referencepunkter for målingerne. I dette eksempel på en kalibrering, vælges det at benytte et øvre punkt på 40 mm.

1. Tænd apparatet ved at trykke på hovedafbryderen (A8) bag på apparatet.
2. Brug manøvreringsknappen (B2) til at vælge menuen INSTRUMENTS fra hovedmenuen og igen til at vælge undermenuen NEEDLE CALIBRATION.
3. Placer beholder på roterpladen (A7). Apparatet måler først nulpunktet (0,0 mm). Dette punkt skal korrespondere til bunden af din prøveblanding. Benyt derfor samme beholder som prøveblandingen fyldes i for at undgå fejl ved en bundtykkelse. Eventuelt kan et tomt XL rejebæger fra COOP benyttes, se Figur 3.A.
4. Bekræft at kalibreringen er klar til at foretages ved tryk på manøvreringsknappen (B2). Nålen vil falde indtil den møder modstand. Ved tryk på manøvreringsknappen (B2) bekræftes, at nålen har ramt bunden i beholderen og nulpunktet lagres i Vicatronics hukommelse. Nålen vil efterfølgende positionere sig i udgangsposition. Rør IKKE ved beholderen eller nålen endnu.
5. Umiddelbart efter vil nålen falde endnu engang og ramme beholderens bund. Vicatronic vil nu have bekræftet, at toppunktet er ramt. Hæv nålen ved at løfte i føleren (A6) og indsæt en referenceblok som har den ønskede højde, i dette tilfælde 40 mm, se Figur 3.B.

6. Nålen skal hvile på referenceblokkens kant. Herefter bekræftes toppunktet ved tryk på manøvreringsknappen (B2). Nålen vil indstille sig i udgangsposition og kalibreringen er nu udført.

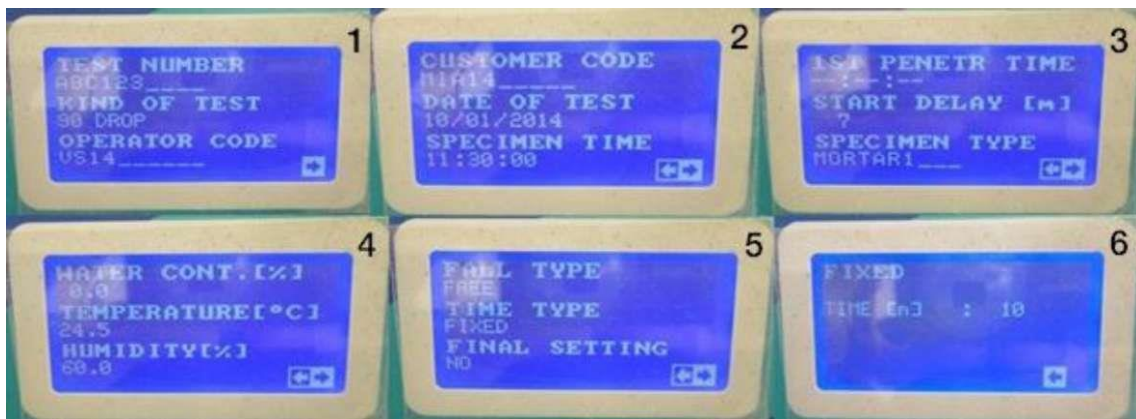


FIGUR 3. A: KALIBRERING AF NULPUNKT (0,0 MM). B: KALIBRERING AF TOPPUNKT (40,0 MM).

## 04 Test data eksempel

Fra hovedmenuen gå ind i TEST EXECUTION for at starte en test. Et eksempel på testdata med en tilhørende billedinstruktion, Figur 4, er vist i det nedenstående i henhold til testen 90 DROP (CUSTOM PROFILE 90 PENETRATIONS):

