

Kristian Hartvig Jørgensen

s120030

Brug af slamaske med højt aluminiumindhold i beton



Afgangprojekt
Februar 2016

Forord

Denne rapport er skrevet af Kristian Hartvig Jørgensen i perioden 5/10-15 – 29/1-16, som afgangsprøve for Diplomuddannelsen.

Tak til Lisbeth M. Ottosen for vejledning og sparring gennem hele projektet. Tak til Ebba Cederberg Schnell og Per for vejledning i laboratoriet under hele forløbet. Tak til Pil og Nina for hjælp til diverse forsøg.

Sidst men ikke mindst, tak til min familie, venner og kæreste for støtte og opbakning gennem hele projektet.

Målgruppen for denne rapport er medstuderende og undervisere på DTU.

Resume

Der er i denne rapport er der arbejdet med mørtelprøver med slamaske, fra Lundtofte renseanlæg, som delvis erstatning for cementen. Der er først lavet blandinger med 5 og 10 % erstatning af cementvægten uden at tilføje ekstra vand til blandingen, for at holde det samme vand/pulver forhold. Dette viste et stort tab i bearbejdelighed allerede ved 5 %, hvilket gjorde udstøbning af prøveformene besværlig. Det blev besluttet, at der skulle laves prøver med ekstra vand og superplastificerende stoffer for at prøve at få bearbejdeligheden op og mindske styketabet.

Der er blevet udført trykprøver og flydemål, hvor resultaterne sammen giver sammenhæng mellem bearbejdelighed og styrke ved tilførsel af slamasken. Sideløbende er der udført densitets- og porøsitetsprøver og Vicatmålinger.

Det viste sig at tilføjelse af ekstra vand, kun gav en lav forøgelse af bearbejdeligheden. Styrken faldt dog grundet det forøgede vand/pulver forhold.

Ved 5 % erstatning af cementvægten med slamaske, og tilsætning af superplastificerende middel, kan der opnås en 7 dages styrke der kun taber 3,5 % ved et vand/pulver forhold på 0,5. 14 dages styrken er ligeledes kun 3,3 % lavere end referencen.

Asken viser sig ud fra de udførte prøver sig egnet til at tilføre betonblandinger.

Abstract

This report covers tests on mortar samples with sewage sludge ash, from Lundtofte wastewater treatment plant, as partial replacement of cement. Initially mixtures were made with 5 and 10 % replacement of the cement mass without added water to keep the same water/powder ratio. Already at 5 % replacement the mortar showed a great loss in processability and compression strength. The low processability made the casting of the samples a bit difficult. It was decided to make samples with added water and superplasticizing additives to increase the processability and maybe reduce the loss of strength.

Tests of compression strength and consistency were executed. The results of these test is kept together to compare the processability and the compression strength. Tests of density, porosity and Vicat-tests were made alongside the other tests.

Adding extra water only increased the processability a small amount and the compression strength went down caused by the increased water/powder ratio.

By adding superplasticizing additives to the 5 % replacement mixture the loss in strength is reduced to 3.5 % for a 7-day sample and 3.3 % for a 14-day sample while keeping a water powder ratio on 0.5. This is compared to a reference sample of normal mortar.

The ash was found to be suitable for concrete mixtures.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	3
Resume.....	4
Abstract	5
1 Indledning.....	9
2 Teori.....	10
2.1 Beton	10
2.1.1 Betonens historie	10
2.1.2 Delmaterialer og faser i beton	10
2.1.3 Vand/cement forhold	10
2.1.4 Puzzolaner	11
2.1.5 Porøsitet og densitet	11
2.1.6 Superplastificerende tilsætningsstoffer	12
2.1.7 Flydemål og sætmål.....	12
2.1.8 Strukturudvikling	12
2.1.9 Styrke.....	13
2.2 Slamaske.....	13
2.2.1 Askekarakteristik	13
2.2.1.1 pH + ledningsevne	13
2.2.1.2 Vandopløselige anioner + N, K	13
2.2.1.3 Oplukning	13
2.2.1.4 Kornstørrelse	13
2.2.1.5 Glødetab	14
2.2.1.6 Vandindhold	14
3 Arbejdsproces og metoder.....	15
3.1 Arbejdsproces.....	15
3.2 Metoder.....	17
3.2.1 Støbning.....	17
3.2.2 Trykprøver	17
3.2.3 Flydemålsprøver.....	18
3.2.4 Porøsitets- og densitetsprøver	19
3.2.5 Vicat målinger.....	20
4 Resultater og diskussion.....	21
4.1 Trykprøvning af mørtelprøver.....	22

4.1.1	Indledende trykprøver.....	22
4.1.2	Videregående trykprøver	23
4.2	Flydemål og sætmål sammenlignet med styrke.....	24
4.2.1	Reference og prøver uden ekstra vand eller superplast	26
4.2.2	Superplastificerende tilsætningsstof.....	26
4.2.3	Ekstra vand	27
4.2.4	Kornform af asken	28
4.3	Densitet og porøsitet.....	29
4.3.1	Densitet	29
4.3.2	Porøsitet	29
4.4	Vicatmålinger	30
4.5	Bolomys formel	31
4.6	Askekarakteristik	32
4.6.1	Oplukning	32
4.6.2	Vandindhold	32
4.6.3	Anioner	33
4.6.4	pH og ledningsevne	33
4.6.5	Kornstørrelse	34
4.6.6	Glødetab.....	34
5	Konklusion	35
6	Videre arbejde	36
7	Litteraturliste.....	37
	Bilag	38
	A. Forsøgsvejledninger	38
	A.1 Flydemålsvejledning.....	38
	B. NRG-500 – Superplastificerende tilsætningsstof	39
	C. Støbeskema	42
	C.1 Første omgang prøver	42
	C.2 Anden omgang prøver.....	43
	D. Resultater for trykprøver og flyde-/sætmål	44
	D.1 Første omgang prøver.....	44
	D.2 Anden omgang prøver	46
	E. Densitet og porøsitet.....	49
	F. Askekarakteristik	50

F.1	Oplukning.....	50
F.2	Vandindhold	51
F.3	Anioner	52
F.4	pH og ledningsevne	53
F.5	Kornstørrelser	54
F.6	Glødetab	57

Figurliste

Figur 1 - Delmaterialer og faser i beton (Bygningsingeniørens materialer, 2008: 50).....	10
Figur 2 - Arbejdsproces.....	15
Figur 3 - Trykprøveopstilling på Toni 300	18
Figur 4 - Trykstyrkeforløb over 28 dage – indledende prøver med standardafvigelse	22
Figur 5 - Trykprøver - 7 dages prøver med standardafvigelse.	23
Figur 6 - Trykstyrkeforløb for reference og 5 % erstatning med og uden superplast	24
Figur 7 - Flydemål med vand/pulver forhold.....	25
Figur 8 - Sætmål med vand/pulver forhold	25
Figur 9 - Trykstyrke med vand/pulver forhold	26
Figur 10 - SEM af Lundtofte aske (Rosemai, L. & Svendsen, S. 2012: s. 28).....	28
Figur 11 - Vicatmålinger	30

Tabelliste

Tabel 1 - Resultater af densitet og porøsitetsprøver	29
Tabel 2 - Tabelværdier fra (Gottfredsen. 2006. s 214).....	29
Tabel 3 - Aktivitetsfaktor for asken	31
Tabel 4 – Indhold af metaller i asken	32
Tabel 5 - Indhold af anioner i slamasken.....	33
Tabel 6 - Askens kornstørrelse ved 0,1, 0,5 og 0,9 fraktilerne	34

1 Indledning

Denne rapport omhandler brugen af slamaske fra Lundtofte renseanlæg, som delvis erstatning for cementen.

Lundtofte renseanlæg renser hvert år 8-12 millioner m³ vand. I rensningsprocessen bundfæles en masse slam. Denne slam opbevares i tanke og danner naturgas, der sælges til nærliggende beboelighedsejendomme, eller benyttes i anlæggets eget afbrændingsanlæg. Slammet afbrændes derefter. Slamasken benyttet i denne rapport er et produkt af udfiltreringen af røggasserne fra denne slamafbrænding. Der er flere trin i rensningen af røggasserne fra afbrændingen. Cyclonasken, som er benyttet til forsøgene i denne rapport, er fra første trin af rensningsprocessen.

Selvom denne rensningsproces er med til at skåne miljøet for en masse giftige røggasser, bliver asken deponeret til høje priser, og ikke benyttet til noget. Betonfabrikanter betaler i dag mange penge for cement. Disse fabrikanter vil sandsynligvis være meget interesseret i at modtage denne aske og benytte den i beton, hvis det viser sig muligt.

Denne rapport undersøger om der er en mulig løsning på dette problem.

Der er lavet mørtelprøver med 5 og 10 % erstatning af cementvægten med slamasken. Prøvernes bearbejdelighed og trykstyrke undersøges med henblik på at finde den optimale løsning. Samtidig undersøges askens indvirkning på porøsitet, densitet og afbinding.

2 Teori

I dette afsnit er teorien omkring projektet gennemgået. Teorien omkring beton er baseret på Bygningsingeniørens materialer – uddrag af Materialebogen, 2012 kapitel 4 og 5. (Nielsen, A. 2012. s. 39) (Geiker, M. & Nielsen, A. 2012. s. 49)

2.1 Beton

2.1.1 Betonens historie

Beton blev benyttet af romerne allerede tilbage i år 120-125, da Pantheon blev opført i Rom. Bindemidlet var ikke cement som det kendes i dag, dog var reaktionsproduktet tilsvarende ved reaktion med vand. Viden om denne teknologi gik dog tabt, og forskere kom først på sporet af dette igen i det 18. og 19. århundrede.

I dag er beton et af de mest benyttede byggemateriale verden over. Prisen på beton er meget lav, og sammen med dets egenskaber i hærdet tilstand og formbarheden i frisk tilstand, er det det ideelle byggemateriale til næsten alle opgaver. I dag benyttes beton sammen med armering til alt fra husbyggeri til veje og broer.

2.1.2 Delmaterialer og faser i beton

Beton består af 3 hoveddele, som set på Figur 1: bindemidler, tilslag og væsker. Det vigtigste bindemiddel i beton er cementen, der binder hele blandingen sammen. Tilslagene består af sten, sand og eventuelt en inert filler. Væskeerne består hovedsageligt af vand. Dog tilføjes der tilsætningsstoffer for at forbedre betonens egenskaber i frisk, hærdende eller hærdet tilstand. Der kan for eksempel tilføjes superplastificerende middel for at forbedre betonens bearbejdelighed i frisk tilstand.

De normalt benyttede sten brugt til tilslag er ofte stærkere end selve mørtlen. Mørtlen er derfor den styrkegivende faktor, idet det vil bryde først.

Finstoffer								
Tilslag			Bindemidler			Væsker		
Sten	Sand	Inert filler	Cement	Flyveaske	Mikrosilica	Tilsætningsstoffer	Vand	Luft
			Cementpasta					
			Kitmasse					
			Mørtel					
Beton								

Figur 1 - Delmaterialer og faser i beton (Bygningsingeniørens materialer, 2008: 50)

2.1.3 Vand/cement forhold

Forholdet mellem vand og cement i beton, er meget væsentlig for styrken i betonen. Et lavt vand/cementforhold giver en beton med høj styrke. Et lavt vand/cementforhold giver ofte en lav bearbejdelighed, da betonen bliver tør/tyk.

Når der tilføjes et andet stof til cementblandingen, som slammaske, snakkes der om vand/pulver forhold.

2.1.4 Puzzolaner

Puzzolaner består hovedsageligt af SiO_2 (ca. 60-100 %) og Al_2O_3 (0-40 %) og er glasagtige eller finkrystalliske pulvere. Puzzolaner er ikke i stand til selv at danne bindemiddel, dog ved opblanding med CaO , kan det komme over i nærheden af portlandcement.

For at finde ud af om slamasken har puzzolaneffekt benyttes Bolomys formel:

$$f_c = K \left(\frac{1}{v/(c + p * k)} - 0,5 \right)$$

f_c er styrken af betonen ved denne blanding. K -værdien er for beton med dansk cement med almindeligt dansk tilslag. Dette beton er hærdet i 28 dage ved 20°C . v er mængden af vand i blandingen i gram. c er mængden af cement i gram. p er mængden af puzzolan i blandingen, og k er aktivitetsfaktoren af puzzolanen.

2.1.5 Porøsitet og densitet

Porøsiteten i et materiale er et udtryk for, hvor skrøbeligt materialet er. Høj porøsitet fortæller at materialet har store pore, og derved kan indeholde meget vand. Det er vigtig at vide, hvor meget vand beton kan indeholde, da vand i porerne kan få beton til at revne/springe når vandet fryser.

Til udregningerne af porøsitet og densitet, skal der udføres nogle målinger på mørtelprøverne. Disse er beskrevet i 3.2.4 og giver størrelserne m_{50} (massen af mørtelprøven tørret ved 50°C i 3 uger), m_{ssd} (massen af mørtelprøven i overfladetør tilstand) og m_{sw} (massen af mørtelprøven under vand i vakuummættet tilstand).

Udregninger benyttet til at finde porøsitet og densitet:

For at kunne finde den helt korrekte densitet af materialet skal den præcise volumen findes. Massen af prøven findes over og under vand. Det totale volumen findes ved at finde vægten af den fortrængte mængde vand og dele det med densiteten af vand:

$$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$$

Volumen af prøvens åbne porer ($V_{p\hat{a}}$) i hele materialet. Forskellen mellem den enkelte prøves masse i udtørret tilstand og massen i vandmættet overfladetør tilstand, giver massen af vand i prøvens pore. Denne masse omregnes til et volumen ved at dele med vands densitet:

$$V_{p\hat{a}} = (m_{ssd} - m_{50}) / \rho_w$$

Faststoffdensiteten beskriver selve mørtlens densitet, hvis der ingen åbne porer fandtes. Densiteten af udtørret materiale delt med volumen af prøven uden åbne porer:

$$\rho_f = m_{50} / (V - V_{p\hat{a}})$$

Tørdensitet beskriver densiteten af selve prøvens densitet i tør tilstand:

$$\rho_d = m_{50} / V$$

Densitet af prøvelegemet i vakuummættet overfladetør tilstand:

$$\rho_{ssd} = m_{ssd}/V$$

Prøvelegemets åbne porøsitet beskriver, hvor stor en procentdel af materialets totale volumen, der kan blive fyldt med væske. Hvis for meget vand kan trænge ind i konstruktionen, kan det skabe store problemer ved frostgrader. Vand udvider sig når det fryser, og kan få betonen til at sprænge, hvis porerne er fyldt:

$$p_a = V_{p_a}/V$$

2.1.6 Superplastificerende tilsætningsstoffer

Betons bearbejdelighed kan spille en stor rolle, når det bruges som byggemateriale. For at holde en høj styrke skal vand-/cementforholdet holdes lavt. Dette er ofte på bekostning af bearbejdeligheden. Superplastificerende tilsætningsstoffer kan reducere vandbehovet med op til 25 %. Væsken tilsættes vandet, inden det hældes i cementen. De superplastificerende stoffer er polymere, organiske stoffer med variable kædelængde. Disse sætter sig fast på cementkornenes overflade og holder dem adskilt. Dette giver en mere flydende og plastisk konsistens. Hvis der tilføjes for meget kan det få blandingen til at skille, da den ikke kan holde sammen.

