

Anvendelse af bioaske i beton

Bearbejdelighed og hærkning



Maria S. Christiansen s103576
Katrine Øster s082346

Diplom Afgangprojekt

Institut for Byggeri og Anlæg
2014

DTU Institut for Byggeri og Anlæg
Juni 2014

Forord

Nærværende rapport er udarbejdet i forårssemestret 2014 ved Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet, som et afgangsprøveprojekt for diplomuddannelsen svarende til 2x20 ECTS points. Rapporten er udarbejdet som en del af ZeroWaste Byg projektet.

Rapporten samt forsøg er udført af Maria Schultz Christiansen og Katrine Øster i perioden 3. februar 2014 til 4. juni 2014. Rapporten henvender sig til studerende på DTU Byg, så det forventes, at læseren har den basale viden om emnet.

Der rettes en særlig tak til hovedvejleder Lisbeth M. Ottosen samt medvejleder Per Goltermann og Pernille Erland Jensen.

Yderligere skal der lyde en tak til laboranterne Ebba C. Schnell, Sabrina Madsen og Louise Birkemose for kyndig vejledning til forsøg i forbindelse med rapporten.

Til slut en tak til HOFOR Amagerværket for udlevering af aske.

Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby, d. 4. juni 2014

Maria Schultz Christiansen, s103576

Katrine Øster, s082346

Resumé

Af miljømæssige og økonomiske grunde er det interessant, at undersøge om dele af cementen i beton kan erstattes med aske. I dag anvendes flyveaske i betonindustrien, men det kan være spændende at undersøge om andre typer aske kan anvendes som cementerstatning.

I dette projekt er der undersøgt en samfyngsaske af kul og træ fra HOFOR Amagerværket, hvor der er lagt vægt på bearbejdéligheden og styrkeudviklingen i den tidlige fase af hærdningsprocessen. Projektet er en del af en projektklynge, der i foråret 2014 består af fem grupper. Fra tidligere studier på DTU omkring erstatning af cement med aske er det vist, at betonen opnår en højere trykstyrke når asken ringknuses. På baggrund af dette, er der anvendt ringknust aske til samtlige forsøg.

Projektet består af to faser. I første fase blev asken karakteriseret, for at undersøge om asken kan anvendes i beton. Her blev det fastlagt, at mængden af tungmetaller i asken (cadmium, bly og zink) overskrider grænsen til kategori 1. Asken har derfor begrænset anvendelsesmuligheder. Askens vandindhold blev målt til 0,21 %, og har ingen betydelig påvirkning på v/c-forholdet. Surhedsgraden for asken blev målt til 13,1, og da et sundt betonmiljø har en surhedsgrad på ca. 13, påvirker asken ikke betonens miljø negativt. Askens vandopløselighed på 14,2 % og ledningsevnen på 53,8 mS/cm indikerer, at asken indeholder mange salte. Ved en IC måling blev denne teori bekræftet. Målingen viste, at især indholdet af sulfat på 47.450 mg/kg var langt større end sulfatindholdet fra tidligere rapporter samt slamasker fra sideløbende projekter. Udover undersøgelse af askens karakteristikkér blev der i første fase, undersøgt trykstyrker for prøver, hvor asken erstatter hhv. 5 % af cementen (recept A) samt 10 % af sandet (recept B). Resultaterne blev sammenholdt med referenceprøver støbt uden aske. Efter en termin på fem døgn havde A og B opnået en styrke på hhv. 37,5 MPa og 32,0 MPa, hvor referencen havde opnået en styrke på 46,1 MPa.

Til slut blev den friske betons egenskaber undersøgt vha. flydemål og afbinding. Her viste det sig, at referencen havde et flydemål på 156 mm (v/c=0,50), hvor A havde et flydemål på 177 mm (v/c=0,55) og B et flydemål på 142 mm (v/c=0,60). A har et højere flydemål end referencen, hvilket skyldes at der tilsat ekstra vand for at gøre mørtlen bearbejdélig i forbindelse med støbning af trykprøver.

Referencen begyndte at afbinde ved 165 min, hvor recept A og B først begyndte at afbinde efter 200 min.

Da der er flere økonomiske og miljømæssige fordele ved at erstatte cement fremfor sand, og på baggrund af resultaterne fra trykprøvningen, blev det fravalgt at arbejde videre med recept B.

I projektets anden fase blev det på baggrund af det høje saltindhold i asken, valgt at vaske asken for salte. Herefter blev den behandlede askes pH-værdi målt til 12,9 og ledningsevnen til 10,8 mS/cm. Indholdet af salter var som forventet faldet hvilket kunne ses tydeligt på koncentrationen af sulfat, som var reduceret til 64 mg/kg.

Derudover blev der dannet nye recepter. Recept AB var identisk med recept A, dog med behandlet aske. I recept CB blev 10 % af cementen erstattet med den behandlede aske, og recept D havde den samme recept som A, hvor der dog blev taget højde for vandopløseligheden af asken.

Der blev foretaget trykprøver med de nye recepter. Her blev det målt, at recept AB, CB og D havde opnået en trykstyrke på hhv. 43,6 MPa, 36,8 MPa og 44,2 MPa efter 5 dage. Det tyder på, at saltene ikke påvirker betonens trykstyrke, men at den derimod afhænger af mængden af faststof.

Den friske betons egenskaber blev igen undersøgt vha. flydemål og afbinding. Recept AB havde et flydemål på 158 mm ($v/c=0,53$), CB et flydemål på 157 mm ($v/c=0,56$), og D et flydemål på 176 mm ($v/c=0,54$). Ved sammenligning af resultaterne for flydemål fra første fase, viste det sig, at saltene i asken har en betydelig påvirkning på flydemålet. Den optimale recept ved betragtning af flydemålet alene, er derfor med behandlet aske.

Recept AB og CB begyndte at afbinde ved 170 min, og D efter 200 min. Det tyder derfor på, at saltene i asken forsinket afbindingen.

Det kan konkluderes, at hvis asken skal anvendes i beton, er der en række faktorer der skal tages hensyn til. Erstattes 5 % cement med aske påvirker det ikke betonstyrken betydeligt. Tilsættes der mere end 5 % aske reduceres, betonstyrken med for stor en andel. Det tyder ikke på, at saltene i asken påvirker trykstyrken betydeligt, styrken afhænger derimod af faststofmængden. Dog har saltene en stor påvirkning på både flydemål og afbinding.

Abstract

For environmental and economic reasons, it is interesting to investigate whether ashes can replace parts of cement in concrete. Today, fly ash is primarily used in the concrete industry, but it is whether other types of ashes can be used as a cement replacement.

In this project ash of coal and wood from HOFOR Amagerværket is investigated, where the emphasis is on the workability and strength development during the early stage of the hardening process. The project is part of a cluster project from spring 2014 and consists of five groups. Previous studies at DTU show that the concrete achieves a higher compressive strength when the ash is ring-crushed. In the light of this, ring-crushed ash is used for all experiments in the project.

The project consists of two phases. In the first phase, the ash was characterized, to check if the ash could be used in concrete. Here it was established that the amount of heavy metals in the ash (cadmium, lead and zinc) exceeds the limit for category 1, therefore the ashes has limited applications. The water content was 0.21 % and has therefore no significant effect on the v/c ratio. The pH was 13.1, so the ash does not affect the concrete adversely. The water solubility of the ash was 14.2 % and the conductivity was 53.8 mS/cm, which indicates that the ash has a high salt content. With an IC measurement, this theory was confirmed. The measurement showed that the content of sulfate at 47,450 mg/kg was significantly higher than the content of sulfate from previous reports and sludge ash from parallel projects.

Besides the study of the ash characteristics, compressive strengths of samples where the ashes replace 5% of the cement (prescription A) and 10 % of the sand (prescription B) was investigated. The results were compared with reference samples without ash. After five days A and B had achieved a compressive strength of respectively 37.5 MPa and 32.0 MPa, where the reference had reached a compressive strength of 46.1 MPa.

Afterwards the fresh mortar properties were investigated. The reference had a diameter of 156 mm (w/c=0.50), where A had a diameter 177 mm (w/c=0.55) and B a diameter of 142 mm (w/c=0.60). A has a higher diameter than the reference, due to the additional water added to make the mortar workability.

The initial setting time for the reference was 165 min, where the initial setting time for prescription A and B was more than 200 min.

There are more economical and environmental benefits in replacing cement compared to sand, and on the basis of the results of the compressive strength test, it was decided not to proceed with prescription B.

Because of the high salt content in the ash, it was decided to wash the ashes free from salt in the second phase. The washed ash had a pH value of 12.9 and conductivity of 10.8 mS/cm. The concentration of the salts in the washed ash was measured. Here it was established that the content of sulfate was decreased to 64 mg/kg.

Additionally, new prescriptions were formed. The AB prescription was the same as prescription A, but with the washed ash. The prescription CB had 10 % of the cement replaced with the washed ash and prescription D had the same prescription as A, where the ashes lost from water solubility, was added.

The compressive strength was found with the new prescriptions. AB, CB and D had achieved a compressive strength of respectively 43.6 MPa, 36.8 MPa and 44.2 MPa after 5 days. This indicates that the salts do not affect the compressive strength of concrete but on the other hand the compressive strength depends on the amount of solids.

The fresh concrete properties were reexamined. Prescription AB had a diameter of 158 mm ($w/c=0.53$), CB a diameter of 157 mm ($w/c=0.56$), and D a diameter of 176 mm ($w/c=0.54$).