TEST NUMBER	ABC123	(Test identifikationskode)
KIND OF TEST	90 DROP	(Profil test type)
OPERATOR CODE	VS14	(Operatørens identifikations kode)
COSTUMER CODE	MIA14	(Modtagerens identifikations kode)
TEST OF DATE	10/01/14	(Dato for test)
SPECIMEN TIME	11:30:00	(Indtast start tidspunkt for hydratisering)
1ST PENETR TIME [hh.mm.ss]	--:--:--	(Starttid af test)
START DELAY [m]	7 min	(Udskydning af start) fravælges automatisk
<i>BEMÆRK!</i> Ved valg af START DELAY	1ST PENETR TIME.	
SPECIMEN TYPE	MORTAR1	(Identifikation af prøvens type)
WATER CONT. [%]	0.0	(Procent af prøvens vandindhold)
TEMPERATURE [°C]	24.5	(Temperaturen i rummet, stuetemperatur)
HUMIDITY [%]	60.0	(Fugtigheden i rummet)
FALL TYPE	FREE	(Vælg mellem GUIDED og FREE FALL)
TIME TYPE	FIXED	(Tidsinterval type mellem hvert nedstik)
FINAL SETTING	NO	(Tidsinterval type mellem hvert nedstik)
FIXED TIME [m]	10 min	(Tidsinterval i minutter mellem hvert nedstik)



FIGUR 4. BILLEDEINSTRUKTION AF TESTINDSTILLINGER FOR TEST TYPE "90 DROP".



## Bilag 13. - Blande og vibration

### 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

## Bilag 14. - Vandindhold i jord

### A Princip

I forbindelse med den elektrodialytiske jordrensning har jordens vandindhold stor betydning, da den elektriske strøm ledes gennem jorden via jordvæsken. Er vandindholdet i jorden mindre end ca. 15 %, er det nødvendigt for forsøgets gennemførelse at tilføre jorden ekstra væske.

### B Specielt apparatur

Til analysen benyttes et varmeskab.

### C Analysens udførelse

#### ***Ved meget præcis måling:***

3 bægerglas stilles i varmeskab ved 105°C natten over.

Bægerglassene stilles til afkøling i eksikator og vejes på analysevægt.

#### **Dette gøres vha. en tang, fingrene afsætter fugt.**

Der afvejes 5 g jord i hvert bægerglas, og prøverne tørres ved 105°C i varmeskab. Bægerglassene med den tørrede jord vejes på analyse vægt efter afkøling i eksikator.

#### ***Ved mindre præcis måling (mest anvendt):***

3 bægerglas afvejes på teknisk vægt. Der overføres en vis mængde til hvert bægerglas, som igen vejes på teknisk vægt. Bægerglassene stilles i varmeskab natten over ved 105°C. Bægerglassene med den tørrede jord vejes efter afkøling på teknisk vægt.

**D**      **Beregning af resultat**

Vandindholdet angives i procent af vægten af den fugtige jord.

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

**E**      **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

## Bilag 15. - Carbonatisering

Formålet med et carboniseringsforsøg er at ændre pH-værdien i det pågældende stof.

Følgende udstyr skal bruges:

- Vægt
- Ske
- 250 cl plastbeholder med låg
- pH-måler
- Demineraliseret vand

Når udstyret er fundet frem, kan forsøget begynde.

Plastbeholder bliver vejjet. Derefter tages det pågældende stof med en ske over i plastbeholderen, som herefter vejes. Nu skal det demineraliserede vand tilføres. Det hele skal vejes og noteres. Herefter rystes plastbeholderen med låg meget grundigt. Først når alt stof er blevet opløst i vandet stoppes der.

Nu kan der måles en pH-værdi.

Dette gentages med den samme prøve over en længere periode.

Asken skal have vand og luft for at reagere. Herved starter en  $H^+$  reaktion som ændrer pH-værdien.

## Bilag 16. - Tørring af sand

Først hentes det sand, der skal bruges i mørtelprøverne i beton laboratoriet/kælderen.

Sandet der skal bruges til mørtelprøverne skal også være tørt. Grunden til dette er, at det er nemmere at beregne vandindholdet i støbeprocessen.

Derfor blev der taget søsand 0-4 mm fra beholderne for oven og tørret i en ovn.



Figur 36. - Beholder i kælderen med sand

Prøverne blev nu sat i en ovn på 105 C, der skulle de stå mindst 16 timer.