2.1.7 Flydemål og sætmål

Frisk uafbundet beton er formbar. Den friske betons konsistens varierer fra jordfugtig til fuldstændig flydende. Det er vigtigt at betonen har den rigtige konsistens i forhold til, hvad den skal bruges til. Jordfugtig beton benyttes i konstruktioner, der hurtigt skal kunne stå selv. De flydende betoner benyttes til støbning i forme. Hvis betonen har for lav bearbejdelighed, vil den ikke kunne fylde formen ordentlig ud, og der vil muligvis forekomme blottet armering.

Der benyttes to metoder til at beskrive bearbejdeligheden af beton:

Flydemål benyttes til at beskrive bearbejdeligheden af mere flydende betoner. Når der skal benyttes høj styrke beton, er vand/cement forholdet ofte meget lavt, og bearbejdeligheden lav. Derfor tilføjes superplastificerende tilsætningsstoffer, hvorved betonen kan ende med en mudderagtig konsistens, og flyde meget ud. Flydemål er i dette tilfælde idealt, da der ingen begrænsninger har.

Sætmål benyttes også til at beskrive bearbejdeligheden af beton. Denne metode kan dog have problemer med at beskrive meget flydende betoner. Da sætmålet har en maksimal værdi, som varierer efter, hvilken keglestub der benyttes.

Da der i denne rapport er benyttet superplastificerende tilsætningsstoffer i nogle af prøverne, er flydemål valgt som beskrivende metode.

2.1.8 Strukturudvikling

Hærdningsprocessen består af tre faser: hvileperiode, afbinding og hærdning. Straks efter betonen er blandet starter hvileperioden. Afbindingen for normal beton indtræffer mellem 1 og 6 timer efter blanding. Efter afbindingen og resten af betonens levetid siges den at være i hærdning. Efter 28 dage antages betonen at have en tilstrækkelig høj styrke, og derfor bestilles og leveres beton i dag med 28 dages styrken som produktspecifikation.

Det ønskes af frisk beton at den bibeholder sin bearbejdelighed i en hvis tidsperiode. Fra betonen bliver blandet til den er hældt ned i formen, skal afbindingen ikke indtræffe. Dette sikres ved at lave Vicatmålinger på den friske beton. En frisk betonprøve stilles i en Vicatronic, der i et fast interval måler, hvor meget af prøven er hærdet. Der er opsat nogle faste værdier for, hvornår prøven siges at have startet afbindingen. Den initiale afbinding indtræffer når nålen rammer mørtlen 6 ± 3 mm fra bunden. Prøven siges at være gået ind i hærdningsfasen når nålen ikke kan komme mere end 0,5 mm ned i prøven. (DS/EN 196-3 + A1)

2.1.9 Styrke

Betons styrke måles hovedsageligt ved trykstyrke. Den maksimale trykstyrke i beton er brudstyrken. I de fleste blandinger af beton, uden tilføjede fibre eller armering, er trækstyrken omkring 1/10 af trykstyrken.

Betons brudstyrke måles i spænding (MPa), og udregnes som kraften, newton (N), divideret med arealet af tværsnittet i kvadratmillimeter (mm^2):

$$\frac{N}{\text{mm}^2} = \sigma$$

2.2 Slamasse

2.2.1 Askekarakteristik

Der udføres nogle forskellige forsøg for at karakterisere slamasken. Disse forsøg giver bestemte ønskede værdier, der er vigtige for at holde styr på indholdet af betonen.

2.2.1.1 pH + ledningsevne

Beton har normalt en pH-værdi mellem 12 og 13. Ved denne høje pH-værdi er armeringen i passiv tilstand. Hvis asken har en lav pH-værdi kan den skabe forhold, hvorved armeringen kommer ud af sin passive tilstand og korroderer.

2.2.1.2 Vandopløselige anioner + N, K

Når man blander beton er det vigtigt at have styr på, hvilke negative ioner der er i de stoffer man benytter. Klorid ioner kan være med til at fremme korrosion i armering, og give store styrketab. Sulfat ioner kan også skabe store problemer som for eksempel revnedannelse.

2.2.1.3 Oplukning

Ved oplukning af slamasken kan indholdet af syreopløselige metaller bestemmes. Nogle metaller har en positiv effekt på betonen. For eksempel CaO (Calciumoxid) og Al_2O_3 (Aluminiumoxid) er med til at skabe bindingerne der holder hele betonen sammen. Ved at have styr på indholdet af metaller i slamasken, kan det bestemmes, hvilke dele af asken der har en god indvirkende på betonen.

2.2.1.4 Kornstørrelse

Kornstørrelsen af asken har en stor betydning. Store korn kan have høj porøsitet og derved suge en masse vand, og derved sænke styrken i betonen. Formen af kornene har også stor betydning. Kantede korn kan give en lavere bearbejdelighed, selvom prøven stadig er tilstrækkelig våd.

2.2.1.5 Glødetab

Slamaske kommer som sagt fra afbrænding af organisk materiale, og der kan derved stadig være dele af dette materiale tilbage i asken, når den opsamles. Disse organiske materialer kan have en negativ indflydelse på betonen. Organiske materialer kan have lav pH-værdi og skabe uønsket korrosion i armeringen.

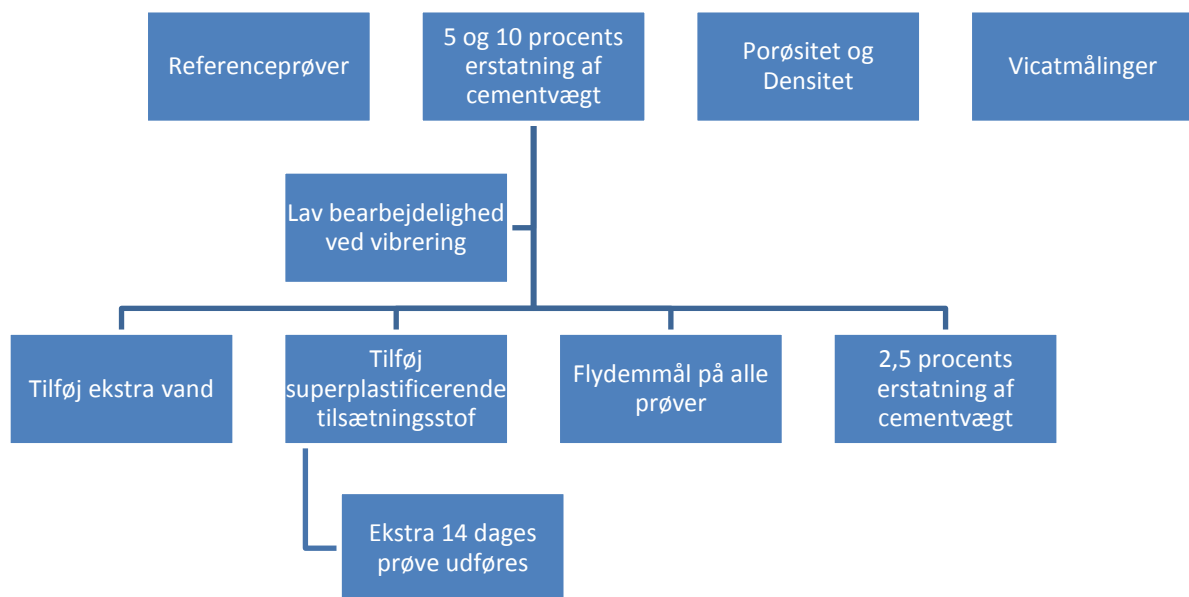
2.2.1.6 Vandindhold

Når man blander beton vil man gerne være sikker på, hvad betonen indeholder, så man kan genskabe blandingen igen. Da vand/pulver indholdet er vigtigt for styrken af betonen, er det vigtigt at vide, hvor meget vand asken indeholder.

3 Arbejdsproces og metoder

I dette afsnit vil arbejdsprocessen og de benyttede prøvemethoder gennemgås.

3.1 Arbejdsproces



Figur 2 - Arbejdsproces

Til at starte med laves der mørtelprøver med 5 og 10 procents erstatning af cementvægten. Dette gøres for at tjekke effekten af asken på mørtelprøverne, i forhold til referenceprøverne. Der blev ikke tilføjet ekstra vand til de to prøver med akse i, da mørtlen stadig var tilstrækkelig våd efter blandingen. Dog var prøverne mindre bearbejdelige. Dette gjorde selve støbningen besværlig, da prøverne var længere om at sætte sig under vibreringen. Dette gav mistanke om, at prøvernes manglende styrke var grundet utilstrækkelig vibrering.

Grundet mistanke om at styrketabet i mørtlen lå i bearbejdeligheden, blev der lavet 7 dages prøver med fokus på bearbejdelighed. Der blev lavet prøver med både 5 og 10 procents erstatning. To prøver med ekstra vand og to prøver med superplastificerende middel.

Det blev efter prøverne med 5- og 10 % erstatning også lavet en 2,5 % erstatning, for at tjekke effekterne af asken ved en mindre erstatningsprocent end de 5.

For at have noget at holde prøverne op imod er der lavet referenceprøver under forløbet. Der er lavet to referenceblandinger. En hvor der kun er gjort trykprøve, og en hvor der er lavet både trykprøve og flydemål. Da dette kun giver 7 og 14 dages værdier, er der benyttet værdien for 28 dages styrken fra en anden studerendes rapport (Hansen, E. Ø. 2015: s. 28).

Der er sideløbende lavet porøsitets- og densitetsprøver med henholdsvis 5 og 10 % erstatning. Til sidst er der lavet Vicat målinger med 5 og 10 % erstatning.

3.2 Metoder

3.2.1 Støbning

Til hvert opskrift støbes en støbeform af tre 160x40x40 mm bjælker. For at holde alle mørtelprøver ens, følges en bestemt rækkefølge for at støbe prøverne.

Som reference benyttes en standardiseret opskrift; 450 gram cement, 1350 gram sand og 225 gram vand. Vand og sand afvejes og opstilles ved siden af Hobart mixeren. Cement og eventuel aske afvejes i skålen til Hobart mikseren. Denne rækkefølge er benyttet ved alle blandinger:

- Mixeren tændes for at blande cement og aske.
- Når cement og aske er blandet tilsættes vand. Omrøres ved hastighed 1 (lav hastighed) i 30 sekunder. Tidspunktet, hvor vandet tilsættes, noteres som nul-tiden.
- Sand tilsættes over 30 sekunder ved hastighed 1.
- Hastigheden sættes til 2 (høj hastighed). Der omrøres i 30 sekunder.
- Blandingen hviler i 90 sekunder. Indenfor de første 30 sekunder skal siderne skræbes ned i miksen.
- Til sidst blandes der i 30 sekunder ved høj hastighed.
- Støbeformen fyldes halvvejs op, hvorefter den vibreres i 30 sekunder ved intensitet 45.
- Derefter fyldes formen helt op, og vibreringen gentages, mens prøven rettes af med et afrettejern.

24 timer efter nul-tiden afforskalles prøverne. Prøverne ligges derefter i demineraliseret vand, indtil de skal trykprøves.

3.2.2 Trykprøver

Prøverne tages op af det demineraliserede vand ved nul-tiden. Derefter skylles prøverne med demineraliseret vand, da vandet de opbevares i kan have været blevet basisk under hærdningen af prøverne. Derefter aftørres de for at fjerne vand fra overfladen. Prøverne måles og vejes for at tjekke for eventuelle deformationer under hærdningsforløbet.

Trykprøverne bliver udført på en Toni 300.

De indledende mørtelprøver blev trykprøvet en gang i hver ende af prismet. Derved ville hver prøve give 6 resultater ved 3 prismen.

De efterfølgende prøver blev trykprøvet 3 gange per prisme. En gang i hver ende og en gang på midten, dog kun hvis der ingen revnedannelse var i dette område.

Opstillingen for trykprøverne blev opstillet som set på Figur 3.



Figur 3 - Trykprøveopstilling på Toni 300

Mørtelprøverne placeres med støbeoverfladen til siden, da denne er ujævn og vil give en ujævn trykfordeling på prøven. De anvendte trykplader, der ses på over og undersiden af mørtelprøven på Figur 3, er 40 mm brede, og giver derved et trykområde på 40 mm gange med den målte højde af mørtelprøven.

Toni 300 leverer tryk i kiloNewton (kN) på et display. Disse noteres sammen med højden af prøven, for at kunne omregne den aflæste værdi fra Toni 300 til spænding ved brug af formelen fra afsnit 2.1.9.

3.2.3 Flydemålsprøver

Flydemålsprøverne bliver udført med den friskblandede mørtel. Dette gøres da mørtlen allerede tidligt kan miste bearbejdelighed efter blanding.

Der er benyttet en metode for bestemmelse af flydemål af mørtelprøver udarbejdet af Teknologisk Institut i 1989. Vejledningen er vedlagt i Bilag A.1. De overstregede paragrafer er afvigelser fra den vejledende fremgangsmåde og den benyttede.

Til forsøget benyttes en keglestub med følgende indre dimensioner:

- Øvre åbning: 38,2 mm.
- Nedre åbning: 88,8 mm.

Endvidere benyttes en stampestang med dimensionerne:

- Skaft: 12 mm
- Hoved med bredeste punkt: 16,4 mm

Den benyttede fremgangsmåde:

- I det sidste minut af blandingsprocessen aftørres indersiden af keglestubben med vædet papir, keglestubben skal være fugtig og ikke våd. Pladen den står på skal også aftørres på samme vis.