When comparing the results of the diameter from the first phase, it shows that the salt in the ash has a significant impact on the consistence of fresh mortar. The best prescription when considering the consistence of fresh mortar alone is with washed ash.

The initial setting time for prescription AB and CB was at 170 min. and D after more than 200 min. This indicates that the salts in the ash delays the setting time.

It can be concluded that if the ash should be used in concrete, there are a number of factors to consider. If 5% of cement is replaced with ash, then the ash does not affect the concrete strength significantly. If more than 10 % is added, the concrete strength is reduced excessively.

There is no indication that the salts in the ash affect the compressive strength significantly; the strength depends rather on the amount of solids. However, the salt has a big impact on the consistency of the fresh mortar.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	1
2. Teori	3
2.1. Aske.....	3
2.1.1. Askens baggrund	3
2.1.2. Askekarakteristik.....	3
2.2. Beton	6
2.2.1. Sammensætning	6
2.2.2. Styrke	7
2.2.3. Konsistens	8
2.2.4. Porøsitet og Densitet	9
2.2.5. Kapillarsugning	11
2.2.6. Miljøklasser.....	13
3. Eksperimentelt arbejde.....	14
3.1. Karakteristik af asken.....	15
3.2. Mørtel.....	16
3.2.1. Flydemål.....	17
3.2.2. Afbindingstid.....	17
3.2.3. Trykstyrke	18
3.2.4. Porøsitet og densitet	18
3.2.5. Kapillarsugning	18
4. Resultater og diskussion.....	19
4.1. Askekarakteristik.....	20
4.2. Mørtel.....	23
4.2.1. Flydemål.....	24
4.2.2. Afbinding	25
4.2.3. Trykstyrke	27
4.2.4. Porøsitet og densitet	32
4.2.5. Kapillarsugning	33
4.3. Observationer og videre forskning.....	35
5. Konklusion	36
6. Referencer	38
7. Bilag	42

1. Indledning

Beton er et af de mest nødvendige og anvendte byggematerialer i verden, i gennemsnit produceres der to ton beton pr menneske om året. Men med produktionen af beton følger der nogle miljømæssige problemer. Størst er emissionen af CO₂. Udslippet af CO₂ er et stigende problem i verden, og fremstillingen af cement står alene for omkring 5-10 % af det samlede CO₂ udslip hvert eneste år [Krøyer, 2011]. Dele af cementen kan derfor med fordele erstattes af andre materialer. I dag anvendes bl.a. flyveaske som erstatning for dele af cementen. Udover miljømæssige fordele, er der også økonomiske fordele ved at erstatte dele af cementen med aske. Deponering af aske koster 800-1.000 kr. pr. ton [Pedersen, Ottosen, Simonsen og Christensen, 2004], og ved at anvende asken i beton, slipper man for denne affaldsafgift, samt prisen for den cement man ikke anvender. Udover det, afskaffes asken på en forsvarlig måde.

Det kan være interessant, at undersøge om der kan anvendes andre asker end flyveaske som erstatning af cement. Skal det være muligt at anvende en bestemt type aske, er der krav til askens indhold og sammensætning. Derudover må asken ikke påvirke betonens styrke og egenskaber betragteligt.

I hosliggende rapport er der undersøgt en aske fra HOFOR Amagerværket, det er antaget at asken er en samfyringsaske af kul og træ. Da flyveaske er godkendt til anvendelse i beton, er den anvendte aske sammenholdt med kravene til flyveaske. Nærværende projekt er en del af en projektklynge i der består af fem grupper, som hver især undersøger en specifik aske.

Projektet består af to faser. I første fase er asken blevet karakteriseret. Derudover er der foretaget screeningsforsøg, hvor asken erstatter hhv. 5 % af cementen og 10 % af sandet. Her er der lagt vægt på bearbejdigheden og styrkeudviklingen i den tidlige fase af hærdningsperioden. Dette er undersøgt vha. flydemål, afbindingstid, og trykprøver, som er sammenholdt med en referenceprøve uden aske. Første fase blev afsluttet med en posterpræsentation, hvor de væsentligste resultater blev fremlagt. Posterpræsentationen kan ses i bilag 18.

I projektets anden fase blev det undersøgt, om asken skiller sig ud fra de resterende gruppers aske eller kravene til flyveaske. Her blev det fastlagt, at asken indeholder en stor mængde salte. På baggrund af dette, blev asken vasket for salte samt nye mørtelrecepter blev dannet. Herefter blev det undersøgt hvilken påvirkning saltene har på afbinding, flydemål og trykstyrke.

Da det i tidligere rapporter er vist, at man med fordel kan ringknuse asken, er ovenstående forsøg udført med ringknust aske [Carlsen og Petersen, 2013].

Rapportens opbygning

Rapporten indeholder følgende afsnit:

Kapitel 1. *Indledning*: Her gives der baggrund for projektets formål, omfang og afgrænsning.

Kapitel 2. *Teori*: Her gennemgås teorien der er relevant for projektet.

Kapitel 3. *Eksperimentelt arbejde*: I dette afsnit gennemgås de anvendte forsøg og fremgangsmetoder.

Kapitel 4. *Resultater og diskussion*: Her fremlægges og diskuteres de relevante resultater.

Kapitel 5. *Konklusion*: I dette afsnit opsamles konklusionerne fra kapitel 4.

2. Teori

2.1. Aske

2.1.1. Askens baggrund

Den anvendte aske i nærværende projekt stammer fra Amagerværket der pr. 1. januar 2014 blev overtaget af forsyningselskabet HOFOR. Værket består af to blokke, blok 1 og blok 3. Den benyttede aske stammer fra blok 1, som fyrer med biomasse (træpiller). Som backup kan blok 1 anvende kul og olie [HOFOR, 2014]. På baggrund af dette antages det, at den anvendte aske er en samfydingsaske af kul og træ.

2.1.2. Askekarakteristik

For at asken skal kunne anvendes til beton, er der en række krav der skal være overholdt. Da der ikke findes grænseværdier for den anvendte aske, er grænseværdier for flyveaske benyttet til sammenligning.

Aske kan indeholde organisk materiale. Definitionen på organisk materiale, er materiale der indeholder carbon, og kan nedbrydes med tiden. En indikation på hvor meget organisk materiale aske indeholder, kan bestemmes vha. glødetabet. I tabel 1 ses grænseværdier for flyveaske.

Kategori A	< 5 %
Kategori B	< 7 %
Kategori C	< 9 %

Tabel 1: Kategorier for glødetab [DS/EN 450-1, 2012].

Hvis flyveaske har et højt glødetab, tyder det på, at der er en del uforbrændt kul i asken. Derudover kan et højt glødetab gøre den friske beton ubearbejdelig, samt gøre det svært at styre luftindholdet [Hasholt, Berrig og Mathiesen, 2002].

Tungmetaller

Af miljømæssige årsager, er det vigtigt, at asken ikke indeholder for store mængder tungmetaller. Jo større mængde tungmetaller der findes i asken, des færre anvendelsesmuligheder er der. Miljøministeriet har fastlagt hvor stor en mængde tungmetaller restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejde må indeholde.

I tabel 2 er mængden af tungmetaller og kategorier angivet.

Metal	Kategori 1	Kategori 2
Arsen As	0-20	>20
Cadmium Cd	0-0,5	>0,5
Chrom Cr	0-500	>500
Kobber Cu	0-500	>500
Nikkel Ni	0-30	>30
Bly Pb	0-40	>40
Zink Zn	0-500	>500

Tabel 2: Kategorier for tungmetaller [Retsinformation, 2014]

Aske der tilhører kategori 1, kan anvendes til alt bygge- og anlægsarbejde, hvorimod aske der tilhører kategori 2, har begrænset anvendelsesmuligheder.

Udover tungmetaller, er der krav til indholdet af en række andre stoffer i asken. Mængden af SO_3 må ikke være større end 3,0 %, indholdet af P_2O_5 må ikke overstige 5 % og mængden af MgO må ikke overstige 4 %. Derudover skal summen af SiO_2 , Al_2O_3 og Fe_2O_3 være større end 70 % [DS/EN 450-1, 2012].

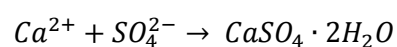
Salte

Salte fra asken kan være skadeligt for beton. Et højt saltindhold kan bl.a. medføre forringelse af styrken og korrosion af armering.

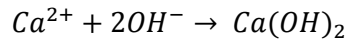
En indikation på et højt saltindhold kan være en høj vandopløselighed. Dette betyder, at der findes mange stoffer (salte) i asken, der opløses, når de kommer i kontakt med vand.

Askens indhold af saltioner afspejler yderligere saltindholdet i asken. Saltionerne i asken kan måles ved ledningsevnen, da sidstnævnte måler hvor hurtigt en elektrisk strøm passerer igennem en væske. Er ledningsevnen høj, betyder det, at der findes mange saltioner til at transportere den elektriske strøm igennem væsken. Det skal nævnes, at der er stor forskel på de forskellige saltes påvirkning på betonens egenskaber. I dette projekt betragtes saltene sulfat samt klorid.

Et stort indhold af sulfat i asken kan resultere i sulfatangreb, hvilket kan medføre at betonstyrken reduceres, at betonen ekspanderer, afskaller eller falder fra hinanden. Sulfatangreb kan både være eksternt og internt. Der kan opstå en reaktion mellem sulfationerne (SO_4^{2-}) og cementpastaens calciumioner (Ca^{2+}). Ud fra denne reaktion kan gipsdannelse opstå [Geiker (5.8), 2008]:



Når beton støbes, stræbes der efter følgende reaktion:



En teori kan være, at hvis beton tilsættes aske med et højt indhold af sulfat, så kan sulfationerne ”stjæle” calciumionerne og forhindre dannelsen af calciumhydroxid. Et litteraturstudie har vist, at det ikke har været muligt at finde noget brugbart litteratur om emnet, se bilag 16.