Figur 37. - Ovn til 105 °C



Figur 38. - Bakker med sand i ovn

Sandet skulle stå minimum 16 timer i ovnen før det var helt tørt. Efterfølgende kom sandet ned i en lufttæt spand.

## Bilag 17. - Støbning og afformning

Nu begyndte blandingen. Dette skete på Hobart 2.



Figur 39. - Hobart, blandemaskine



Figur 40. - Støbeforme med mørtelprøver

Når prøverne var afvejede og blandet, kom de over i nogle forme. I formene var der formolie, så prøverne nemmere ville kunne slippe formene. Desuden blev alle prøverne vibreret i 2 X 30 sek. Der var meget vigtigt at bruge handsker og støvmaske under blandingen.

Efter en døgn, kunne prøverne tages ud af formen. Til dette blev brugt en gummihammer og spartel. Med et par hårde bestemte slag i hjørnerne på formen, løsnede delene sig i formen. Dette gjorde at mørtelprøverne kunne fjernes en for en.



Figur 41. - Afformning af mørtelprøver



Figur 42. - Kar med vand til mørtelprøver

Når prøverne var ude af formen, blev de lagt ned i karet med destilleret vand, som var blevet forberedt for inden. Vandkaret var kun for de prøver, som skulle bruges til dette forsøg. Dette skyldes, at asken fra mørtelprøverne ikke skulle ændre miljøet i vandet for andre prøver.

## Bilag 18. - TONI 3000

Seks dage senere var det tid til at tage prøverne op af vandet og begynde at måle på størrelsen og vægten af prøverne. Dimensionerne blev målt med en skydelærer for at få forholdsvis præcise målinger. Når dette var noteret blev TONI 3000 tændt, og programmet blev indstillet efter størrelsen, dimensionerne og en forventet maks. trykstyrke.



Figur 43. - Skydelærer



Figur 44. - Skærbillede på TONI 3000

Da indstillingen var færdig, kunne mørtelprismene trykprøves i TONI 3000. Laboratoriekoordinator Ebba C. Schnell hjalp med at indstille TONI.

Inden prismen kunne sættet ind i TONI, skulle der laves en opstilling, så alle prøver blev trykket ens. Det blev gjort med nogle metallodser, der kunne holde nogle grundafstande. Nu kunne prøverne sættes ind og trykprøves. Prøverne skal trykkes to gange pr. prisme på den tynde side. Det var under hele trykprøveforsøget vigtigt at bruge beskyttelsesbriller.



Figur 45. - TONI 3000, trykmaskine



Figur 46. - Mørtelprøve

Efter prøverne var blevet trykket, blev der gemt en lille del af hver prøve til Lektor Gunvor Marie Kirkelund. Disse skal bruges til videre forskning.

## Bilag 19. - Kemisk risikovurdering

# Kemisk risikovurdering

Beskrivelse af det  
arbejdsområde  
risikovurderingen dækker  
– fx forskning i organiske  
polymerer, øvelseskursus nr.  
xxxxx, navn på proces,  
kursus, etc.

Bachelor projekt Aske i beton

Dato: 23-02-2015

Udfærdiget af: Vilhelm S.P. Christensen

Ansvarlig kemiker (underskrift):

[Signature]

Skemaet udfyldes ud fra kendskab, dels til arbejdsprocessen/forskriften og dels til relevante arbejdspladsbrugsanvisninger.

Side 1



## BESKRIVELSE AF ARBEJDSPROCESSEN

Beskrivelsen kan evt. laves som et flowdiagram over processen – altså opdeling i logiske delprocesser.

blanding af cement, sand, vand og aske / flyveaske

## KEMIKALIER

Her oplistes de anvendte kemikalier.

- Aske
- Cement

## VÆSENTLIGE FARER FRA KEMIKALIER

Kun de farligste stoffer medtages – stoffernes farlige egenskaber og eksponeringsart beskrives – fx giftig v. indånding, kræftfremkaldende v. hudkontakt og brandfarlig. Mængden angives, hvis den adskiller sig væsentlig fra alm. laboratoriarbejde.

Asken er meget skadeligt for levende ting. Det kan medføres ved indånding og kontakt med kroppen.