- Keglestubben fyldes halvt op, hvorefter laget stampes halvvejs igennem laget. Dette gentages til keglen er fyldt.
- Afretterjernet bruges til at skrabe overskydende mørtel væk.
- Keglestubben løftes og sættes ved siden mørtlen som udgangspunkt for at måle den lodrette afstand mellem keglestub og mørtel. Dette gøres 3 gange, forskellige steder, og gennemsnittet noteres som sætmålet.
- Keglestubben fjernes og faldbordet lades falde 10 gange på 10 sekunder. To afretterjern placeres parallelt med hinanden, på hver side af prøven, og afstanden mellem jernene måles 3 forskellige steder, og som med sætmålet tages gennemsnittet af de 3 målte afstande og noteres som flydemålet.
- Mørtlen kasseres og der tjekkes for, at forsøget er udført indenfor 15 minutter.

Under blandingen af prøverne, prøves der at gå efter samme konsistens af mørtlen. Til prøverne med ekstra vand tilføjes vand, indtil de ser nogenlunde lige så våde ud som referenceprøven.

Til prøverne med superplastificerende middel benyttes den laveste anbefalede mængde på 0,3 % af cementvægten. Den anbefalede værdi er fundet i vejledningen for det superplastificerende tilsætningsstof NRG-500. Denne vejledning kan ses i Bilag B.

3.2.4 Porositets- og densitetsprøver

Der blandes to prøver med hver især 5- og 10 % erstatning af cementvægten. Disse hærdes i 28 dage, under samme forhold som andre de andre prøver.

Efter de 28 dage tages prøverne op af vandet, hvorefter de vejes og måles. Prøverne ligges derefter i et tørreskab ved 50 grader i 3 uger. Ovnens holdes på 50 grader, da høje temperaturer vil medføre ændring i porestrukturen. Prøverne vejes hver uge og vægten noteres.

Der er sket en misforståelse under forløbet, og prøverne har ligget i ovnen i 2 måneder i stedet for 3 uger. Dette burde dog ikke gøre den store forskel, da der efter 3 uger ikke burde være mere vand i prøven.

Til målingerne benyttes en eksikator, en vakuumpumpe og en teknisk vægt, med mulighed for at veje under vand:

- Prøverne tages ud af ovnen og vejes i helt tør tilstand. Vægten noteres som m_{50} .
- Prøverne placeres i en eksikator med låg og hane. Vakuumpumpen skal pumpe ned i minimum 3 timer.
- Destilleret vand ved rumtemperatur pumpes ind i eksikatoren ved hjælp af en slange. Hane lukkes når vandet står ca. 3 cm over prøvelegement. Hane skal derefter stå lukket i 1 time.
- Herefter lukkes luften ind i eksikatoren og prøverne skal stå under vand over natten ved atmosfærisk tryk.
- Dagen efter tages prøverne direkte op af vandet, hvorefter de straks vejes under vand. Dette gøres ved at have en tekniskvægt med ophæng. Vægten noteres som m_{sw} .
- Prøverne placeres herefter på en opvredet klud i kort tid, hvorefter de vejes over vand. Vægten noteres som m_{ssd} .

3.2.5 Vicat målinger

Der udføres Vicat målinger på prøver med 5 og 10 % cementerstatning.

Til målingerne benyttes en Vicatronic. Til maskinen følger en plastik ring, der illustrerer minimumsstørrelsen af prøven. Til selve mørtlen benyttes en plastikbeholder, hvori plastik ringen passer nede i.

Den benyttede fremgangsmåde til forsøget:

- Plastik ringen placeres i beholderen, hvorefter højden af ringen markeres med tus rundt i kanten af beholderen. Dette giver højden der viser, hvor meget mørtel der skal hældes i beholderen.
- Vicatronicen kalibreres først så bunden af beholderen sættes som nulpunkt.
- Vicatronicen spørger om 40 mm højden. Plastik ringen ligges ned i beholderen igen, og højden af ringen indstilles som 40 mm punktet.
- Målingerne sættes til at laves hver 10. minut.
- Mørtlen blandes ved samme metode som i afsnit Støbning.
- Beholderen fyldes op til den tidligere markerede streg.
- Målingerne startes, og efterlades natten over.
- Dagen efter er prøverne færdige og printes på en rulle papir.

Resultaterne kommer ud i form af prøvenummer og afstand fra bunden.

4 Resultater og diskussion

I dette afsnit bliver resultaterne af forsøgene præsenteret og diskuteret.

I dette afsnit og i bilagene er der benyttet forkortelser for de forskellige prøver. Disse er forklaret nedenfor:

- Det første tal, efterfulgt af et p , beskriver procentandelen af, hvor meget cementvægt der er erstattet med aske.
- Det næste tal, efterfulgt af et d , beskriver, hvor mange dage prøven har hærdet.
- Til sidst er der et bogstav der beskriver, hvilken slags prøve der er tale om:
 - Står der intet beskrivende bogstav, er det prøver uden ekstra vand eller tilsætningsstoffer, benyttet til trykprøvning.
 - V , står for prøve med ekstra vand.
 - S , står for prøve med superplastificerende tilsætningsstoffer.
 - D , står for densitet og porøsitetsprøve. Disse prøver er ikke tilsat ekstra vand eller superplastificerende tilsætningsstoffer.
 - Vi , står for prøve brugt til Vicatmålinger.
- Eksempel: $5p7dS$; 5 % erstatning af cementvægt, hærdet i 7 dage og tilsat superplastificerende tilsætningsstoffer.

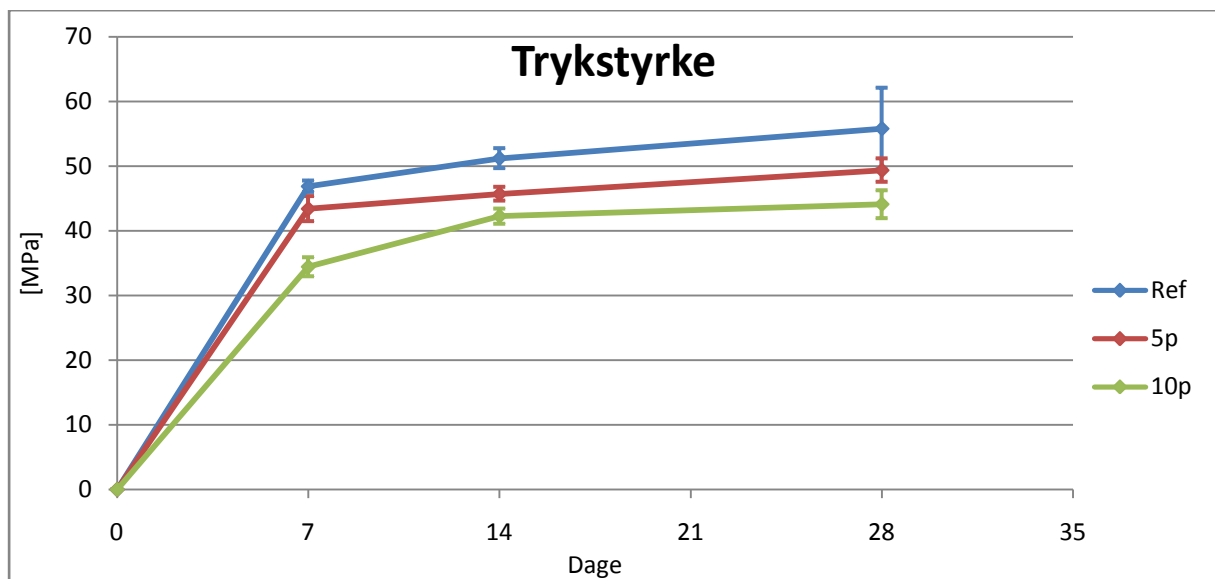
Til at regne standardafvigelse er Excels indbyggede funktion benyttet.

4.1 Trykprøvning af mørtelprøver

Der er udført to omgange af trykprøver. For at holde resultaterne overskuelige er disse delt op i to afsnit.

4.1.1 Indledende trykprøver

Dette afsnit opsummerer resultaterne af de indledende trykprøver. De indledende prøver består af 7, 14 og 28 dages prøver, henholdsvis referenceprøver og prøver med 5 og 10 % erstatningen. Alle disse prøver er holdt på samme vand/pulver forhold, og der er ikke brugt nogen tilsætningsstoffer. Styrken for 28 dages prøven er taget fra (Hansen, E. Ø. 2015. s. 28). Trykstyrken for referenceprøverne ved 28 dages prøven er lånt derfra, da denne rapport har samlet resultater med samme fremgangsmåde og samme blandingsforhold.



Figur 4 - Trykstyrkeforløb over 28 dage – indledende prøver med standardafvigelse

På Figur 4 er målingerne fra trykprøverne plottet, med standardafvigelsen

Prøverne med 5 % erstatning taber 7,4, 10,7 og 11,5 % over henholdsvis 7, 14 og 28 dage. 28 dages prøven har en styrke på 49,4 MPa.

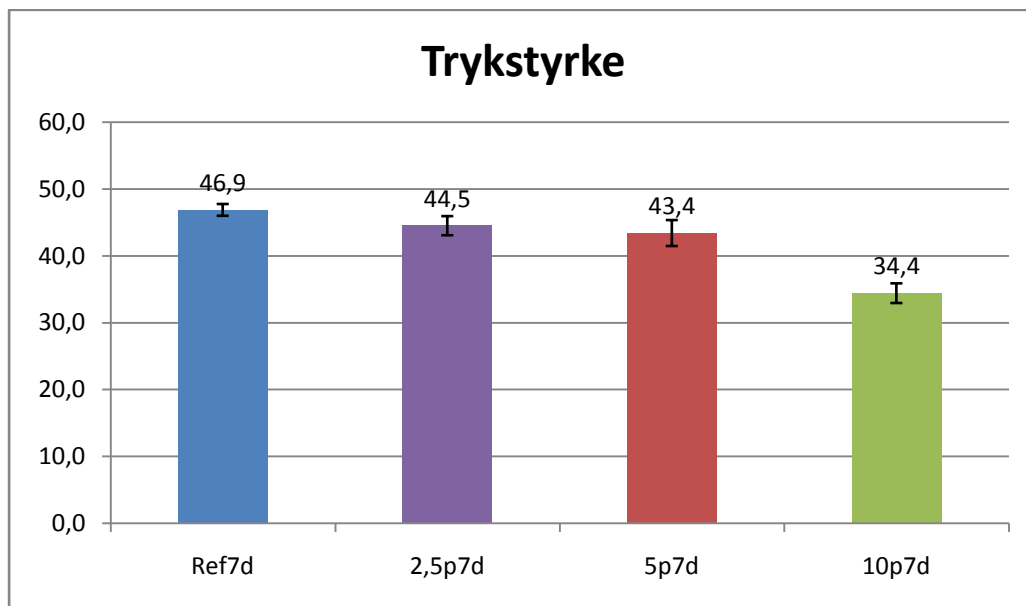
Prøverne med 10 % erstatning taber 26,6, 17,5 og 21 % over henholdsvis 7, 14 og 28 dage. 28 dages prøven har en styrke på 44,09 MPa.

4.1.2 Videregående trykprøver

Nogle af de videregående trykprøver er i dette afsnit opsummeret. Der er lavet én prøve med 2,5 % erstatning, der er sat op imod de andre prøver uden tilsætningsstoffer.

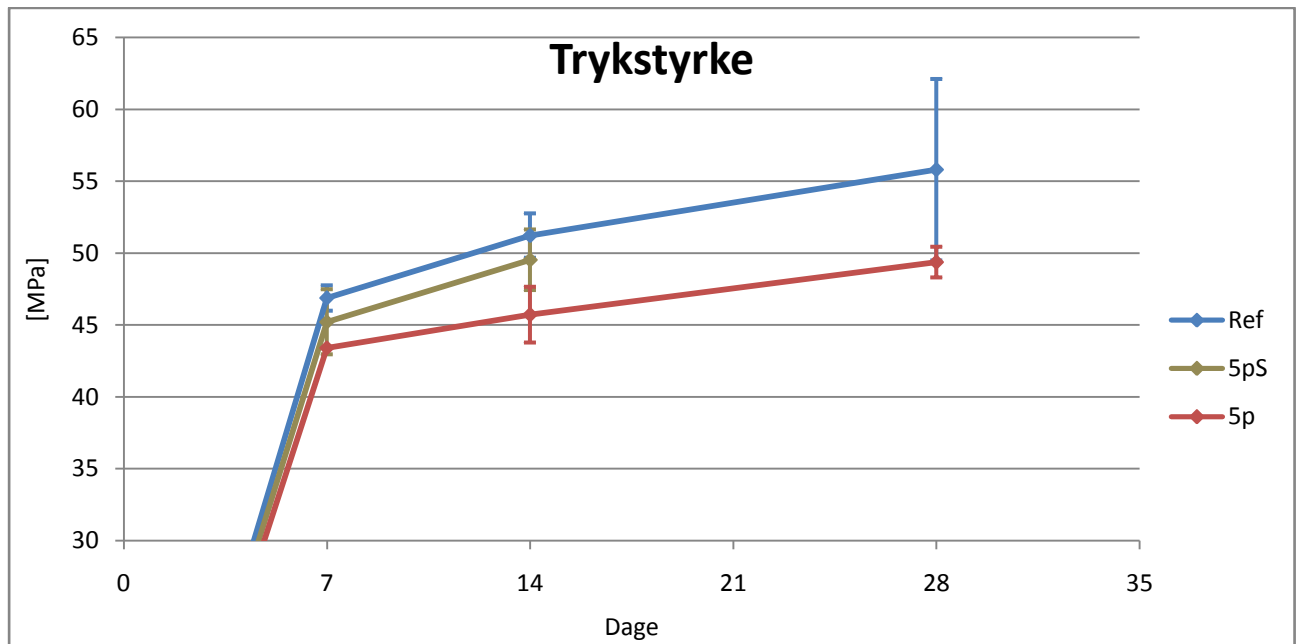
Der er med 5 og 10 % erstatning lavet prøver med ekstra vand og superplastificerende tilsætningsstoffer. Da disse prøver er lavet på baggrund af den manglende bearbejdelighed, er resultaterne af deres trykforsøg beskrevet i afsnit 4.2

Til sidst er der lavet en ekstra 14 dages prøve på 5 % erstatning med superplastificerende tilsætningsstof, for at se det videre styrkeforløb.