Findes der klorid i asken, kan dette nedbryde det passiverende lag af jernoxid på armeringen [Geiker (5.8), 2008]. Der findes derfor grænseværdier for meget klorid beton må indeholde ift. cement. Grænseværdierne og anvendelsesmulighederne kan ses i tabel 3.

Anvendelse	Miljøklasse			
	P	M	A	E
Uden armering	Cl 1,0	Cl 1,0	Cl 1,0	Cl 1,0
Med armering	Cl 0,40	Cl 0,20	Cl 0,20	Cl 0,20
Med spændarmering af stål	Cl 0,20	Cl 0,20	Cl 0,20	Cl 0,10

Tabel 3: Kloridklasser, tallet efter Cl indikerer hvor meget klorid der er tilladt ift. cement i % [DS/EN 206-1, 2011]

Miljøklasserne P, M, A og E er beskrevet i afsnit 2.2.6, tabel 9. Udover klorid kan et surt miljø i betonen ødelægge armeringens passivlag. Et sundt betonmiljø har ca. en surhedsgrad på 13 [Geiker (5.2), 2008].

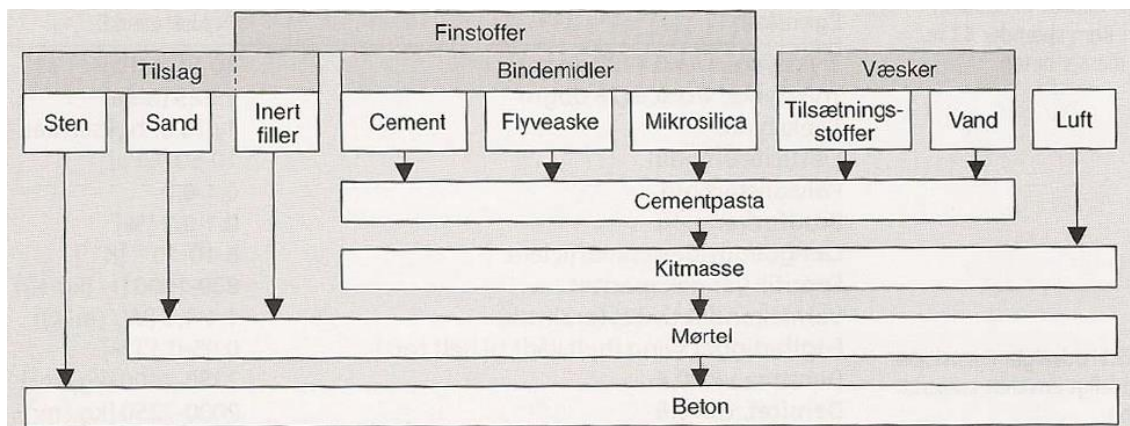
2.2. Beton

2.2.1. Sammensætning

Beton er i dag det mest brugte byggemateriale. Dette skyldes bl.a. at materialerne til beton er let tilgængelige samt prisen er lav i forhold til mange andre tilsvarende materialer. Derudover har beton mange gode egenskaber, så som en god bearbejdelighed. Beton kan anvendes alene eller i kombination med stål, bl.a. fordi de to materialer har omtrent samme varmeudvidelseskoefficient [Geiker (5.2), 2008].

Beton består primært af sten, sand, cement og vand. Cement består bl.a. af forskellige klinkemineraler. De vigtigste er C_3S der giver hurtig tidlig styrke, C_2S der har betydning for den sene styrkeudvikling, samt C_3A og C_4AF som ikke har nogen påvirkning på styrken [Geiker (5.2), 2008].

Derudover kan der tilsættes flyveaske eller mikrosilica, som bidrager til øget styrke og tæthed. Dette skyldes, at flyveaske og mikrosilica har puzzolanske effekter, da de danner bindemidler ved reaktion med calciumhydroxid. For at denne reaktion kan opstå, skal der dog være cement tilstede, da de i sig selv ikke har bindemidelegenskaber [Nepper-Christensen, 1985]. Der findes grænser for forholdet mellem puzzolaner og cement, ses tabel 5 [Portland, 2010]. På figur 1 ses en oversigt over betonsammensætningen.



Figur 1: Betonsammensætning [Geiker(5.2), 2008]

Som det fremstår af figur 1, er mørtel betegnelsen for beton uden sten.

2.2.2. Styrke

Beton benyttes oftest til at optage trykkræfter i konstruktioner, da den har en høj trykstyrke. Derimod har beton en betydeligt lavere trækstyrke, som regel 1/10 af trykstyrken [Geiker og Nielsen (5.7), 2008]. Når beton udsættes for træk, anvendes der typisk armeret beton, hvor armeringen optager trækkræfterne. Uarmeret beton testes derfor som regel kun for tryk.

Betons trykstyrke måles ved at et prøvelegeme udsættes for en normalkraft på et kendt areal indtil brud forekommer. Trykstyrken (σ) kan derved beregnes som forholdet mellem normalkraften (F) og trykarealet (A).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Styrken på beton har enheden [Pa]. Betons styrke afhænger hovedsageligt af cementpastaens styrke, der bl.a. er bestemt af v/c-forholdet [Geiker og Nielsen (5.7), 2008].

For beton hvor v/c-forholdet ligger i intervallet 0,4-1,25 og luftindholdet i intervallet 1,5-2 % kan styrken beskrives ved brug af Bolomeys formel [Portland, 2010]:

$$f_c = K * \left(\frac{1}{v/c} - \alpha \right) \quad (2.2)$$

Her er K og α konstanter, der afhænger af cementtypen og termin. Som det fremgår af formlen, så øges styrken med et lavt v/c-forhold.

Tilsættes der tilsætningsstoffer med puzzolanske effekter, skal dette medregnes i v/c-forholdet, der således bliver redigeret til et vand/pulver-forhold. Tilsætningsstoffer med puzzolanske effekter har forskellig effekt på styrken, som beskrives ved aktivitetsfaktoren k . Styrken for beton med tilsætningsstoffer der har puzzolanske effekter, kan beregnes vha. følgende formel [Geiker og Nielsen (5.7), 2008]:

$$f_c = K * \left(\frac{1}{v/(c+k*p)} - \alpha \right) \quad (2.3)$$

I tabel 4 ses vejledende konstanter til Bolomeys formel.

Cementtype	Termin [dage]	K	α
Basis cement	1	17	0,9
	7	26	0,6
	28	30	0,5

Tabel 4: Vejledende konstanter til Bolomeys formel [Portland, 2010]

For at vurdere om et tilsætningsstof har puzzolanske effekter, skal en prøve støbt med 25 % cementerstatning have opnået minimum 75 % af styrken efter 28 døgn ved sammenligning med en referenceprøve uden tilsætningsstoffer [DS/EN 450-1, 2012].

For mørtel kan styrken beregnes vha. Férets formel:

$$f_c = k * \left(\frac{c}{v+L+c} \right)^2 \quad (2.4)$$

Her er k en konstant, de resterende beskriver volumen af hhv. cement, vand og luft [Geiker og Nielsen (5.7), 2008].

I tabel 5 ses kravene for de forskellige miljøklasser til v/c-forhold, flyveaske/cement-forhold samt mikrosilica/cement-forhold.

	Miljøklasser			
	P	M	A	E
v/c-forhold	-	≤ 0,55	≤ 0,45	≤ 0,40
Max FA/C-forhold	-	0,33	0,33	0,33
Max MS/C-forhold	-	0,11	0,11	0,11

Tabel 5: Væsentlige krav til beton [Aalborg, 2010]

2.2.3. Konsistens

Som tidligere omtalt, har vandindholdet en stor betydning for betonstyrken. Derudover påvirker v/c-forholdet betonens bearbejdighed og konsistensen. Hertil kan begrebet flydemål anvendes.

I tabel 6 ses en sammenhæng mellem flydemål og konsistens.

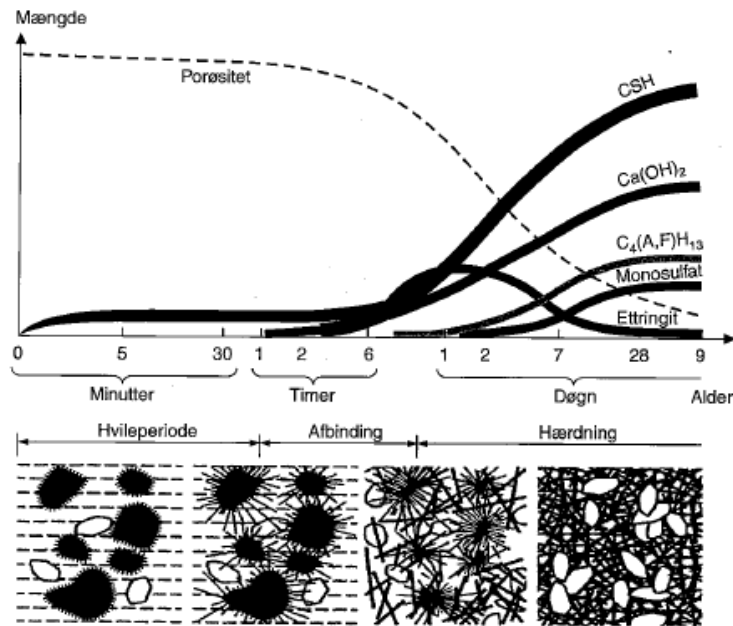
Flydemål for beton	
Jordfugtig konsistens	0-30 mm
Stiv konsistens	30-60 mm
Plastisk konsistens	60-100 mm
Tyktflydende konsistens	100-150 mm
Flydende konsistens	>150 mm

Tabel 6: Flydemål for beton [Rosenmai og Svendsen, 2012]

Konsistensen tilpasses alt efter betonens formål. F.eks. anvendes flydende beton til udfyldning af forme [Geiker (5.3), 2008].