## VÆSENTLIGE FARER FRA ARBEJDSPROCESSEN

fx laser, vakuum, sammenblanding af kemikalier, udstyr i øvrigt – fx glasudstyr under vakuum med risiko for sprængning.

ved sammenblandingen af kemikalier skal bæret støv maske, briller og handsker

## RISIKO FOR PÅVIRKNING

Vurdér reel risiko ifht. arbejdsproces. At kemikalierne er farlige ved indånding, er ikke ensbetydende med at der er risiko for indånding ved denne arbejdsproces. Overvej hvor i arbejdsprocessen den pågældende risiko er tilstede – er det under hele arbejdsprocessen eller kun i en enkelt delproces.

påvirkningen er stærkt masket af støvet og på pulver form. Da det støver når du er kommet vand i er faren lille.

## SUBSTITUTIONSOVERVEJELSER

Her redegøres for hvad der er gjort af forsøg og overvejelser ifht. substitution af farlige kemikalier eller arbejdsprocesser. Husk at det også er substitution at anvende små mængder i stedet for store mængder.

Skemaet udfyldes ud fra kendskab, dels til arbejdsprocessen/forskriften og dels til relevante arbejdspladsbrugsanvisninger.

Side 2

## NØDVENDIGE SIKKERHEDSFORANSTALTNINGER

<b>Ventilation</b>	Stinkskab: Punktsug: Skal brugt når kemikalierne blandes Laf-bænk: Andet: Er det angivne nødvendigt i hele arbejdsprocessen, eller kun i dele, beskriv: Det er kun nødvendigt indtil der tilsættes væske
<b>Kemikaliehandsker</b> (angiv ca. gennembrudstid hvis det er muligt)	Hvilke: Engangs handsker Gennembrudstid: Er de angivne handsker nødvendige i hele arbejdsprocessen, eller kun i dele, beskriv: Ja der er ætsningsfare
<b>Andre personlige                  værnemidler</b>	Kittel: Ja Sikkerhedsbriller: Ja Åndedrætsværn (angiv filter) Ja Særligt fodtøj (angiv hvilket) _____ Andet _____ Er det angivne nødvendigt i hele arbejdsprocessen, eller kun i dele, beskriv: Åndedrætsværn brugt ikke ved alle processer
<b>Sikkerhedsforanstaltning                  er i øvrigt</b>	Særlig varmekilde v. brandfare: _____ Andet: _____
<b>Særligt nødhjælpsudstyr:</b>	Særligt brandslukningsmiddel: _____ Evt. modgift _____ Andet _____
<b>Særlig uddannelse eller                  instruktion:</b>	Lovpligtig uddannelse, hvilken: _____  Instruktion i brug af særligt farligt udstyr, hvilket:  Andet:

Skemaet udfyldes ud fra kendskab, dels til arbejdsprocessen/forskriften og dels til relevante arbejdspladsbrugsanvisninger.

Side 3

## HVAD SKAL GØRES VED UHELD OG EVT. SPILD?

Her kan beskrives handling ved **relevante** uheld, opsamling og bortskaffelse af spild, procedurer for information ved uheld osv.

- ved øjn-skade, skyld øjet.
- kontakt med hud, VASK at hurtigst muligt.

## AFFALD

Instruks om mærkning af affaldsdunk – hvilken affaldsgruppe, UN-nr., o. lign. – evt. kort beskrivelse af at affaldet herefter leveres til kemikalieaffaldsansvarlig (navn).

## GRAVIDE OG AMMENDE

Er arbejdsprocessen/området sikkert for gravide og ammende??

Ja \_\_\_\_\_ begrundelse: \_\_\_\_\_

Nej  begrundelse: Der er tungmetaller og andre giftige stoffer i asken.

## FORSLAG TIL FORBEDRINGER AF SIKKERHEDEN:

Dette punkt er tænkt som input til en samlet APV for instituttet/afdelingen.

- Arbejdet skal foregå i et passende tempo, Ingen løb eller lignende er tilladt.

Skemaet udfyldes ud fra kendskab, dels til arbejdsprocessen/forskriften og dels til relevante arbejdspladsbrugsanvisninger.

Side 4