Figur 5 - Trykprøver - 7 dages prøver med standardafvigelse.

Prøven med 2,5 % erstatning vises på Figur 5 sammen med de andre 7 dages prøver uden ekstra vand eller tilsætningsstoffer. 2,5p taber 5 % styrke i forhold til referencen. 5p taber kun 7,4 % i forhold til referencen, hvilket er spændende i forhold til den procentuelle mængde af erstattet cement. Der blev besluttet at gå videre med 5 % erstatning, da denne viste sig mest lovende.



Figur 6 - Trykstyrkeforløb for reference og 5 % erstatning med og uden superplast

Der blev lavet en yderlig prøve med 5 % erstatning og superplastificerende middel på baggrund af resultaterne fundet ved 7 dages prøven 5pS, der ses i afsnit 4.2.2.

På Figur 6 vises trykforløbet for de to prøver med superplastificerende tilsætningsmiddel. 5pS taber 3,5 og 3,3 % ved henholdsvis 7 og 14 dages hærdning. Dette er en forbedring i forhold til prøverne uden superplast, som tabte 7,4 og 10,7 % ved 7 og 14 dage. Tabet over tid er også minimeret ved brug af superplast da styrkeforløbet for 5pS følger referencen bedre end 5p.

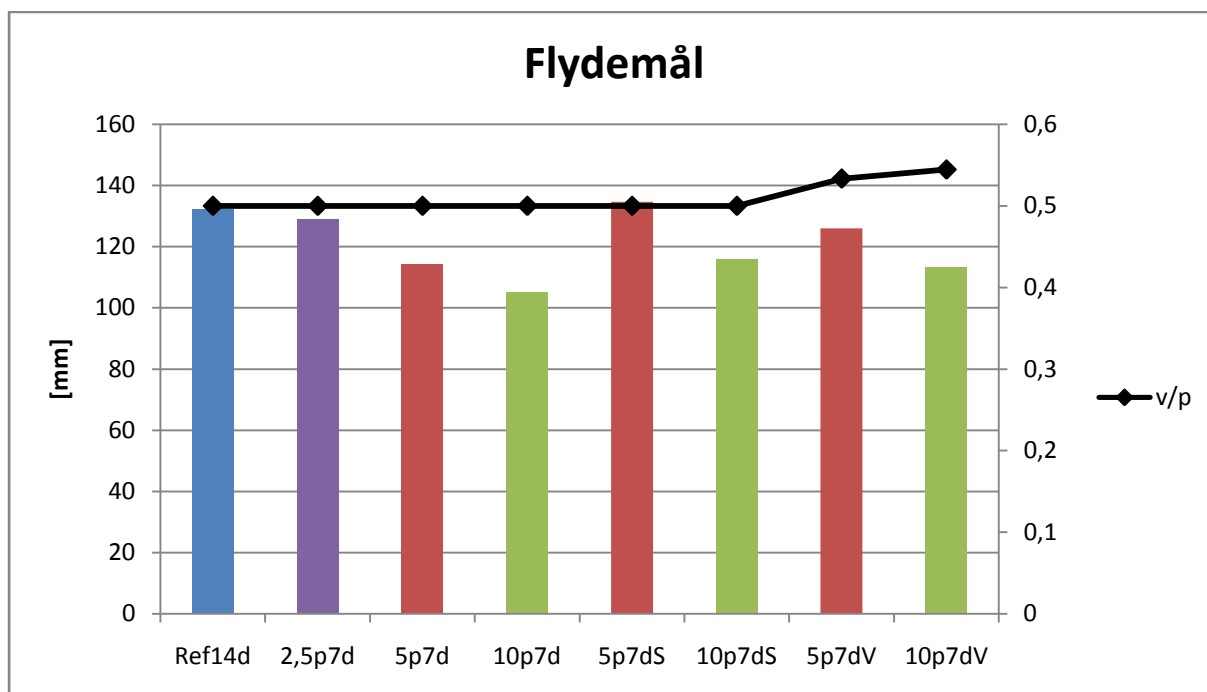
4.2 Flydemål og sætmål sammenlignet med styrke

Resultaterne for flydemål og sætmål er i dette afsnit holdt op imod trykstyrken og vand-/pulverforholdet, da fokuset med de videregående prøver var bearbejdelighed i forhold til styrke.

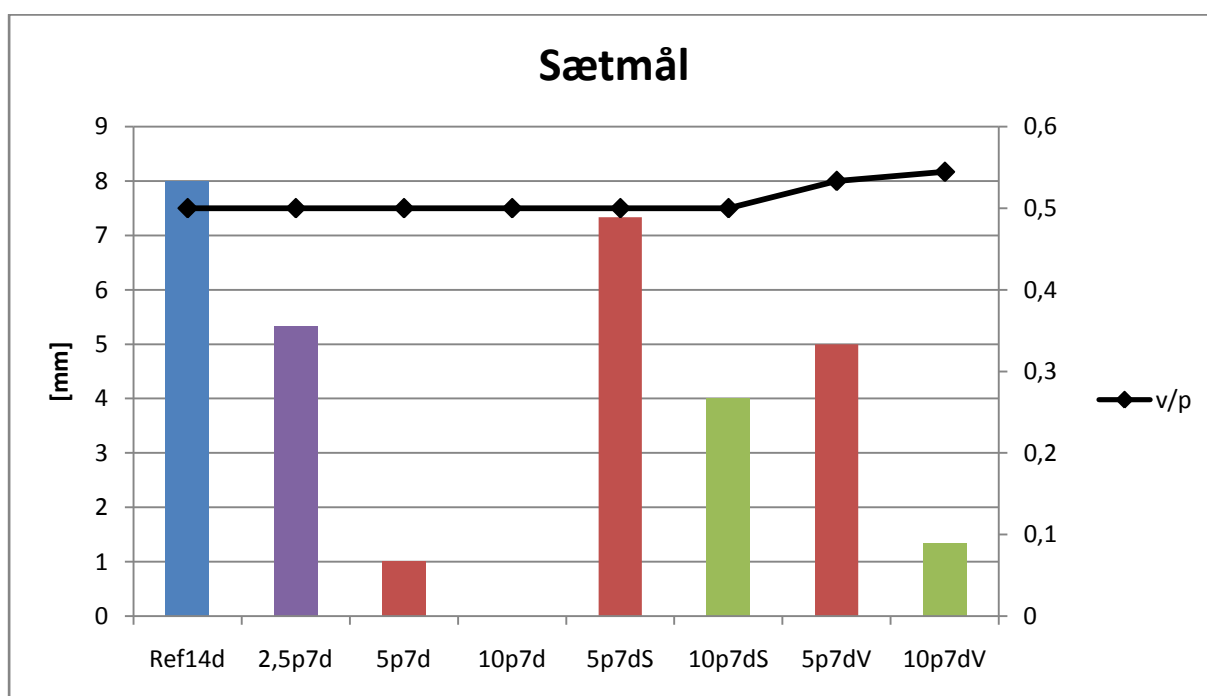
Først blev der lavet en referenceprøve for flyde- og sætmålene. Denne prøve skulle hærde i 14 dage, for at have en yderligere reference til trykprøverne. Trykstyrken for prøverne med aske, holdes derfor op imod trykstyrken fra 7 dages referenceprøven.

På Figur 7 er resultaterne for flydemålsprøverne plottet med vand/pulver-forholdet. Figur 8 viser sætmålet målt ved flydemålsprøverne med vand/pulver forholdet. Figur 9 viser styrken med vand/pulver-forholdt. Prøverne i både Figur 7, Figur 8 og Figur 9 er sorteret efter type mørtelprøve. (reference, uden ekstra vand eller tilsætningsstoffer, tilført superplastificerende tilsætningsstoffer, tilført ekstra vand)

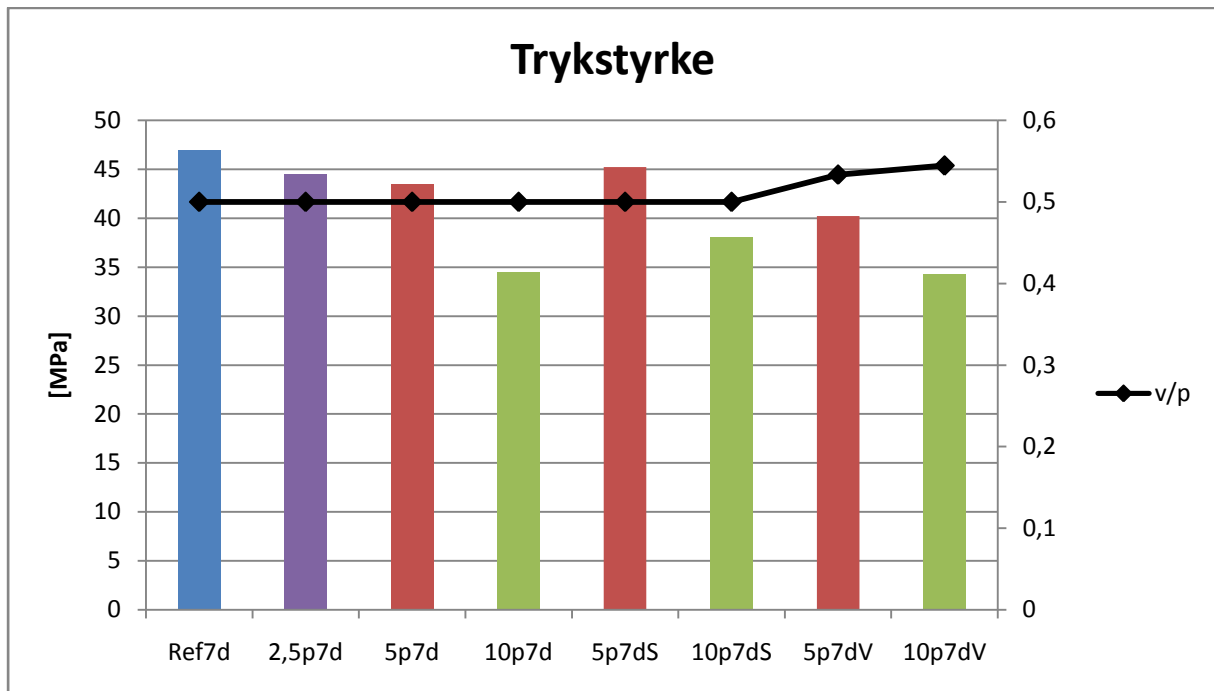
Alle tre figurer er sat op efter hinanden, og resultaterne analyseres efter graferne, da det er det samlede billede der kigges på.



Figur 7 - Flydemål med vand/pulver forhold



Figur 8 - Sætmål med vand/pulver forhold



Figur 9 - Trykstyrke med vand/pulver forhold

4.2.1 Reference og prøver uden ekstra vand eller superplast

Det ses på de tre ovenstående figurer, at alle prøverne uden tilsat vand eller superplastificerende stoffer har tydeligt fald i både flydemål, sætmål og styrke.

De tre prøver stilles op imod referencen:

2,5p prøven har et 2,5 % lavere flydemål, 33 % lavere sætmål og en 5 % lavere styrke.

5p prøven har et 13,6 % lavere flydemål, 88 % lavere sætmål og en 7,4 % lavere styrke.

10p prøven har et 20,7 % lavere flydemål, 100 % lavere sætmål og en 26,6 % lavere styrke.

Det ses at der allerede ved 2,5 % erstatning at prøverne får en lavere bearbejdelighed. Ved 5 % er der tabt en betydelig mængde bearbejdelighed og ved 10 % erstatning er bearbejdeligheden meget lav, hvilket også var tydelig ved udstøbning af formene.

Kigges der på styrken i forhold til den procentmæssige erstatning kan det tyde på, at der er et punkt i den procentmæssige erstatning, hvor den negative indvirkning på mørtlen er aftagende. Dog ved en hvis procent vil mørtlen tabe meget styrke, som set ved 10 %. Dette kan dog samtidigt have noget med bearbejdeligheden at gøre.

4.2.2 Superplastificerende tilsætningsstof

Kigges der på prøverne med superplastificerende tilsætningsstof, 0,3 % af cementvægt, giver det en tydelig forbedring af bearbejdeligheden og styrken.

Disse prøver holdes op imod referencen og prøverne uden tilsætningsstoffer.

I forhold til referencen har 5pS et 1,8 % højere flydemål, dog 8 % lavere sætmål og 3,5 % lavere styrke. I forhold til 5p har 5pS et 18 % højere flydemål, 6 gange så højt sætmål og 4 % højere styrke. Der ses en tydelig forbedring af bearbejdelighed ved tilføjelse af superplast, hvilket også var forventet. Styrken er også tydelig forbedret i forhold til 5p prøven, og tabet er helt nede under mængden af erstattet cement. Dette kan vise at asken har en mulig positiv effekt på betonen, dog ikke en styrkeforøgende effekt.

I forhold til referencen har 10pS et 12,6 % lavere flydemål, 50 % lavere sætmål og 18,9 % lavere styrke. I forhold til 10p har 10pS et 10 % højere flydemål, og 10 % højere styrke. Sætmålet var på 10p ikke eksisterende, dog kommer 10pS ikke helt op på referencen. Bearbejdeligheden er stadig meget lav, og det antages at dette stadig kan være skyld i styrketab.

4.2.3 Ekstra vand

Kigges der på prøverne med ekstra vand, giver en det lille forbedring i bearbejdelighed, dog et tab i styrke, i forhold til prøverne uden tilsat vand.

Disse prøver er sat op imod referenceprøven og prøverne uden tilsat ekstra vand.

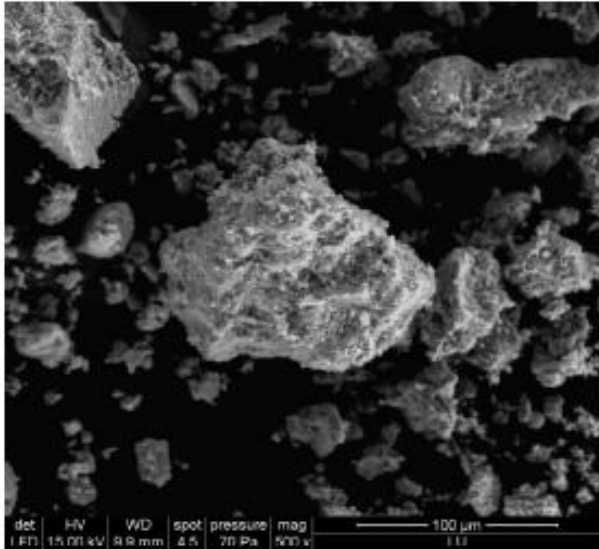
I forhold til referencen har 5pV et 4,8 % lavere flydemål, 38 % lavere sætmål og 14,2 % lavere styrke. I forhold til 5p har 5pV et 10,2 % højere flydemål, 4 gange så højt sætmål og 7,3 % lavere styrke.