Efter betonen er støbt, men før den hærder, begynder betonen at afbinde. Under afbindingsperioden tager betonen fast form, mens styrken først opnås under hærdeningen. Afbindingen og styrkeudviklingen skyldes en kemisk reaktion mellem cement og vand. [Jensen og Nielsen, 2008]. Beton opnår ca. 70 % af sin styrke efter 7 døgn, og efter 28 døgn har beton opnået design styrken [Jensen, 2008].

På figur 2 er forløbet illustreret.



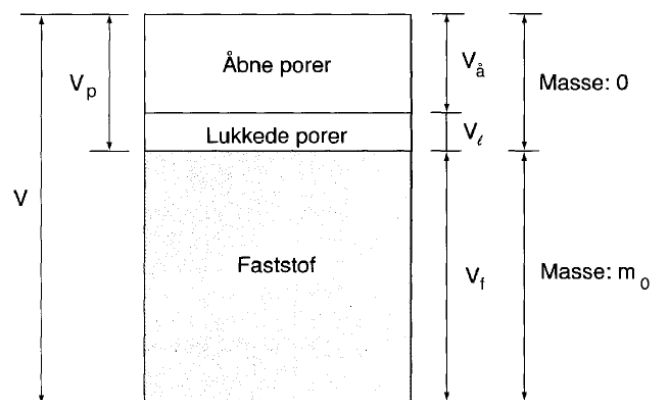
Figur 2: Afbindingsforløb [Jensen og Nielsen (5.4), 2008]

For basiscement tager det typisk 2 timer og 45 min (165 min) at afbinde [Portland, 2010]. For at forsinke/ fremskride reaktionsprocessen, kan forskellige tilsætningsstoffer tilføjes til betonen [Geiker (5.2), 2008]. I Portland cement er der tilføjet en lille mængde gips, da gips kan forsinke afbindingen. [Nepper-Christensen, 1985].

2.2.4. Porøsitet og Densitet

Porøsitet

Porøsitet er defineret som forholdet mellem porevolumen og det totale volumen. Porevolumen og det totale volumen kan imidlertid inddeles yderligere, dette er illustreret på figur 3.



Figur 3: Fremstilling af faserne i et tørt, porøst materiale [Jensen og Nielsen, 1997]

For et materiale skelnes der mellem to slags porøsiteter. Et materiales åbne porøsitet betegnes som forholdet mellem det åbne porevolumen og det totale volumen, hvorimod et materiales totale porøsitet er defineret som forholdet mellem det totale porevolumen og det totale volumen. I hosliggende projekt betragtes udelukkende materialets åbne porøsitet [Jensen og Nielsen, 1997].

$$p_a = \frac{V_a}{V} \quad (2.5)$$

Et materiales egenskaber afhænger af dets porøsitet, jo lavere porøsitet, des højere styrke. Derudover kan betonen indeholde en stor mængde vand, hvis porøsiteten er stor. Dette er forbundet med en risiko, da der kan forekomme kemiske aktiviteter, hvilket påvirker materialets holdbarhed [Jensen og Nielsen, 1997].

Densitet

Et materiales densiteten er defineret som forholdet mellem masse og volumen. Her skelnes der mellem densiteter af materialet i forskellige fugttilstande.

Faststoffdensiteten er densiteten af det faste materiale ved betragtning af volumen uden porer [Jensen og Nielsen, 1997].

$$\rho_f = \frac{m_0}{V_f} \quad (2.6)$$

Den tilsyneladende tørstoffdensitet er densiteten af det tørre materiale når det totale volumen betragtes [Jensen og Nielsen, 1997].

$$\rho_d = \frac{m_0}{V} \quad (2.7)$$

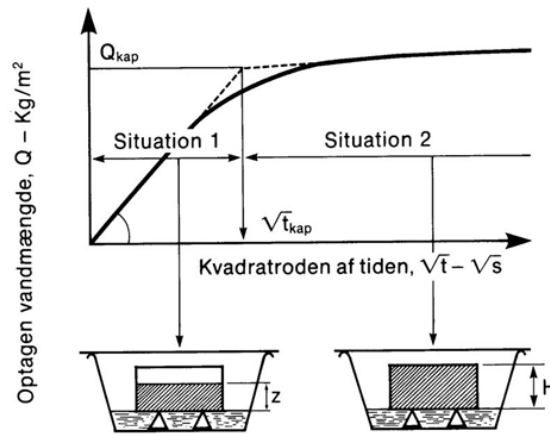
I tabel 7 ses værdierne for porøsitet samt faststoffdensitet og tørstoffdensitet for forskellige typer beton.

	p_a [%]	ρ_f [kg/m ³]	ρ_d [kg/m ³]
Cementmørtel	20	2650	2100
Beton v/c = 0,4	5-10	2650	2350-2450
Beton v/c = 0,6	10-20	2650	2150-2350

Tabel 7: Porøsitet, faststoffdensitet og tørstoffdensitet for forskellige typer beton [Gottfredsen og Nielsen, 2010]

2.2.5. Kapillarsugning

Når et tørt, porøst legeme som beton, bringes i kontakt med vand, opstår der kapillarsugning. Som ordet siger, er dette en transport af vand, der primært foregår gennem materialets kapillarporer. På figur 4 ses en illustration af et kapillarsugningsforsøg.



Figur 4: Illustration af et kapillarsugningsforsøg [11735]

Hen ad x-aksen ses kvadratroden af tiden, og langs y-aksen ses den optagne vandmængde pr. areal. Den optagne vandmængde beregnes vha. følgende formel [11735]:

$$Q = \frac{m_t - m_0}{A} \quad (2.8)$$

Her er m_t vægten af legemet til tiden t , m_0 er startvægten af det tørre legeme og A er opsuigningsarealet. Den optagne vandmængde har enheden $[\text{kg}/\text{m}^2]$.

Efter vandoverfladen er nået til toppen af legemet, eller når der opstår ligevægt mellem kapillarkræfterne og de modsatrettede kræfter fra friktion og tyngdekraft, aftager hastigheden af den optagne vandmængde. Den stiplede linje på figur 4, viser det optimale forhold, hvor Q_{kap} er den maksimalt optagne vandmængde efter tiden $\sqrt{t_{\text{kap}}}$. Det optimale forhold forekommer dog ikke i virkeligheden, kurven vil som regel fremkomme som den fuldt optrukne, da alle porerne ikke fyldes på samme tid. Q_{kap} og $\sqrt{t_{\text{kap}}}$ kan i så fald, findes som skæringspunktet mellem tangenten fra hhv. den stejle og den vandrette del af kurven. Ud fra dette kan kapillaritetstallet k beregnes [11735]:

$$k = \frac{Q_{\text{kap}}}{\sqrt{t_{\text{kap}}}} \quad (2.9)$$

Kapillaritetstallet har enheden $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})]$.

Den indre modstand i materialet kan beskrives af modstandstallet M , der beregnes på følgende måde [11735]:

$$M = \frac{t_{kap}}{h^2} \quad (2.10)$$

Her er h højden af prøvelegemet. Modstandstallet har enheden $[s/m^2]$. Som det fremgår af formel (2.9) og (2.10), vil hurtig opsugning give et højt kapillaritetstal og et lavt modstandstal. I tabel 8 ses værdierne for kapillaritetstal og modstandstal for cement og mørtel.

Materiale	k [$kg/(m^2*s^{1/2})$]	M [s/m^2]
Cementmørtel	0,05-0,6	2,5-4
Beton	0,01-0,3	10-50

Tabel 8: Kapillaritetstal og modstandstal for cementmørtel og beton [Gottfredsen og Nielsen, 2010]

2.2.6. Miljøklasser

Beton kan anvendes i mange sammenhænge, og kan udsættes for mange forskellige påvirkninger. I den sammenhæng findes der miljøklasser, der fortæller hvilket miljø betonen udsættes for, samt hvad den kan anvendes til. I tabel 9 ses en oversigt over miljøklasserne.