I forhold til referencen har 10pV et 24,5 % lavere flydemål, 83 % lavere sætmål og 26,9 % lavere styrke. I forhold til 10p har 10pV et 7 % højere flydemål og 0,4 % lavere styrke. Sætmålet på 10p var ikke eksisterende, dog kommer 10pV ikke op på referencens niveau.

Samlet for prøverne med ekstra vand kan det ses, at mere vand ikke løser problemet med den lave trykstyrke. Selvom bearbejdeligheden øges, hæves vand/pulver forholdet, hvilket giver en lavere styrke.

4.2.4 Kornform af asken

En væsentlig faktor i tabet af bearbejdelighed kan være formen af kornene i asken. SEM billeder fra et tidligere bachelorprojekt (Rosemai, L. & Svendsen, S. 2012: s. 28), der også benyttede slamaske fra Lundtofte renseanlæg, viser på Figur 10, at kornene er meget kantede. Kornene i asken vil skabe modstand i mørtelblandingen og gøre den mindre flydende.



Figur 10 - SEM af Lundtofte aske (Rosemai, L. & Svendsen, S. 2012: s. 28)

Effekten af det superplastificerende middel gør, at kornene i en cementblanding, frastødes hinanden og derved skaber mindre friktion mellem kornene.

4.3 Densitet og porøsitet

I dette afsnit kigges der på resultaterne fra prøverne for densitet og porøsitet af 5 og 10 % erstatning. Et uddrag af de vigtige værdier er set i Tabel 1. Disse prøver er ikke tilsat ekstra vand eller superplastificerende stoffer. Prøverne bliver sammenlignet med tabelværdier fra lærebogen (Gottfredsen, F. R. 2006. s. 214). Disse er skrevet ind i Tabel 2.

Tabel 1 - Resultater af densitet og porøsitetsprøver

5p28dD	Gns.	Afvigelse	10p28dD	Gns.	Afvigelse
ρ_f [kg/m ³]	2588	1,6	ρ_f [kg/m ³]	2554	0,9
ρ_d [kg/m ³]	1961	5,7	ρ_d [kg/m ³]	2024	4,4
ρ_a [kg/m ³]	24,2	0,24	ρ_a [kg/m ³]	20,8	0,15

Tabel 2 - Tabelværdier fra (Gottfredsen. 2006. s 214)

Tabelværdi	Beton(v/c=0,4)	Beton(v/c=0,6)
ρ_f [kg/m ³]	2650	2650
ρ_d [kg/m ³]	2350-2450	2150-2350
ρ_a [kg/m ³]	5-10	10-20

4.3.1 Densitet

Værdierne for faststofdensiteten ligger lavere end tabelværdierne i Tabel 2. Dette kan skyldes indkapslet vand i prøven, som har lavere densitet end resten af materialerne og derved sænker den samlede faststofdensitet.

Kigges der på tørdensiteten af prøven kan det ses at prøven med 10 % ligger højere. Dette kan skyldes at der er flere lukkede porer i det samlede materiale. Dette kan skyldes askens porøsitet, der kan have indkapslet vand. I forhold til tabelværdierne i Tabel 2, ligger prøverne en del lavere, og dette kan skyldes den høje åbne porøsitet.

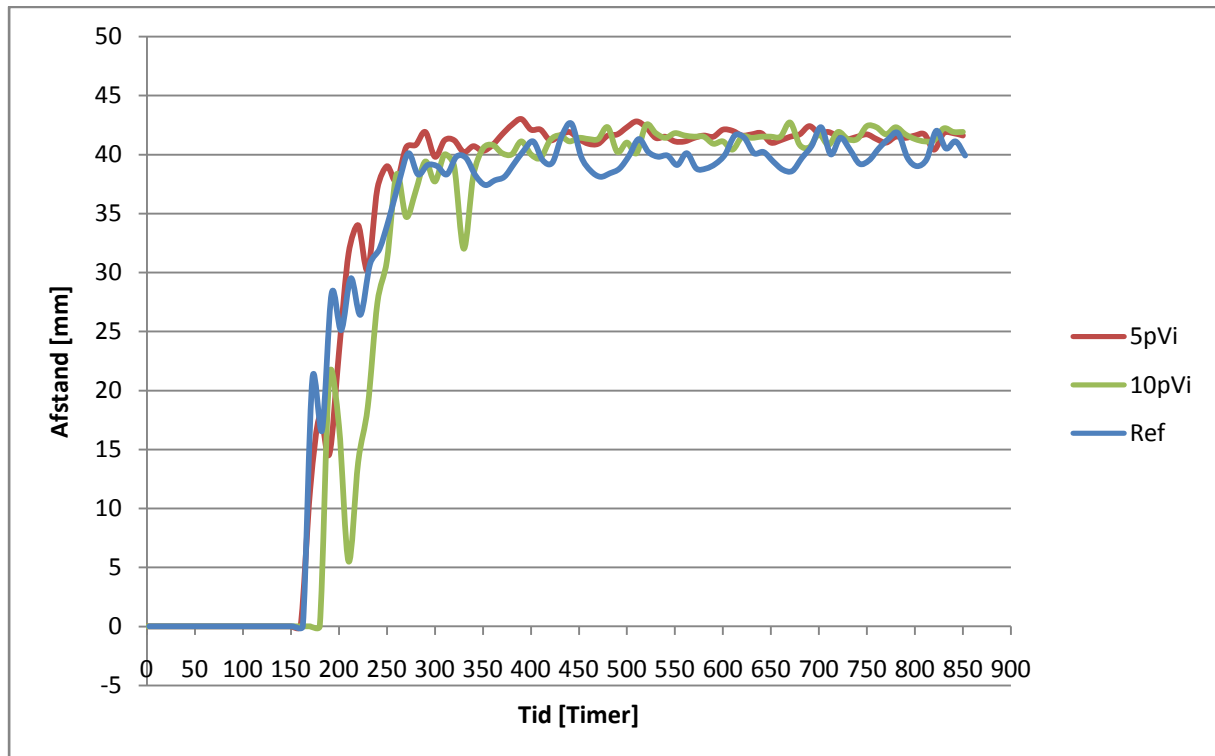
4.3.2 Porøsitet

Der kigges på den åbne porøsitet, da det ved den benyttede metode ikke kan måles på de lukkede porer i mørtelprøverne. Værdien for porøsitet i Tabel 2 er totalporøsiteten. Dog kan denne godt sammenlignes, da luftindholdet i normal beton kun er 1-2 %.

Den høje åbne porøsitet på 5 % prøven kan skyldes, at prøven ikke blev ordentlig udstøbt.

4.4 Vicatmålinger

I dette afsnit kigges på resultaterne af Vicatmålingerne på 5 og 10 % prøverne. For at have en reference til disse resultater, er der lånt en referencemåling fra (Ebert, B. 2015. s. 148). Disse tre målinger er plottet på Figur 11 nedenfor.



Figur 11 - Vicatmålinger

Referenceprøvens afbinding starter ved 170 minutter, 2 timer og 50 minutter, og afbindingen er færdig ved 270 minutter. Afbindingen tager derved 100 minutter, eller 1 time og 40 minutter.

Afbindingen af 5 % prøven indtræffer ved 170 minutter, 2 timer og 50 minutter, og afbindingen er færdig ved 270 minutter. Afbindingen tager derved 100 minutter, eller 1 time og 40 minutter.

Ligeledes for 10 % prøven starter afbindingen ved 190 minutter, 3 timer og 20 minutter, og er færdig ved 310 minutter. Afbindingen tager 120 timer, eller 2 timer.

5 % prøven er stort set identisk med referenceprøven. Dette kan skyldes at asken ikke har den nok indflydelse på afbindingen ved denne procentsats. Ved 10 % erstatning starter afbindingen 30 minutter senere end de to andre. Afbindingen varer 20 minutter længere. Dette kan skyldes indholdet af metaller i asken.

4.5 Bolomys formel

Ved brug af formelen fra afsnit 2.1.4 udregnes aktivitetsfaktoren af asken. Til udregning af aktivitetsfaktor benyttes 5 og 10 % prøvernes trykstyrke ved 28 dages hærkning. Dette gøres da K-værdien benyttet til at udregne denne er for beton med dansk cement og normale danske tilslag ved 28 dages hærkning. (Geiker, M. & Nielsen, A. 2012: s. 64)

For at have noget at sammenligne ligger aktivitetsfaktoren for flyveaske og mikrosilica ved samme udregning på henholdsvis 0,3-0,5 og 3-5. (Geiker, M. & Nielsen, A. 2012: s. 64)

Tabel 3 - Aktivitetsfaktor for asken

	k
5p	1,43
10p	0,39

Slamaskens aktivitetsfaktor svinger fra 0,39 til 1,43, som set i Tabel 3. Dette interval er ikke meget sigende for asken, og dette kan skyldes den forsinkende effekt på styrken som asken har. Der skal laves yderligere prøver for at kunne determinere den præcise aktivitetsfaktor af asken.

4.6 Askekarakteristik

Askekarakteristikken er udført af DTUs laboranter og vist kort i disse resultater som del af diskussionen. Den udleverede data kan ses i Bilag E.

4.6.1 Oplukning

Resultaterne af oplukningen viser mængden af syreopløselige metaller i asken.

Tabel 4 – Indhold af metaller i asken

Grundstof	Gns [mg/kg]	Afvigelse [mg/kg]	[%]
Al	74.282	3049	7,43
As	9,12	2,02	0,00
Ca	67.745	2864	6,77
Cd	0,93	0,91	0,00
Cr	75,87	3,94	0,01
Cu	622	27,4	0,06
Fe	18.633	851	1,86
K	4280	193	0,43
Mg	7958	359	0,80
Mn	533	22,1	0,05
Na	1942	71,5	0,19
Ni	49,42	2,61	0,00
P	72.762	3059	7,28
Pb	126,17	6,54	0,01
Zn	1739	79,5	0,17
		Total	25,08

Der er i Tabel 4 markeret med 3 værdier med fed som har den største andel i denne slamaske.

Aluminiumoxid (Al_2O_3) er en stor del af flyveaske (20-30 %), som vides at være styrkegivende til beton. De 7,43 % Aluminium i asken, anses godt for betonen.

Calciumoxid (CaO) er en stor del i cement og højovns slagge, og vides at være styrkegivende til beton. De 6,77 % Calcium i asken, anses godt for betonen.

Det har ikke været muligt at finde information om, hvad fosfor gør ved selve betonen. Dette er noget der skal tages højde for, hvis slamasken skal kunne benyttes i beton.

4.6.2 Vandindhold

Prøverne for vandindholdet af asken viser, at det indeholder $1,04 \pm 0,76$ % vand. Ved prøver 10 % erstatning, og vand/pulver forhold 0,5, vil dette ændre vand/pulver forholdet med maksimalt 0,6 %. Denne procentdel svarer til at putte 1,35 gram ekstra vand i de benyttede blandinger.

4.6.3 Anioner

Det totale indhold af anioner i asken er 0,34 % af den totale masse. I Tabel 5 ses resultaterne af prøverne.

Tabel 5 - Indhold af anioner i slamasken

	Gns [mg/kg]	Afvigelse [mg/kg]	% af total
Al	0,93	0,45	0,00009
As	0,01	0,00	0,00000
Ca	677,49	13,77	0,06775
Cd	0,00	13,77	0,00000
Cr	0,01	0,00	0,00000
Cu	0,01	0,00	0,00000
Fe	0,00	0,00	0,00000
K	117,51	2,39	0,01175
Mg	98,06	3,15	0,00981
Mn	0,08	0,00	0,00001
Na	61,60	0,91	0,00616
Ni	0,00	0,00	0,00000
P	0,82	0,13	0,00008
Pb	0,00	0,00	0,00000
Zn	0,01	0,01	0,00000
Cl	51,80	2,52	0,00518
NO ₃	0,31	0,29	0,00003
SO ₄	2386,05	38,38	0,23860
		Sum	0,33947

Niveauet af sulfat (SO₄) er 0,2 % og overholder kravene om mindre end 3 %. (DS/EN 197-1, Tabel 5)

Niveauet af klorid er 0,005 %. Dette overholder kravet om mindre end 0,10 %. (DS/EN 197-1, Tabel 4)

4.6.4 pH og ledningsevne

pH-værdien målt i betonen er målt til $8,44 \pm 0,63$. Beton ligger normalt omkring 12-13 på pH skalaen. Hvis den procentuelle erstatningsgrad holdes på 5-10 % vil dette sænke pH-værdien i cementblandingen på ca. 1,5-4 %. Dette vil ikke have en stor betydning for betonen, hvis asken kan opløses. Ellers vil asken kunne skabe problemer med armeringen.

Askens ledningsevnen er $1,39 \pm 0,63$ mS/cm. Dette viser at der er et lavt indhold af letopløselige salte i prøven.

4.6.5 Kornstørrelse

Størrelserne af slamaskens korn varierer fra 62,41 – 321,3 μm ifølge Tabel 6. Hvis det antages at asken ingen effekt har på mørtelblandingen, vil dette betyde at det fungere som mikrotilslag.

Tabel 6 - Askens kornstørrelse ved 0,1, 0,5 og 0,9 fraktilerne

	Middel [μm]	Afvigelse [μm]
d(0,1)	62,41	1,75
d(0,5)	167,9	3,33
d(0,9)	321,3	3,83

4.6.6 Glødetab

Resultaterne af glødetabsprøverne viser et tab på $0,23 \pm 0,0194$ %. Dette er en meget lille procentdel og overholder kravene for gløbetab i cement på 5 % (DS/EN 197-1, Tabel 4)

5 Konklusion

Slamasken har vist en stor effekt på bearbejdeligheden af mørtlen. Formen af kornene på asken, er muligvis årsagen til det store tab af bearbejdelighed og styrke. Dette problem kan delvist løses med superplastificerende tilsætningsstof, som giver en mere bearbejdelig blanding og formindsker styrketabet.