Miljøklasse	Beskrivelse	Typiske konstruktioner
P (passiv)	Tørt miljø, hvor korrosion ikke forekommer	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruktioner i indendørs tørt miljø • Jorddækkende fundamenter i lav eller normal sikkerhedsklasse
M (moderat)	Fugtigt miljø, hvor der ikke er risiko for frostpåvirkning i kombination med vandmætning, og hvor der ikke i nævneværdig grad kan tilføres alkalier og/ eller klorider til betonoverflader	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamenter delvis over terræn • Jorddækkende fundamenter i høj sikkerhedsklasse • Udvendige vægge, facader og søjler • Udvendige bjælker med konstruktiv beskyttede oversider • Altanbrystninger • Installationskanaler • Ingeniørgange • Elevatorgruber • Konstruktionsdele i svagt aggressivt grundvand
A (aggressiv)	Fugtigt miljø, hvor der kan tilføres alkalier og/ eller klorider til betonoverflader, eller hvor der forekommer kraftig fugtbelastning med risiko for vandmætning i kombination med frostpåvirkning	<ul style="list-style-type: none"> • Udvendige dæk og bjælker uden konstruktiv beskyttet overside • Støttemure • Lyskasser • Udvendige trapper • Kælderydervægge delvis over terræn • Kanaler og gruber og andre konstruktionsdele i moderat aggressivt grundvand
E (ekstra aggressiv)	Fugtigt miljø, hvor der enten tilføres eller ophobes store mængder alkalier og/ eller klorider ved betonoverfladen	<ul style="list-style-type: none"> • Altangange, plader og konsoller • Parkeringsdæk • Svømmebad • Søjler og kantbjælker på broer • Marinekonstruktioner i splashzoner

Tabel 9: Oversigt over miljøklasser [Portland, 2010]

3. Eksperimentelt arbejde

I nærværende afsnit omtales de forsøg, der er foretaget i forbindelse med projektet. I tabel 10 ses en oversigt over forsøg, formål samt forsøgsvejledning/ metode. Medmindre andet er nævnt, er forsøget foretaget på ringknust aske.

Udover forsøgene vist i tabel 10, er asken efter screeningsforsøgene blevet vasket for salte. Metoden er den samme, som ved forsøget ”vandopløselighed”. Denne type aske benævnes som behandlet aske.

Forsøg	Formål	Forsøgsvejledning/ Metode
Knusning	At få en finere struktur, og dermed en større overflade.	Afsnit ”Ringknusning”
Kornstørrelse	At sammenligne kornstørrelsen på ringknust og ikke-ringknust aske.	Bilag 1
Vandindhold	At bestemme vandindholdet i asken.	Bilag 2.a
pH	At bestemme pH-værdien for asken.	Bilag 2.b
Ledningsevne	At få et indtryk af askens saltindhold.	Bilag 2.c
Glødetab	At bestemme askens indhold af organisk materiale.	Bilag 2.d
Oplukning	Foretages indledningsvis for at kunne bestemme indholdet af tungmetaller.	Bilag 2.e
Vandopløselige anioner	Foretages indledningsvis til bestemmelse af saltindhold.	Bilag 2.f
IC måling	Ionchromografen måler mængden af salte i asken	Afsnit ”IC måling”
ICP måling	Ion Coupled Plasma opmåler mængden af tungmetaller i asken.	Afsnit ”ICP måling”
Vandopløselighed	At bestemme mængden af vandopløselige stoffer i asken.	Bilag 2.g
Mørtel støbning	At undersøge askens indvirkning på mørtel.	DS/EN 196-1 Bilag 3
Flydemål	At bestemme mørtlens flydemål.	DS/EN 1015-3
Afbindingstid	At bestemme mørtlens afbindingstid.	Bilag 4
Trykstyrke	At bestemme mørtlens trykstyrke.	DS/EN 196-1
Porøsitet og densitet	At bestemme mørtlens densitet og porøsitet.	Bilag 2.h
Kapillarsugning	At bestemme mørtlens evne til at optage vand.	Bilag 2.i

Tabel 10: Oversigt over forsøg

3.1. Karakteristik af asken

Knusning

Asken knuses for at formindske kornstørrelsen. Dette forgår i ringknuseren, der fyldes med aske, som knuses i 30 sek. ved maks. hastighed (1100 omdrejninger).

Kornstørrelse

For at finde effekten af ringknusning, undersøges kornstørrelsen ved brug af en laserdiffraktometer. Forsøget er foretaget som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er lavet én gang på hhv. den ikke-ringknuste samt ringknuste aske.

Vandindhold

Bestemmelse af vandindholdet i asken er foretaget som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er lavet tre gange på den ikke-ringknuste, ubehandlede aske.

pH

Askens pH-værdi er målt som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er foretaget tre gange på hhv. den ubehandlede og behandlede aske.

Ledningsevne

Bestemmelse af askens ledningsevne er lavet som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er foretaget tre gange på hhv. den ubehandlede og behandlede aske.

Glødetab

Forsøget glødetab er foretaget som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er lavet tre gange på den ubehandlede aske.

Oplukning

Forsøget oplukning er lavet som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er foretaget tre gange på den ubehandlede aske.

Vandopløselige anioner

Forsøget vandopløselige anioner er foretaget som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er lavet tre gange på hhv. den ubehandlede og behandlede aske.

IC måling

IC målingerne er foretaget af en laborant, på baggrund af forsøget vandopløselige anioner. Forsøget er foretaget tre gange på hhv. den ubehandlede og behandlede aske.

ICP måling

ICP målingerne er foretaget af en laborant på baggrund af forsøget oplukning. Forsøget er udført tre gange på den ubehandlede aske.

Vandopløselighed

Forsøget vandopløselighed er udført som beskrevet i forsøgsvejledningen, forsøget er foretaget tre gange på den ringknuste aske.

3.2. Mørtel

Mørtlen er støbt iht. DS/EN 196-1, dog er der vibreret som beskrevet i bilag 3. Nedenfor ses et billede af mixeren, formen samt vibratorbordet.



Figur 5: Billede af mixer (til venstre), form (i midten) samt stort vibratorbord (til højre)

Der er støbt efter recepter vist i tabel 11.

Recept	Erstatning	Sand [g]	Vand [g]	Cement [g]	Aske [g]
Ref	-	1350,0	225,0	450,0	-
A	5 % cement	1350,0	225,0	427,5	22,5
B	10 % sand	1215,0	225,0	450,0	135,0
C	10 % cement	1350,0	225,0	405,0	45,0
D	5 % + 15 % cement	1350,0	225,0	427,5	26,4

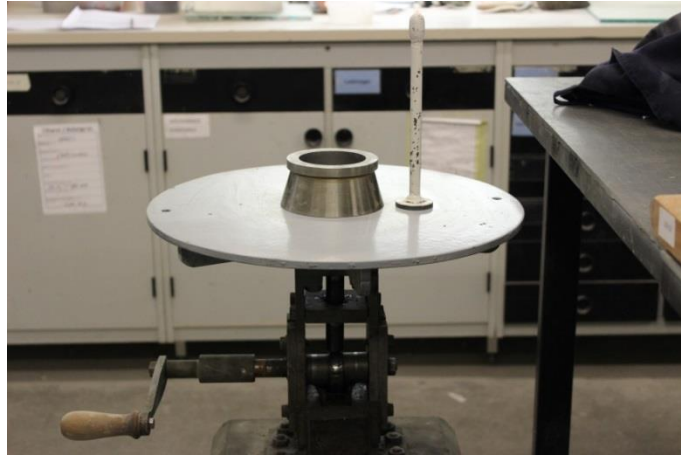
Tabel 11: Blanderecepter

Ref-recepten er standard recepten. I A er 5 % af cementen erstattet med aske. I B er 10 % af sandet erstattet med aske. I C er 10 % af cementen erstattet med aske. I recept D erstatter asken 5 % af cementen, udover det tilsættes 15 % af de 5 % aske.

Recept Ref, A, B og D er støbt med ubehandlet aske. Recept A og C er støbt med behandlet aske. Recept A er altså støbt med både ubehandlet- samt behandlet aske. Fremover i rapporten vil recepter støbt med behandlet aske, nævnes med et "B" efter receptbetegnelsen. F.eks. betyder AB, at der er støbt efter recept A med behandlet aske.

3.2.1. Flydemål

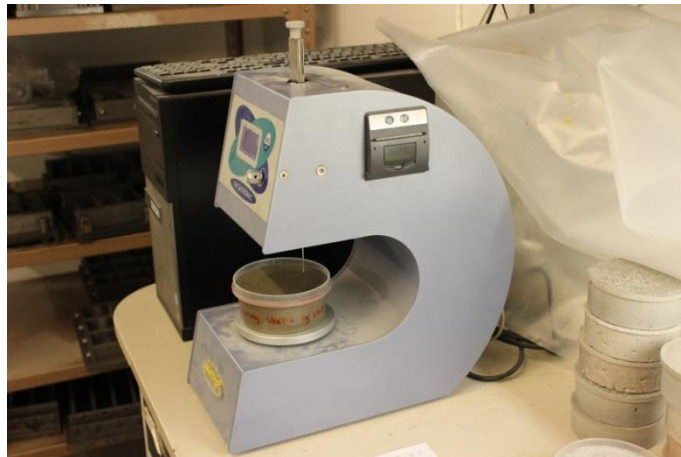
Mørtlens flydemål er bestemt ved brug af DS/EN 1015-3. Der er bestemt flydemål for alle blandingsrecepterne vist i tabel 11. På figur 6 ses et billede af apparatet, der anvendes til at bestemme flydemål.



Figur 6: Apparat til bestemmelse af flydemål

3.2.2. Afbindingstid

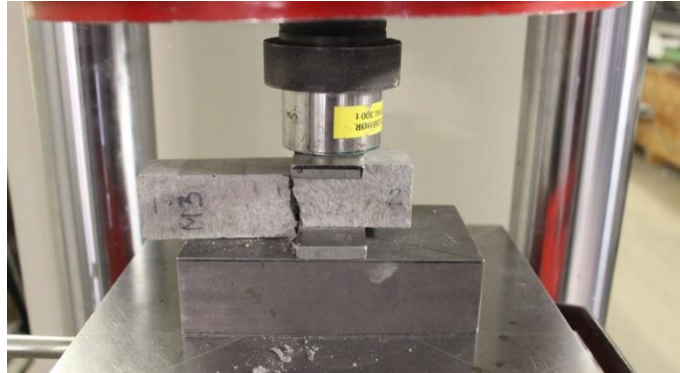
Mørtlens afbindingstid er fundet ved brug af vicatronic, med nedstik hvert 10. minut. Manual til maskinen er vedlagt som bilag 4. Forsøget er foretaget på samtlige blandingsrecepter fra tabel 11. På figur 7 ses et billede af vicatronic'en.