Ved 5 % erstatning af cementvægten med slamaske fra Lundtofte renseanlæg, og tilsætning af superplast, kan der opnås en 7 dages styrke der kun taber 3,5 % ved et vand/pulver forhold på 0,5. 14 dages styrken er ligeledes kun 3,3 % lavere end referencen. Dette er meget lovende for brug af asken som delvis erstatning for cement i beton. Dog skal der laves flere prøver, for at teste det videre forløb for hærningen.

Selve asken overholder reglerne for indhold af sulfater, klorid og organisk materiale. pH-værdien er lidt lav, hvilket måske vil kunne skabe problemer.

Ses der fra en miljømæssig synsvinkel er der ingen grund til ikke at benytte denne aske i beton. I dag betaler renseanlæggene for at skille sig af med asken, da den er fyldt med tungmetaller. Da asken har vist sig at kunne benyttes i mørtelblandinger, vil nogle betonfabrikanter måske modtage asken imod mindre pris, end der betales for at skille sig af med asken nu. Dette vil være lukrativt for både renseanlæg og betonfabrikant. Betonfabrikanten vil blive betalt for at modtage asken, og sparer på cement, som i dag er meget dyrt.

Selv ved kun at erstatte 5 % af cementen med slamaske kan der stadig spares end masse cement.

6 Videre arbejde

Da dette kun er et afgangsprojekt for Diplomuddannelsen, har der ikke været tid til at undersøge flere aspekter af dette spændende emne. Der er givet et par forslag til, hvad videre forskning kunne være:

28 og 42 dages styrke: En videre undersøgelse af styrkeforløbet for 5 % erstatning med superplast, for at determinere om styrkeudviklingen holder den pæne kurve.

Præcis procentsats: Videre arbejde med asken kan give den gyldne procentsats, hvorved asken vil give optimal indvirkende på beton.

Afbinding af prøver med superplast: Det superplastificerende tilsætningsstof kan have indflydelse på hvornår afbindingen starter i blandingen.

Densitet og porøsitet: Der kunne laves forsøg for at tjekke densitet og porøsitet for prøver med superplastificerende tilsætningsstof.

Knusning: Eventuel knusning af asken vil kunne holde bearbejdelighedstabet nede.

Korrosion i armering: Slamasken pH-værdi ligger omkring 8, og det kan undersøges om dette har en virkning på passivtilstanden i normal beton.

7 Litteraturliste

Forfatter	Årstal	Titel	Type	Udgiver
Dansk Standard	2012	DS/EN 197-1 Cement - Del 1: Sammensætning, krav til egenskaber og overensstemmelseskriterier for almindelige cementer.	Standard	Dansk Standard
Dansk Standard	2009	DS/EN 196-3 + A1 Metoder til prøvning af cement - Del 3: Bestemmelse af afbindingstid og volumenbestandighed.	Standard	Dansk Standard
Ebert, B.	2015	Anvendelse af forskellige træasker i beton	Rapport	DTU-BYG
Geiker, M. & Nielsen, A.	2012	Bygningsingeniørernes materialer - uddrag af Materialebogen, Kapitel D5 - Beton	Lærebog	Nyt Teknisk Forlag
Gottfredsen, F. R. & Nielsen, A.	2006	Bygningsmaterialer - Grundlæggende egenskaber	Lærebog	Polyteknisk Forlag
Hansen, E. Ø.	2015	Trykstyrke og densitet for beton - ved samtidig og delvis erstatning af cement og sand med træsaske	Rapport	DTU-BYG
Nielsen, A.	2012	Bygningsingeniørernes materialer - uddrag af Materialebogen, Kapitel D4 - Uorganiske bindemidler	Lærebog	Nyt Teknisk Forlag
Rosenmai, L. & Svendsen, S.	2012	Slamaskes anvendelighed i beton - Anvendelse af slamaske i beton efter forfor indvinding	Rapport	DTU-BYG

Bilag

A. Forsøgsvejledninger

A.1 Flydemålsvejledning

Prøvningsmetode Frisk mørtel. Konsi- stens. Flydemål på faldbord.

1. Formål og anvendelsesområde

Metoden anvendes til at udtrykke konsistensen af cementbundne mørteler med største kornstørrelse i tilslaget på 4 mm.

2. Referencer

ASTM C 230 (Reapproved 1974)
Standard specification for Flow Table for use in tests of hydraulic cement. DS 423.11, 2. udgave.

3. Definitioner

Flydemål: Ved frisk mørtels flydemål forstås den gennemsnitlige diameter af den nogenlunde cirkulære prøve, der fås efter at en kegle af frisk mørtel 10 gange er faldet 12,7 mm.

Faldbord: Metalplade som hæves i en fastsat højde efterfulgt af frit fald til sin udgangsposition.

4. Prøveudtagning

Med mindre andet angives i prøvningsrapporten, skal prøveudtagningen ske som angivet i DS 423.11.

5. Prøvningsmetode

5.1 Princip

På et faldbord udstøbes den friske mørtel i en keglestubform med en nedre diameter på 102 mm og højde på 52 mm. Efter afformning udsættes mørtelen for sammensynkning ved et antal standardiserede fald af faldbordet. Mørtelens udbredelse efter keglestubbens sammensynkning anvendes til at udtrykke mørtelens konsistens.

5.2 Apparatur

Faldbord og keglestubform som angivet i ASTM 230-68 (Reapproved 1974), (se skitse på side 4).

Stampestang af jern med længden 250 mm og diameteren 12 mm, afrundet i begge ender.

Retskede.

Målestok.

5.3 Forbehandling af prøveemner

Ingen.

5.4 Procedure

Prøvningen gennemføres senest 15 minutter efter blandingen, dog inden afbindingen begynder.

Faldbordpladen og keglestubformens inderside fugtes. Keglestubformen placeres centrisk på faldbordpladen og fyldes med frisk mørtel i to omtrent lige tykke lag, som hver for sig bearbejdes med 20 stød med stampestangen. Stødende skal være jævnt fordelt over overfladen på hvert lag.

Efter afretning af mørtelens overflade med retskeden over formens overkant, fjernes formen forsigtigt.

Faldbordets lodrette bevægelse igangsættes og prøveemnet udsættes for 10 faldslag hvert med faldhøjden 12,7 mm. Slagene gives kontinuerligt med en varighed af i alt 10 sek.

Udbredelsen af mørtelprøven måles med målestokken i to på hinanden vinkelrette retninger, hvorefter gennemsnitsværdien beregnes.

5.5 Resultatbehandling

Gennemsnittet af udbredelsesmålingerne er prøvningsens resultat.

Resultatet angives i mm. Følgende skala angiver sammenhæng mellem flydemål og konsistens.

<u>Flydemål, mm</u>	<u>Konsistens</u>
100-110	Jordfugtig
110-120	Stiv plastik
120-150	Plastisk
150-200	Tyktflydende
> 200	Flydende

Figur 5: Uddrag af TI-B 18 (86), udarbejdet af Teknologisk Institut. Uddraget beskriver en prøvemåte for bestemmelse af flydemål for mørtel.

B. NRG-500 – Superplastificerende tilsætningsstof



Dynamon NRG-500

**Superplastificerende og
hærdningsaccelererende
tilsætningsstof til
elementproduktion**




PRODUKT BESKRIVELSE
Dynamon NRG-500 er et meget effektivt superplastificerende tilsætningsstof baseret på modificerede akrylpolymerer, specielt udviklet til elementproduktion.
Dynamon NRG-500 er en videreudvikling af Mapeis **Dynamon SP**-system. **Dynamon SP**-system er baseret på den af Mapei udviklede DPP teknologi, Designed Performance Polymers, hvor tilsætningsstoffernes egenskaber skræddersys til forskellige betontyper. **Dynamon** systemet er udviklet på basis af Mapeis egen sammensætning og produktion af monomerer.

ANVENDELSESOMRÅDE
Dynamon NRG-500 er et superplastificerende tilsætningsstof som anvendes til forøgelse af bearbejdeligheden og/eller reducere vandbehovet. Produktet tilfører endvidere den hærdnede beton gode mekaniske egenskaber.
Dynamon NRG-500 er specielt velegnet til elementproduktion hvor der er krav til stor vandreduktion og relativ høj tidligstyrke i alle konsistensklasser.
Dynamon NRG-500 er endvidere specielt velegnet til produktion af vibreringsfri beton eftersom produktet sikrer et godt flyd og accelereret styrkeudvikling. For vibreringsfri beton der mangler finstof, kan **Dynamon NRG-500** med fordel kombineres med **Viscostar** eller **Viscofluid**, viskositetsmodificerende tilsætningsstoffer. Herved reduceres faren for separation og samtidig sikres at betonblandingen holder sig homogen selv ved meget høje flydesætmål.

EGENSKABER
Dynamon NRG-500 består af en ny generation akrylbaserede polymerer som effektivt dispergerer cementen i blandingen og bevirker en hurtig aktivering af cementen.

Denne effekt kan med fordel udnyttes på tre måder:

- Reduktion af betonens vandbehov og med fastholdelse af bearbejdeligheden. Herved opnås en beton med lavere vand/cement forhold, en stærkere samt tættere og mere holdbar beton.
- Forøget bearbejdelighed sammenlignet med en beton med samme vand/cement forhold uden tilsætningsstoffer. Herved opnås ens styrker men udstøbningen bliver meget lettere.
- Reduktion af både vand og cement uden ændring af betonens bearbejdelighed og styrke. Herved kan betonens kostpris reduceres, mindre cement, reduktion af svindpotentiale, mindre vand samt reducere faren for skadelige temperaturgradienter pga. lavere hydratiseringsvarme. Specielt denne effekt er vigtig ved betoner med højere cementindhold samt ved store massive betonkonstruktioner.

Dynamon NRG-500

ANVÆNDELSESOMRÅDE

Dynamon NRG-500 udvikler maksimal effekt uafhængig af tilsætningstidspunktet i blandedecykklussen, men tilsætningstidspunktet kan påvirke nødvendig blandetid.

Kortest blandetid opnås generelt ved tilsætning af **Dynamon NRG-500** efter tilsætning af mindst 80 % af blandedevandet og for evt. tilsætning af **Viscostar** eller **Viscofluid**.

Også her er det vigtigt at foretage en afprøvning for optimal udnyttelse af aktuelt blandeudstyr.

KOMPATIBILITET MED ANDRE PRODUKTER

Dynamon NRG-500 kan kombineres med Mapeis øvrige betontilsætningsstoffer, til fremstilling af specialbetoner og specielt med:

- **Viscostar** eller **Viscofluid**, viskositetsmodificerende og stabiliserende tilsætningsstoffer til produktion af vibreringsfri beton med lavt finstofindhold.
- Accelererende tilsætningsstoffer som **Mapect** for hurtig glitning og/eller høj tidligstyrke.
- Forskellige typer filler til produktion af vibreringsfri beton.
- Overfladeprodukter som **Mapect** formolier samt **Mapecture** hærdemembraner.
- Produktet kan ligeledes kombineres med luftindførende tilsætningsstoffer for produktion af frostbestandig beton, f.eks. **Mapectair**. Valg af type sker ud fra tilgængelig viden om de øvrige delmaterialers egenskaber.

Ved kombinationer anbefales altid forsøgsblandinger for opnåelse af den ønskede effekt. Kontakt eventuelt vor tekniske afdeling.

DOSERING

Dynamon NRG-500 tilsættes for at opnå den ønskede effekt, styrke, holdbarhed, bearbejdelse, cementreduktion, ved at variere doseringen mellem 0,3 og 2,0 % af mængden af cement + flyveaske + microsilika. Større dosering kan medføre at betonen separerer. Proveblandinger anbefales altid med aktuelle parametre.

EMBALLAGE

Dynamon NRG-500 leveres i 25 liters dunke, 200 liters tromler, 1000 liter IBC-tanker og i tank.

OPBEVARING OG HOLDBARHED

Ved opbevaring mellem +8°C og +35°C i lukket original emballage bevarer produktet sine egenskaber i mindst 12 måneder. Forsigtig omrøring før brug anbefales. Hvis produktet udsættes for direkte sollys, kan det føre til variationer i farven uden at dette påvirker produktets egenskaber.

SIKKERHEDSINSTRUKTIONER FOR KLARGØRING OG BRUG

Dynamon NRG-700 er ved anvendelse ikke mærkningspligtig efter dagens regulativer. Det anbefales dog at der benyttes personlige værnemidler som handsker og briller samt at tage de sædvanlige forholdsregler der gælder ved håndtering af kemiske produkter.

For yderligere og fuldstændig information vedrørende sikker håndtering af produktet, henvises til leverandørbrugsanvisning som findes på www.mapei.dk

PRODUKT FOR PROFESSIONELT BRUK

BEMÆRK

De tekniske anbefalinger og detaljer som forekommer i denne produktbeskrivelse, repræsenterer vor nuværende viden om og erfaring med vore produkter.

Al ovenstående information må derfor betragtes som vejledende og danne grundlag for vurdering. Enhver som anvender produktet skal på forhånd sikre sig at produktet er egnet til den påtænkte brug. Brugeren står selv som ansvarlig såfremt produktet bliver anvendt til andre formål end anbefalet eller ved fejlagtig anvendelse.