Figur 7: Vicatronic

3.2.3. Trykstyrke

Mørtelprøvernes trykstyrke er bestemt iht. DS/EN 196-1. For referenceprøverne undersøges trykstyrken efter 1-5 døgn. For erstatningsprøverne undersøges trykstyrken efter 1, 3 og 5 døgn. Prøven placeres som vist på figur 8 og trykkes i begge ender, på den måde er det muligt at lave en dobbeltbestemmelse af prøvens trykstyrke.



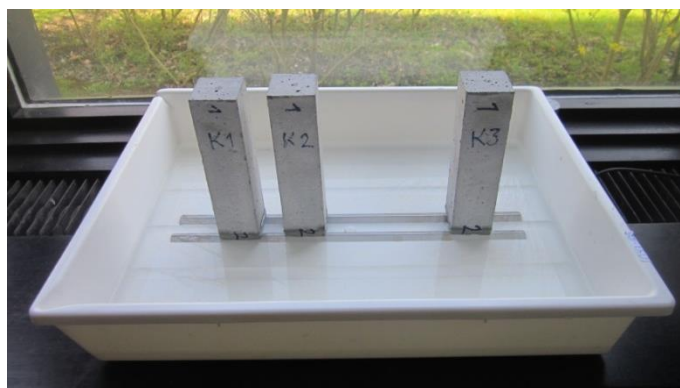
Figur 8: Toni trykmaskine

3.2.4. Porøsitet og densitet

Mørtelprøvernes densitet og porøsitet undersøges som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er foretaget på prøver støbt ud fra recept A og B efter en hærdeperiode på hhv. 7 og 28 døgn, der forud for forsøget er tørret i varmeskab ved ca. 50°C til ligevægtstilstand er opnået.

3.2.5. Kapillarsugning

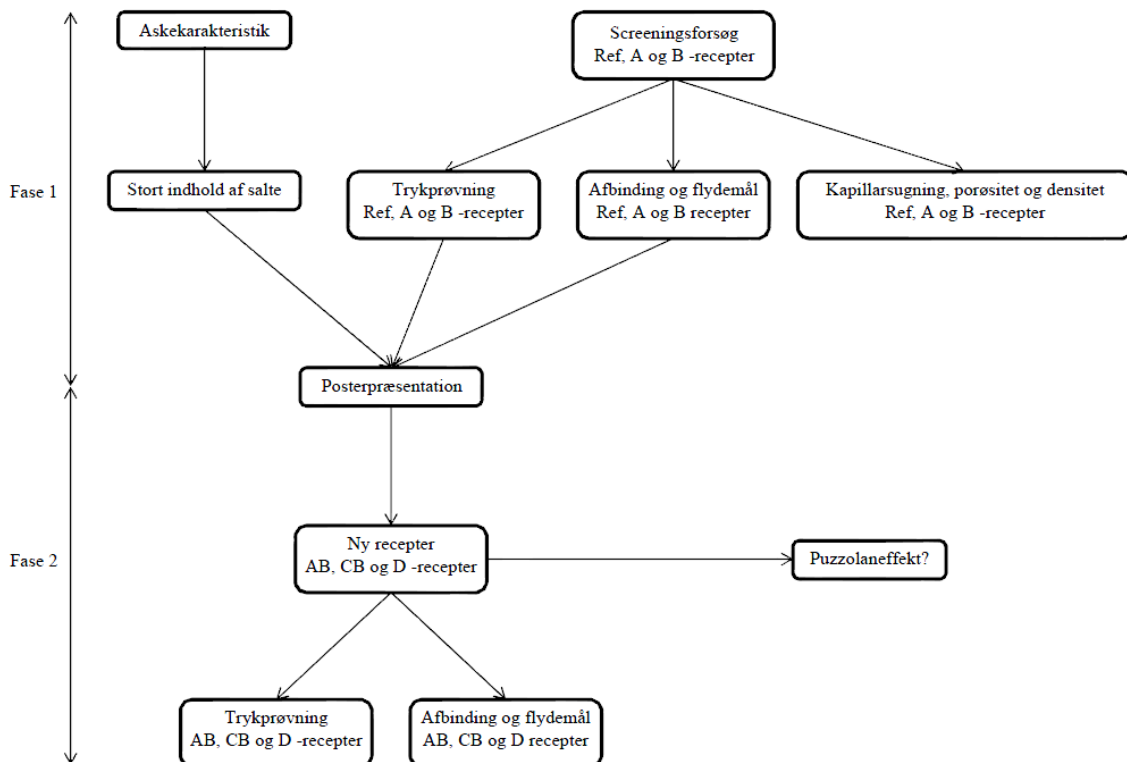
Mørtelprøvernes evne til at optage vand undersøges vha. kapillarsugning, som beskrevet i forsøgsvejledningen. Forsøget er foretaget på prøver støbt ud fra recept A og B efter en hærdeperiode på hhv. 7 og 28 døgn, der forud for forsøget er tørret i varmeskab ved ca. 50°C til ligevægtstilstand er opnået. På figur 9 ses forsøgsopstillingen til kapillarsugningsforsøget.



Figur 9: Forsøgsopstilling til kapillarsugningsforsøg

4. Resultater og diskussion

I første fase blev der udført karakteristik af asken og lavet screeningsforsøg for flydemål, afbinding samt trykprøvning med mørtelprøver efter recept Ref, A og B. Herefter blev det undersøgt, om der var noget specielt ved den anvendte aske. Resultaterne blev fremlagt ved en posterpræsentation, se bilag 18. Det blev observeret, at asken indeholder mange salte, specielt sulfat ift. de resterende grupper i projektklyngen. På baggrund af det blev asken behandlet samt nye recepter dannet, AB, CB og D. Dernæst blev relevante forsøg for askekarakteristik samt flydemål, afbinding og trykprøvning efter de nye recepter gentaget. I løbet af projektperioden blev det interessant, at undersøge om asken har puzzolanske effekter. På figur 10 ses en flow-figur der illustrerer forløbet.



Figur 10: Flow figur over forløbet

I nærværende afsnit fremlægges og diskuteres de relevante resultater.

4.1. Askekarakteristik

For at undersøge om asken kan anvendes i beton, er der foretaget forsøg som beskrevet i afsnit 3. Her karakteriseres asken, og det undersøges, om den overholder relevante krav.

Askens indhold af tungmetaller er af miljømæssige årsager målt. Resultaterne fra ICP målingen samt grænseværdier kan ses i tabel 12.

Metal	Mængde [mg/kg]	Kategori 1	Kategori 2
Arsen As	7,46 ± 1,82	0-20	>20
Cadmium Cd	18,8 ± 7,2	0-0,5	>0,5
Chrom Cr	178 ± 71	0-500	>500
Kobber Cu	250 ± 96	0-500	>500
Nikkel Ni	0,85 ± 0,85	0-30	>30
Bly Pb	62,6 ± 25,2	0-40	>40
Zink Zn	1.799 ± 34	0-500	>500

Tabel 12: Målte værdier for tungmetaller i asken samt grænseværdier [Retsinformation, 2014]

Det ses, at mængden af cadmium, bly og zink i asken overskrider grænsen til kategori 1. Asken kategoriseres derfor som kategori 2, og har altså begrænset anvendelsesmuligheder. Ønskes det, at asken skal tilhøre kategori 1, er det nødvendigt, enten at udskille tungmetallerne fra asken, eller sikre sig at tungmetallerne binder sig til mørtlen. Betonen kan i så fald ikke genbruges, det mest hensigtsmæssige vil derfor være at udskille tungmetallerne fra asken. Dette betragtes ikke yderligere.

Mængden af aluminium, natrium, kalium, fosfor og magnesium i asken er ligeledes målt ved ICP måling, men da forsøget er foretaget vha. en anden analyseteknik, end den der er anvendt i [DS/EN 450-1, 2012], kan resultaterne ikke sammenlignes med grænseværdierne for Al_2O_3 , P_2O_3 og MgO. Resultaterne kan ses i bilag 5.

Det er tidligere vist, at ringknust aske giver en højere trykstyrke, pga. den lille partikelstørrelse [Carlsen og Petersen, 2013]. Det undersøges derfor, om kornstørrelsen af asken reduceres ved ringknusning. Dette gøres ved at undersøge kornstørrelsen på hhv. ikke-knust og knust aske. Som forventet var resultatet, at kornstørrelsen blev betragtelig mindre efter ringknusning. På baggrund af dette og tidligere forskning vælges der, at ringknuse al aske der anvendes til mørtelstøbning. Kornstørrelsen betragtes ikke yderligere. Resultatet fra forsøget kan ses i bilag 6.

I tabel 13 ses de gennemsnitlige værdier af resultaterne fra askekarakteristikken. Samtlige resultater kan ses i bilag 7.

	Ubehandlet	Behandlet
Vandindhold [%]	0,21 ± 0,02	-
Glødetab [%]	4,5 ± 0,2	-
Vandopløselighed [%]	14,2 ± 0,1	-
pH [-]	13,1 ± 0	12,9 ± 0
Ledningsevne [mS/cm]	53,8 ± 4,1	10,8 ± 0,2

Tabel 13: Diverse resultater fra askekarakteristik

Det ses i tabel 13, at vandindholdet i asken er lavt, og har derfor ingen betydelig påvirkning på v/c-forholdet. Al aske til videre brug er dog tørret i varmeskab ved 105°C, for at sikre at det ikke indeholder noget vand.