Venligst referer til seneste opdaterede version af teknisk datablad der findes tilgængeligt på www.mapei.dk

Alle referencer for produktet er tilgængelige ved forespørgsel og på www.mapei.dk eller www.mapei.com

**Dynamon
NRG-500**

TEKNISKE SPECIFIKATIONER (typiske værdier)

PRODUKTINFORMATION

Form:	væske
Farve:	ravgul *
Tørstofindhold iht. EN 480-8 (%):	28,0 ± 1,4
Densitet, g/cm ³ :	1,06 ± 0,02
Produktegenskaber:	Øger bearbejdigheden og/eller reducerer vandbehovet samt giver høj tidligstyrke også ved lave temperaturer
Klassificering i henhold til EN 934-2:	Superplastificerende og vandreducerende tilsætningsstof, tabellerne 3.1 og 3.2
Vandløselig kloridindhold iht. EN 480-10 (%):	< 0,05 (kloridfri iht. EN 934-2)
Alkaliindhold Na ₂ O- ækvivalent iht. EN 480-12, vægt-%:	< 3,0
pH iht. ISO 4316:	6,5 ± 1
Lagring:	12 måneder
MAL KODE:	1993: 00-1

* Såfremt produktet udsættes for direkte sollys kan dette føre til variationer i farvenuancen uden at dette på nogen måde har indflydelse på produktetsbrugsegenskaber

BRUGSEGESKABER I BETON

Som superplastificering	Reference	Dynamon NRG-500
Cementmængde, kg/m ³ (Norcem standard cement):	350	350
Dosering som % af cementmængden:	0	0,9
Vand-cement forhold:	0,47	0,47
Luftindhold, %:	2,2	1,8
Konsistens, mm:		
- sætmål, 5 min	40	200
- sætmål, 30 min	20	170
- sætmål, 60 min	-	130
- flydesætmål, 5 min	-	510
- flydesætmål, 30 min	-	320
- flydesætmål, 60 min	-	250
Som vandreducerer	Reference	Dynamon NRG-500
Cementmængde, kg/m ³ (Norcem standard cement):	350	350
Dosering som % af cementmængden:	0	0,9
Vandreduktion, %:	-	20
Vand-cement forhold:	0,50	0,41
Trykstyrke, MPa 1 døgn:	20	36
Trykstyrke, MPa 7 døgn:	40	55
Trykstyrke, MPa 28 døgn:	52	64

Any reproduction of text, photos and illustrations published here is prohibited and subject to prosecution

23.09.2013 DK



C. Støbeskema

C.1 Første omgang prøver

Prøve:	ID	Opskrift – gram				Kommentarer
		Cement [g]	Aske [g]	Sand [g]	Vand [g]	
Reference Mørtel 7 dage	Ref7d	450	0	1350	225	
5 % cement erstatning 7 dage	5p7d	427,52	22,5	1350	225	
5 % cement erstatning 14 dage	5p14d	427,5	22,5	1350	225	
5 % cement erstatning 28 dage	5p28d	427,5	22,5	1350	225	
10 % cement erstatning 7 dage	10p7d	405	45	1350	225	Blanding: Fugtig som Ref7d, dog meget mindre flydende end Ref7d. Lille del af cement/aske sad fast i bunden under blanding. Åbne porrer på siden efter afforskalling op til 4mm
10 % cement Erstatning 14 dage	10p14d	405	45	1350	225	Blanding: Fugtig som Ref7d, dog meget mindre flydende end Ref7d.
10 % cement erstatning 28 dage	10p28d	405	45	1350	225	Blanding: Fugtig som Ref7d, dog meget mindre flydende end Ref7d.
5 % cement erstatning 28 dage Densitet	D5p28d	427,5	22,5	1350	225	
10 % cement erstatning 28 dage Densitet	D10p28d	405	45	1350	225	

C.2 Anden omgang prøver

Prøve:	ID	Opskrift – gram				Kommentarer
		Cement [g]	Aske [g]	Sand [g]	Vand [g]	
Reference 14 dage Flydemål	Ref14d	450	0	1350	225	
2,5 % cement erstatning 7 dage Flydemål	2,5p7d	438,75	11,25	1350	225	
5 % cement erstatning 7 dage Ekstra vand Flydemål	5p7dV	427,5	22,5	1350	225+ 15	Der tilsættes ikke yderligere vand, da blandingen er ved at blive 'for våd'
10 % cement erstatning 7 dage Ekstra vand Flydemål	10p7dV	405	45	1350	225+ 20	Der tilsættes ikke yderligere vand, da blandingen er ved at blive 'for våd'
5 % cement erstatning 7 dage Superplast Flydemål	5p7dS	427,5	22,5	1350	225	0,3 % superplast af cementvægt
5 % cement erstatning 14 dage Superplast Flydemål	5p14dS	427,5	22,5	1350	225	0,3 % superplast af cementvægt.
10 % cement erstatning 7 dage Superplast Flydemål	10p7dS	405	45	1350	225	0,3 % superplast af cementvægt. En af prøverne knækkede ved afforskalling. Hærdes under samme forhold som andre prøver. Hvis trykprøverne ikke skiller laves ikke en ny prøve.
5 % cement erstatning Vicatmålinger	5pVi	427,5	22,5	1350	225	
10 % cement erstatning Vicatmålinger	10pVi	405	45	1350	225	

D. Resultater for trykprøver og flyde-/sætmål

D.1 Første omgang prøver

ID	Længde [mm]	Højde [mm]	Bredde [mm]	Vægt efter forskalling [g]	Vægt inden trykprøve [g]	Vægt diff [g]	Trykstyrke på Toni [kN]	Trykstyrke [MPa]	vand/ pulver	Gns. Trykstyrke [MPa]	Standard- afvigelse
Ref7d1	160	41,5 41,5	40 40	568,4	574,09	5,69	75 78	45,18 46,99	0,500	46,9	0,88
Ref7d2	160	41 41	40 40	565,21	570,72	5,51	77 78	46,95 47,56			
Ref7d3	160	41,5 41,5	40 40	569,53	575,07	5,54	78 79	46,99 47,59			
5p7d1	160	40,5 40,5	40 40	568,23	573,45	5,22	74 65	45,68 40,12	0,500	43,4	1,94
5p7d2	160	40,5 40,5	40 40	563,19	568,32	5,13	70 69	43,21 42,59			
5p7d3	160	40,5 40,5	40 40	566,66	572,07	5,41	72 72	44,44 44,44			
5p14d1	160	41 41	40 40	563,42	570,24	6,82	77 72	46,95 43,90	0,500	45,7	1,07
5p14d2	160	40 40	40 40	552,13	558,75	6,62	74 74	46,25 46,25			
5p14d3	160	40,4 40,4	40 40	556,26	563,09	6,83	74 73	45,79 45,17			

ID	Længde [mm]	Højde [mm]	Bredde [mm]	Vægt efter forskalling [g]	Vægt inden trykprøve [g]	Vægt diff [g]	Trykstyrke på Toni [kN]	Trykstyrke [MPa]	vand/ pulver	Gns. Trykstyrke [MPa]	Standard- afvigelse
5p28d1	160	40 40	40 40	546,69	554,7	8,01	77 75	48,13 46,88	0,500	49,4	1,81
5p28d2	160	40 40	40 40	550,82	558,86	8,04	81 78	50,63 48,75			
5p28d3	160	40 40	40 40	553,59	561,56	7,97	80 83	50,00 51,88			
10p7d1	160	40,5 40,5	40 40	558,19	564,33	6,14	59 55	36,42 33,95	0,500	34,4	1,47
10p7d2	160	40,5 40,5	40 40	552,04	558,47	6,43	52 55	32,10 33,95			
10p7d3	160	41 41	40 40	559,24	565,63	6,39	58 57	35,37 34,76			
10p14d1	160	39,5 39,5	40 40	540,01	547,05	7,04	67 66	42,41 41,77	0,500	42,2	1,17
10p14d2	160	40,5 40,5	40 40	548,57	555,8	7,23	67 68	41,36 41,98			
10p14d3	160	41 41	40 40	561,3	568,55	7,25	68 73	41,46 44,51			
10d28p1	160,5	40 41	40 40	561,83	570,33	8,5	70 76	43,75 46,34	0,500	44,1	2,16
10d28p2	161	40,5 40,5	40,1 40,1	559,51	568,08	8,57	67 73	41,25 44,95			
10d28p3	160	40,5 40,5	40 40	551,54	560,6	9,06	75 68	46,30 41,98			

D.2 Anden omgang prøver

ID	Længde [mm]	Højde [mm]	Bredde [mm]	Vægt efter forskalling [g]	Vægt inden trykprøve [g]	Vægt diff [g]	Trykstyrke på Toni [kN]	Trykstyrke [MPa]	Sætmål [mm]	Flydemål [mm]	vand/pulver	Gns. Trykstyrke [MPa]	Standard-afvigelse
Ref14d1	160	41	40	574,24	580,48	6,24	84	51,22	8	133	0,500	51,2	1,54
		41	40					51,22	8	130			
		41	40					51,22	8	134			
Ref14d2	160	41	40	572,58	579,01	6,43	88	53,66	Gns	Gns			
		41	40					51,22	8	132,3			
		41	40					48,78					
2,5p7d1	160	41	40	574,24	578,17	3,93	73	44,51	6	128	0,500	44,5	1,43
		41	40					34,76	5	132			
		41	40					42,07	5	127			
2,5p7d2	160	41	40	572,57	577,95	5,38	74	45,12	Gns	Gns			
		41	40					45,73	5,33	129,0			
		41	40					45,12					
5p7dV1	160	40,5	40	559,89	565,02	5,13	65	40,12	4	126	0,533	40,2	1,06
		40,5	40					41,98	5	127			
		40,5	40					39,51	6	125			
5p7dV2	160	40,5	40	557,12	562,58	5,46	63	38,89	Gns	Gns			
		40,5	40					40,74	5,00	126,0			
		40,5	40					40,12					

ID	Længde [mm]	Højde [mm]	Bredde [mm]	Vægt efter forskalling [g]	Vægt inden trykprøve [g]	Vægt diff [g]	Trykstyrke på Toni [kN]	Trykstyrke [MPa]	Sætmål [mm]	Flydemål [mm]	vand/pulver	Gns. Trykstyrke [MPa]	Standard-afvigelse
10p7dV1	160	40	40	547,79	553,3	5,51	57	35,63	1	113	0,544	34,3	1,39
		40	40				54	33,75	1	113			
		40	40				58	36,25	2	114			
10p7dV2	160	40	40	541,12	546,73	5,61	54	33,75	Gns	Gns	0,500	45,2	2,26
		40	40				52	32,50	1	113,3			
		40	40				54	33,75					
5p7dS1	160	41	40	576,73	581,83	5,1	74	45,12	7	133	0,500	45,2	2,26
		41	40				67	40,85	5	136			
		41	40				75	45,73	10	135			
5p7dS2	160	41	40	573,5	578,71	5,21	77	46,95	Gns	Gns	0,526	49,5	2,11
		41	40				77	46,95	7,33	134,7			
		41	40				75	45,73					
5p14dS1	160	40,5	40	565,34		-565,34	83	51,23			0,526	49,5	2,11
		40,5	40				74	45,68					
		40,5	40				81	50,00					
5p14dS2	160	40,5	40	569,02		-569,02	85	52,47			0,526	49,5	2,11
		40,5	40				77	47,53					
		40,5	40				80	49,38					
5p14dS3	160	40,5	40	568,17		-568,17	69	42,59			0,526	49,5	2,11
		40,5	40				81	50,00					
		40,5	40				81	50,00					

ID	Længde [mm]	Højde [mm]	Bredde [mm]	Vægt efter forskalling [g]	Vægt inden trykprøve [g]	Vægt diff [g]	Trykstyrke på Toni [kN]	Trykstyrke [MPa]	Sætmål [mm]	Flydemål [mm]	vand/pulver	Gns. Trykstyrke [MPa]	Standard-afvigelse
10p7dS 1	160	40,5	40	554,05	560,03	5,98	62	38,27	4	114	0,500	38,0	1,67
		40,5	40					40,12	4	115			
		40,5	40					0,00	4	118			
10p7dS 2	160	40,5	40	548,37	554,12	5,75	63	38,89	Gns	Gns			
		40,5	40					35,80	4,00	115,7			
		40,5	40					37,04					
5pVi									1	115	0,5		
									1	114			
									1	114			
10pVi									Gns	Gns	0,5		
									1	114,3			
10pVi									0	104	0,5		
									0	105			
									0	106			
10pVi									Gns	Gns	0,5		
									0	105			

E. Densitet og porøsitet

ID	Højde [mm]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Vægt efter forskalling [g]	Vægt inden ovn [g]	Vægt efter 1 uge [g]	Vægt diff [g]	Vægt efter 2 uger [g]	Vægt diff [g]	Vægt efter 3 uger [g]	Vægt diff [g]
5p28dD1	160	40,5 40,5	40 40	547,87	552,01	499,16	-52,85	499,24	0,08	499,48	0,24
5p28dD2	160	40,5 40,5	40 40	542,97	547,44	494,82	-52,62	494,86	0,04	495,05	0,19
5p28dD3	160	39,5 39,5	40 40	539,35	543,57	491,2	-52,37	491,17	-0,03	491,33	0,16
10p28dD1	160	39 39	40 40	536,07	544,22	504,77	-39,45	500,61	-4,16	500,16	-0,45
10p28dD2	160	40,5 40,5	40 40	555,36	563,93	523,26	-40,67	518,92	-4,34	518,44	-0,48
10p28dD3	160	40,5 40,5	40 40	558,82	567,31	526,69	-40,62	522,38	-4,31	521,87	-0,51

ID	m50 [kg]	mssd [kg]	msw [kg]	V [m3]	Vpå [m3/m3]	på [kg/m3]	pd [kg/m3]	pf [kg/m3]	pssd [kg/m3]	ussd [kg/kg]
5p28dD1	0,49920	0,56014	0,30631	0,0002538	0,0000609	24,0082	1966,67	2588,00	2206,75	0,122075
5p28dD2	0,49475	0,55672	0,30369	0,0002530	0,0000620	24,4912	1955,30	2589,50	2200,21	0,125255
5p28dD3	0,49102	0,55161	0,30116	0,0002505	0,0000606	24,1925	1960,55	2586,22	2202,48	0,123396
10p28dD1	0,49978	0,55058	0,30415	0,0002464	0,0000508	20,6144	2028,08	2554,72	2234,22	0,101645
10p28dD2	0,51793	0,57156	0,31508	0,0002565	0,0000536	20,9100	2019,38	2553,27	2228,48	0,103547
10p28dD3	0,52132	0,57469	0,31727	0,0002574	0,0000534	20,7327	2025,17	2554,86	2232,50	0,102375