Glødetabet, der er en indikation på hvor meget organisk materiale asken indeholder, er på 4,5 %. Dette betyder, at asken iflg. tabel 1 i afsnit 2.1.2 lige netop tilhører kategori A. Det bakker desuden op om antagelsen, at asken er en samfyringsaske af kul og træ. Da forsøget er baseret på stikprøver, er det ikke sikkert at forsøget giver et retvisende resultat. F.eks. kan det nævnes at en aske fra et tidligere projekt, hentet fra samme værk, har et glødetab på 5,7 % [Knudsen og Larsen, 2013]. En bedre forbrænding af asken kunne derfor ønskes så det sikres at asken tilhører kategori A.

Vandopløseligheden på 14,2 % betyder, at der er relativt mange vandopløselige stoffer i asken. Surhedsgraden for hhv. den ubehandlede og behandlede aske er på 13,1 og 12,9. Asken er altså blevet en anelse mere sur efter den er blevet behandlet. Den er dog stadig stærkt basisk, og har derfor ingen negativ indvirkning på mørtlen, der som tidligere nævnt, har en pH-værdi på omkring 13.

Det ses i tabel 13, at ledningsevnen er på 53,8 mS/cm for den ubehandlede aske, hvilket er relativt højt. Dette tyder på at der er mange saltioner i asken. Ledningsevnen reduceres betydeligt efter asken er behandlet til 10,8 mS/cm.

Indholdet af salte i den anvendte aske er sammenlignet med følgende typer asker:

samfyringsaske af kul og træ fra Amagerværket (SKTA), træaske fra Køge Kraftvarmeværk (TK), samfyringsaske af træ og halm fra Amagerværket (SHTA), slamaske (fra depot) fra Avedøre Spildevandscenter (SDA), slamaske (fra ovn) fra Avedøre Spildevandscenter (SOA) og slamaske fra Lynettefællesskabet (SL). Førstnævnte aske er den benyttede aske i dette projekt. SHTA er fra et tidligere projekt [Knudsen og Larsen, 2013], de resterende asker er en del af denne projektklynge.

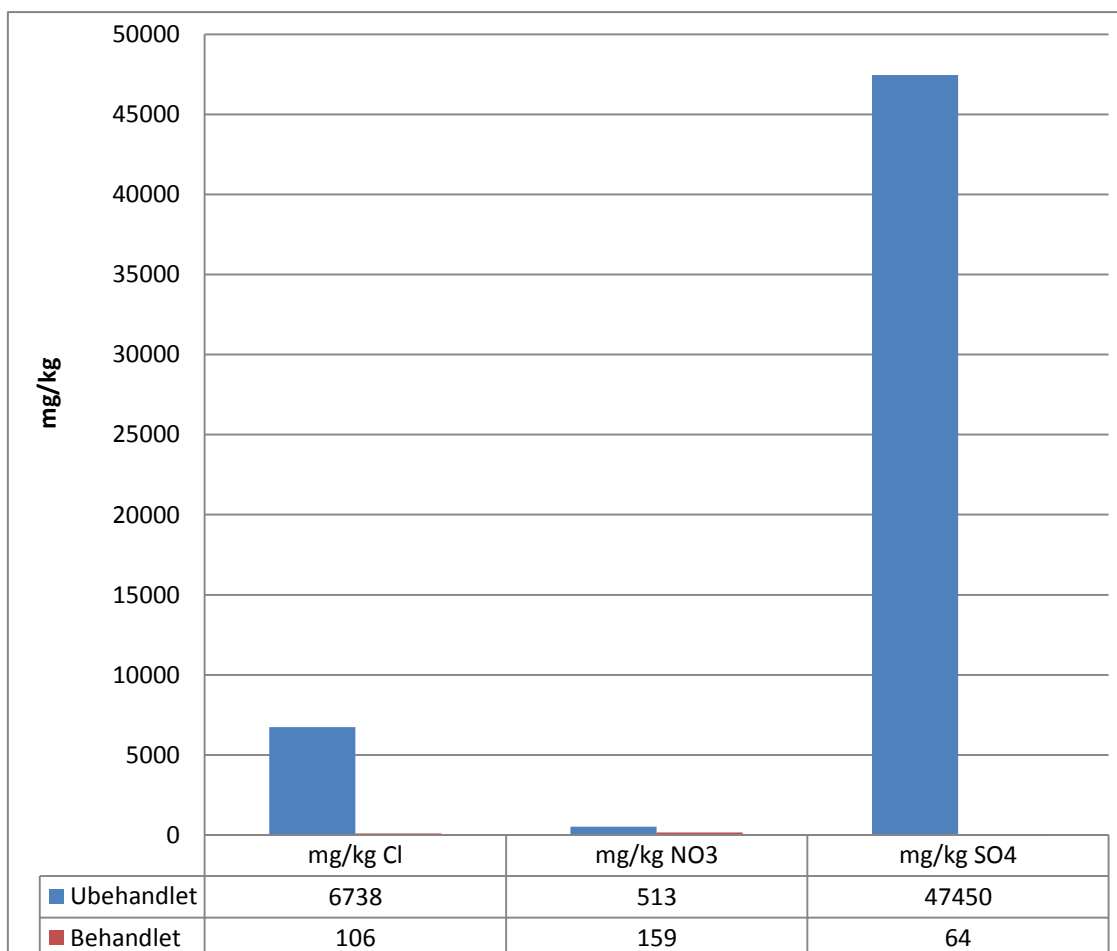
I tabel 14 ses indholdet af salte i askerne.

Type	Aske	Cl [mg/kg]	NO3 [mg/kg]	SO4 [mg/kg]
Træaske	SKTA	6.738	513	47.450
	TK	6.580	542	81.904
	SHTA	3.889	131	3.762
Slamaske	SDA	26	34	8.375
	SOA	2.101	9	9.439
	SL	159	7	12.702

Tabel 14: Indhold af salte i forskellige typer aske

Som det fremgår af tabel 14, har den benyttede aske et forholdsvis højt indhold af klorid, nitrat og sulfat. Dette er dog ikke generelt for træaske, som det fremgår af resultatet for SHTA, der har et væsentligt lavere indhold af salte ift. den benyttede aske (SKTA) og TK. Det er derfor yderst relevant at vaske den anvendte aske for salte.

I figur 11, ses askens indhold af klorid, nitrat og sulfat fra IC målinger på hhv. ubehandlede og behandlede aske. Samtlige målinger kan ses i bilag 8.



Figur 11: Resultater fra IC målinger, ubehandlet vs. behandlet aske

Som det fremgår af figur 11, at der er mange salte i den ubehandlede aske, især indholdet af sulfat er højt. Efter asken er blevet behandlet, er indholdet af salte faldet kraftigt, hvilket hænger fint sammen med resultaterne fra ledningsevnen samt vandopløselighed.

Som beskrevet i afsnit 2.1.2 er der grænser for hvor meget klorid der må være i mørtel ift. cement. Nedenfor ses kloridindholdet i de anvendte recepter.

Recept	Klorid/Cement [%]
A	0,035
B	0,202
AB	0,001
CB	0,001
D	0,042

Tabel 15: Indhold af klorid ift. cement i de anvendte recepter

De beregnede forhold mellem klorid og cement i de anvendte recepter sammenholdes med tabel 3 i afsnit 2.1.2.

Anvendelse	Miljøklasse			
	P	M	A	E
Uden armering	√	√	√	√
Med armering	√	÷B	÷B	÷B
Med spændarmering af stål	÷B	÷B	÷B	÷B

Tabel 16: Kloridklasser

Som det fremgår af tabel 16, kan samtlige recepter fra tabel 11 på nær B, anvendes i alle miljøklasser med al form for armering. Recept B kan kun benyttes uden armeringsstål i alle miljøklasser samt med armeringsstål i den passive miljøklasse.

4.2. Mørtel

Ved støbning af mørtelprøver i screeningsfasen, er der tilsat yderligere 50 g vand (22,2 % ekstra vand ift. recepten) til recept B og 5 g vand (2,2 % ekstra vand) til recept A. Dog virker mørtlen stadig ikke homogen, mørtlen er besværlig at vibrere, og det observeres, at der er mange luftbobler i de færdighærdede prøver.

Efter asken er behandlet har det ikke været nødvendigt at tilsætte ekstra vand til recept AB og der er kun tilsat 2,5 g ekstra vand til recept CB.

For at kunne sammenholde resultaterne fra recept D med A, er der tilsat samme mængde vand til recept D.

Det tyder på, at hvis der tilføres aske med et højt saltindhold til betonen, er der behov for ekstra vandtilførsel. I bilag 9 kan den nøjagtige ekstra vandtilførsel ses.

I løbet af projektperioden (d. 12/3 2014) observeres det, at der er forskel på mixer 1 og mixer 2. Ved anvendelse af mixer 1 er det nødvendigt, at tilføje mere ekstra vand til prøverne, og blandingen er svær at gøre homogen. Dette kan have påvirket resultaterne. Forskellen på mixer 1 og 2 kan ses i bilag 10, hvor det ses, at prøver støbt ved brug af mixer 1, har en lavere trykstyrke.

Under projektføreløbet gik det store vibratorbord i stykker. Mørtelprøver støbt efter recept AB, CB og D blev derfor vibreret på det lille vibratorbord, se bilag 9 og bilag 3.