F. Askekarakteristik

F.1 Oplukning

Startoplukninger

Dato:20-11-15

Udført af: malm

Prøve	Afvejet	mL målekolbe	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/l Ca	mg/kg Ca
A	1,00	100	697,1780	69717,80	0,0867	8,67	632,9030	63290,30
B	1,00	100	742,2540	74225,40	0,1110	11,10	672,1270	67212,70
C	1,00	100	741,9010	74190,10	0,0739	7,39	680,8320	68083,20
D	1,00	100	750,1730	75017,30	0,0708	7,08	691,3270	69132,70
E	1,00	100	782,5770	78257,70	0,1135	11,35	710,0570	71005,70

mg/l Cd	mg/kg Cd	mg/l Cr	mg/kg Cr	mg/l Cu	mg/kg Cu
0,0104	1,04	0,7018	70,18	5,7883	578,83
0,0160	1,60	0,7505	75,05	6,2165	621,65
0,0000	0,00	0,7636	76,36	6,2384	623,84
0,0199	1,99	0,7658	76,58	6,3256	632,56
0,0000	0,00	0,8119	81,19	6,5387	653,87

mg/l Fe	mg/kg Fe	mg/l K	mg/kg K	mg/l Mg	mg/kg Mg
173,7940	17379,40	40,1451	4014,51	73,8790	7387,90
185,7450	18574,50	42,6644	4266,44	79,3136	7931,36
185,9100	18591,00	42,1114	4211,14	80,1909	8019,09
188,6090	18860,90	43,7396	4373,96	80,7931	8079,31
197,5970	19759,70	45,3335	4533,35	83,7224	8372,24

mg/l Mn	mg/kg Mn	mg/l Na	mg/kg Na	mg/l Ni	mg/kg Ni
4,99144	499,14	19,9601	1996,01	0,4627	46,27
5,2864	528,64	18,7322	1873,22	0,4952	49,52
5,34971	534,97	18,7836	1878,36	0,4737	47,37
5,43146	543,15	19,2709	1927,09	0,5166	51,66
5,59231	559,23	20,3433	2034,33	0,5227	52,27

mg/l P	mg/kg P	mg/l Pb	mg/kg Pb	mg/l Zn	mg/kg Zn
679,1080	67910,80	1,1496	114,96	16,1570	1615,70
723,1560	72315,60	1,2637	126,37	17,4446	1744,46
738,1200	73812,00	1,2809	128,09	17,5664	1756,64
735,4880	73548,80	1,3036	130,36	17,4196	1741,96
762,2240	76222,40	1,3106	131,06	18,3765	1837,65

F.2 Vandindhold**Vandindhold**

aske: mølleå-
cyclon

Dato:19/11-2015

Udført af: malm

Prøve:	m(glas)	m(våd prøve + glas)	m(tør prøve + glas)	m(tør prøve)	% vand
1	4,50	6,07	6,04	1,54	1,91
2	4,52	6,37	6,36	1,84	0,54
3	4,49	5,99	5,98	1,49	0,67
					1,039
					0,76

F.3 Anioner

Anioner

Mølleå-cyclon

Dato: 19/11-15

Prøve	Afvejet	Tilsat	pH	mS/cm
Mølleå-cyclon A	10,00	25,00	8,04	1,758
Mølleå-cyclon B	10,00	25,00	8,24	1,775
Mølleå-cyclon C	10,00	25,00	8,39	1,756

mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/l Ca	mg/kg Ca	mg/l Cd	mg/kg Cd
0,6516	1,30	0,0060	0,0121	330,7940	661,59	0,0000	0,00
0,2133	0,43	0,0069	0,0138	342,8210	685,64	0,0000	0,00
0,5241	1,05	0,0054	0,0107	342,6140	685,23	0,0000	0,00

mg/l Cr	mg/kg Cr	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/l Ca	mg/kg Ca
0,0049	0,010	0,6516	1,30	0,0060	0,0121	330,7940	661,59
0,0054	0,011	0,2133	0,43	0,0069	0,0138	342,8210	685,64
0,0050	0,010	0,5241	1,05	0,0054	0,0107	342,6140	685,23

mg/l Cd	mg/kg Cd	mg/l Cr	mg/kg Cr	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As
0,0000	0,00	0,0049	0,010	0,6516	1,30	0,0060	0,0121
0,0000	0,00	0,0054	0,011	0,2133	0,43	0,0069	0,0138
0,0000	0,00	0,0050	0,010	0,5241	1,05	0,0054	0,0107

mg/l Ca	mg/kg Ca	mg/l Cd	mg/kg Cd	mg/l Cr	mg/kg Cr	mg/L Al	mg/kg Al
330,7940	661,59	0,0000	0,00	0,0049	0,010	0,6516	1,30
342,8210	685,64	0,0000	0,00	0,0054	0,011	0,2133	0,43
342,6140	685,23	0,0000	0,00	0,0050	0,010	0,5241	1,05

mg/L As	mg/kg As	mg/l Ca	mg/kg Ca
0,0060	0,0121	330,7940	661,59
0,0069	0,0138	342,8210	685,64
0,0054	0,0107	342,6140	685,23

F.4 pH og ledningsevne**pH og Ledningsenvn****Prøve: mølleå-cyclon Dato:18/11-2015 Udført af:malm**

	Afvejet	pH dest	mS/cm
mølleå-cyclon A	5,00	9,16	1,390
mølleå-cyclon B	5,00	8,13	1,465
mølleå-cyclon C	5,00	8,02	1,300

F.5 Kornstørrelser



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:

Mølleå-cyclon A

SOP Name:

Flyveaskeaske Tør 1

Measured:

25. november 2015 11:15:23

Sample Source & type:

Paris

Measured by:

f-user

Analysed:

25. november 2015 11:15:24

Sample bulk lot ref:

123-ABC

Result Source:

Measurement

Particle Name:

aske

Accessory Name:

Sciocco 2000

Analysis model:

General purpose

Sensitivity:

Enhanced

Particle RI:

1.500

Absorption:

0

Size range:

0.020 to 2000.000 μm

Obscuration:

1.02 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:

1.000

Weighted Residual:

0.485 %

Result Emulation:

Off

Concentration:

0.0030 %Vol

Span :

1.563

Uniformity:

0.479

Result units:

Volume

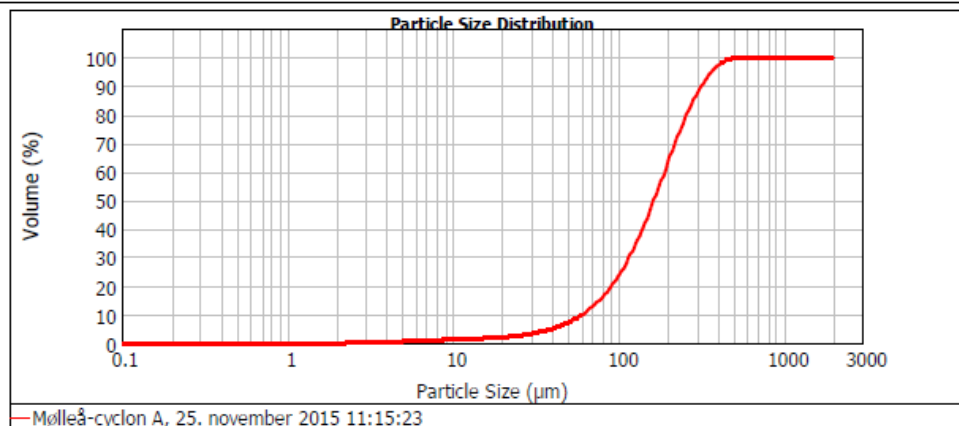
Specific Surface Area:

0.0658 m^2/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:

91.231 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:

178.251 μm d(0.1): 60.458 μm d(0.5): 164.052 μm d(0.9): 316.846 μm 

Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %	Size (μm)	Volume in %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.12	50.238	1.55	355.656	2.99
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.12	56.368	1.89	399.052	1.85
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.11	63.246	2.31	447.744	0.93
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.11	70.963	2.82	502.377	0.12
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.11	79.621	3.44	563.677	0.01
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.12	89.337	4.15	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.01	14.159	0.13	100.237	4.93	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.05	15.887	0.15	112.468	5.75	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.06	17.825	0.19	126.191	6.52	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.07	20.000	0.24	141.589	7.20	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.08	22.440	0.32	158.866	7.66	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.09	25.179	0.41	178.250	7.84	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.10	28.251	0.53	200.000	7.69	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.10	31.698	0.67	224.404	7.20	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.11	35.566	0.84	251.795	6.38	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.11	39.905	1.03	282.508	5.34	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.12	44.774	1.26	316.979	4.14		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.12	50.238		355.656			

Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Mølleå-cyclon B

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Flyveaskeaske Tør 1

Measured by:
f-user

Result Source:
Measurement

Measured:
25. november 2015 11:18:04

Analysed:
25. november 2015 11:18:06

Particle Name:
aske

Particle RI:
1.500

Dispersant Name:

Accessory Name:
Sirocco 2000

Absorption:
0

Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Weighted Residual:
0.442 %

Sensitivity:
Enhanced

Obscuration:
1.37 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0044 %Vol

Span :
1.534

Uniformity:
0.472

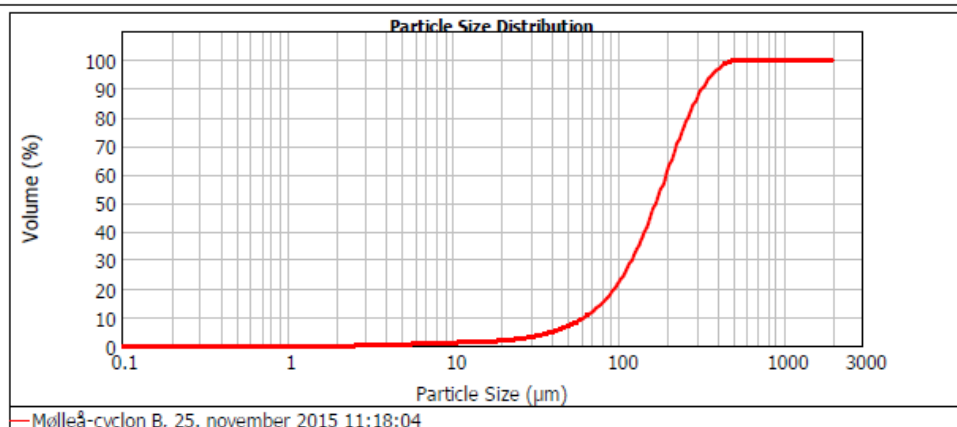
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0614 m^2/g

Surface Weighted Mean D[3,2]:
97.644 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
183.495 μm

d(0.1): 62.937 μm d(0.5): 169.807 μm d(0.9): 323.486 μm



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.10	50.238	1.42	355.656	3.17
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.10	56.368	1.72	399.062	2.02
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.994	0.10	63.246	2.10	447.744	1.04
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.09	70.963	2.58	502.377	0.18
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.10	79.621	3.17	563.677	0.03
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.10	89.337	3.88	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.10	100.237	4.68	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.12	112.468	5.55	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.04	17.825	0.15	126.191	6.40	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.07	20.000	0.19	141.589	7.72	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.07	22.440	0.24	158.866	9.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.07	25.179	0.32	178.250	10.00	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.08	28.251	0.42	200.000	11.18	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.09	31.698	0.53	224.404	12.61	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.10	35.566	0.66	251.785	14.16	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.10	39.905	0.81	282.508	15.89	2000.000	0.00
0.125	0.00	0.893	0.00	6.325	0.10	44.774	0.98	316.979	17.82		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.10	50.238	1.18	355.656	20.00		

Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Mølleå-cyclon C

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Flyveaskeaske Tør 1

Measured by:
f-user

Result Source:
Measurement

Measured:
25. november 2015 13:06:18

Analysed:
25. november 2015 13:06:19

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 μm

Weighted Residual:
0.403 %

Sensitivity:
Enhanced

Obscuration:
1.13 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0037 %Vol

Specific Surface Area:
0.0603 m^2/g

Span :
1.529

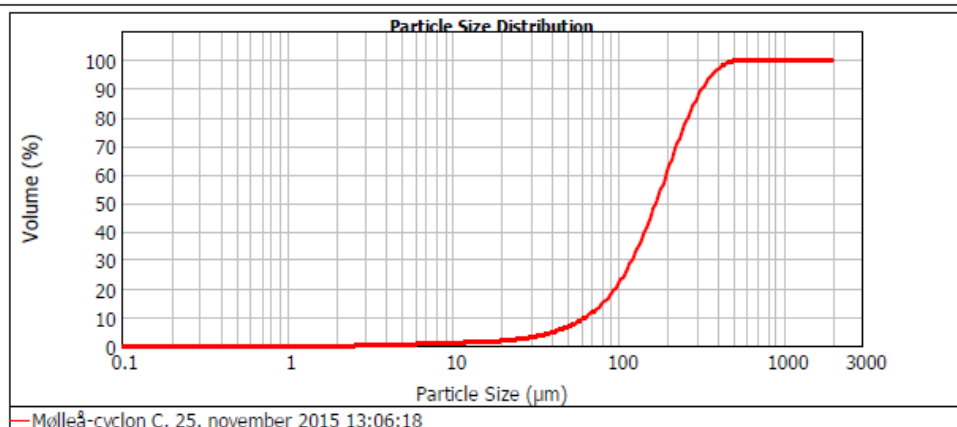
Surface Weighted Mean D[3,2]:
99.421 μm

Uniformity:
0.471

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
183.892 μm

Result units:
Volume

d(0.1): 63.827 μm d(0.5): 169.840 μm d(0.9): 323.465 μm



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.09	50.238	1.39	355.656	3.13
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.09	56.368	1.68	399.062	1.98
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.09	63.246	2.07	447.744	1.03
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.09	70.963	2.55	502.377	0.32
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.09	79.621	3.16	563.677	0.02
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.09	89.337	3.89	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.10	100.237	4.71	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.12	112.468	5.60	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.15	126.191	6.46	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	0.19	141.589	7.23	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.00	22.440	0.25	158.866	7.79	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.00	25.179	0.32	178.250	8.05	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.00	28.251	0.42	200.000	7.96	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.00	31.698	0.53	224.404	7.50	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.00	35.566	0.65	251.785	6.69	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.00	39.905	0.79	282.508	5.62	2000.000	0.00
0.125	0.00	0.893	0.00	6.325	0.00	44.774	0.96	316.979	4.37		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.09	50.238	1.15	355.656			

Operator notes:

F.6 Glødetab

Glødetab						
Prøve Cyclon	Mølleå-	Dato:	18/11-	Udført af: malm		
		2015				
Prøve:	m(tom digle)		m(prøve)	m(digle med glødet prøve)	m(glødet prøve)	% glødetab
A	13,6401		1,5048	15,1412	1,5011	0,2459
B	13,5365		1,5015	15,0348	1,4983	0,2131
C	11,2692		1,5046	12,7703	1,5011	0,2326