Der kan være tvivl om hvorvidt de aktuelle resultater skal sammenlignes med cementmørtel eller beton. På baggrund af teorien om betonsammensætning, sammenholdes resultaterne med værdier for cementmørtel.

4.2.1. Flydemål

Flydemålet er bestemt for samtlige recepter. Resultaterne kan ses i tabel 17. Samtlige målinger og den ekstra vandtilførsel kan ses i bilag 11.

Recept	v/c-forhold	Flydemål [mm]	Konsistens
Ref	0,50	156	Flydende
A	0,55	177	Flydende
B	0,60	142	Tykt flydende
AB	0,53	158	Flydende
CB	0,56	157	Flydende
D	0,54	176	Flydende

Tabel 17: Resultater fra flydemål

Ved sammenligning af tabel 6 i afsnit 2.2.3 og tabel 17 ses det, at alle recepterne på nær B har en flydende konsistens. Selvom v/c-forholdet er forholdsvis højt, har B en tyktflydende konsistens. Hvis recepten skulle have et flydemål der minder om referencen, skulle mere vand være tilføjet. På figur 12 ses et billede af mørtlen for recept B efter flydemålet er målt.



Figur 12: Billede af flydemål for recept B

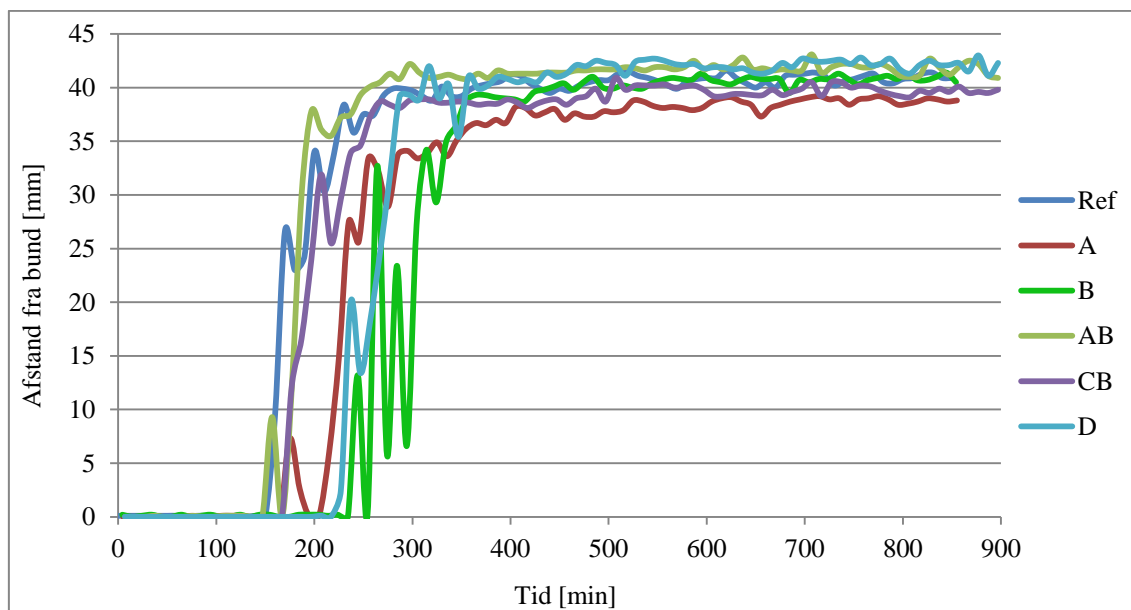
Det ses på figur 12 at der er tydelige huller i mørtlen. Mørtlen er altså svær at gøre homogen med så stor en mængde aske iblandet.

Recept AB og CB har et flydemål der er tæt på referencen, dette tyder på, at de har den rette mængde vand tilsat.

Recept A og D har et langt større flydemål end referencen, selvom de har ca. samme v/c-forhold som AB og CB. Det var dog nødvendigt at tilsætte ekstra vand til recept A og B for at gøre mørtlen bearbejdelig. Det tyder derfor på, at saltene i asken påvirker mørtlens konsistens. Dette kan skyldes, at saltvand har en højere viskositet end ferskvand, hvilket medfører at mørtel med et højt saltindhold får en mere tyktflydende konsistens end mørtel med et lavt saltindhold. Man kan dog undre sig over hvorfor recept A og D har så stort et flydemål, selvom disse recepter indeholder salte.

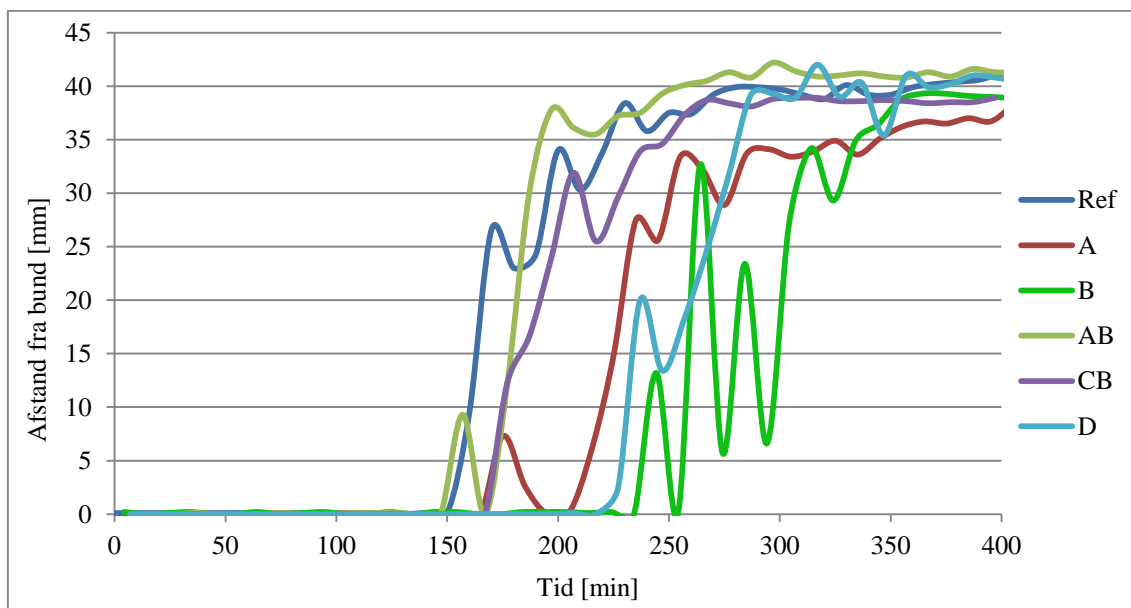
4.2.2. Afbinding

Der er undersøgt afbinderingsforløb for samtlige recepter, som kan ses på figur 13. Rådata fra vicatronic'en kan ses i bilag 12.



Figur 13: Forløb over afbinding af samtlige recepter fra 0-900 min

På figur 13 ses afbindingsforløbet for de seks recepter. På figur 14 ses der nærmere på den første del af afbindingen.



Figur 14: Forløb over afbinding af samtlige recepter fra 0-400 min

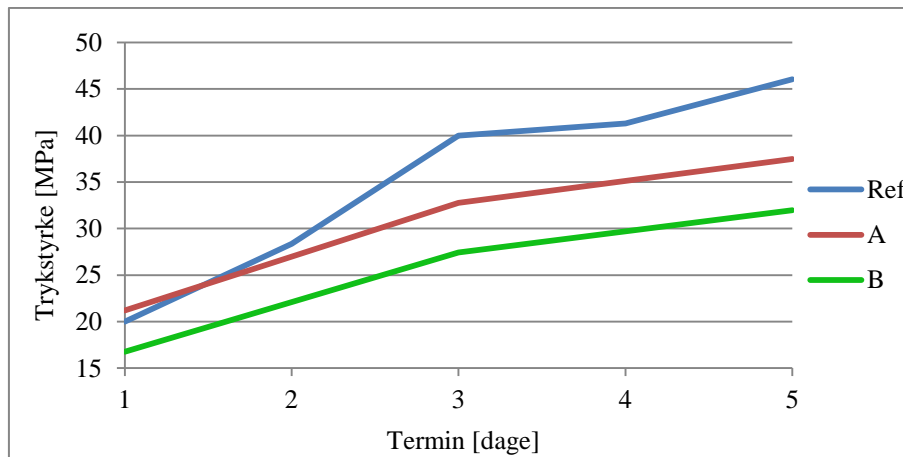
Som det fremgår af figur 14, påbegynder referencen at afbinde ved omkring 160 min. Dette stemmer fint overens med afsnit 2.2.3, der fortæller, at basis cement typisk afbinder efter 165 min. Efter 170 min begynder recept AB og CB at afbinde. Det ses yderligere, at recepterne A, B og D, der indeholder en stor mængde salte, begynder at afbinde efter hhv. 210, 260 og 230 min. Recept B, som indeholder den største koncentration af sulfat, afbinder senest. Dette bakker op om teorien i afsnit 2.1.2, om at der opstår en reaktion mellem sulfationerne i asken og calciumioner i cementpastaen, som danner gips i mørtlen, og derved forsinker afbindingen.

4.2.3. Trykstyrke

Før asken kan benyttes i beton skal det sikres, at styrken ikke svækkes betydeligt. Samtlige målte trykstyrker kan ses i bilag 13.

Screeningsforsøg

I projektets første fase blev mørtelprøver støbt efter recept Ref, A og B udsat for tryk. På figur 15 ses styrkeudviklingen i løbet af 5 døgn.



Figur 15: Styrkeudvikling i løbet af 5 døgn for screeningsrecepter

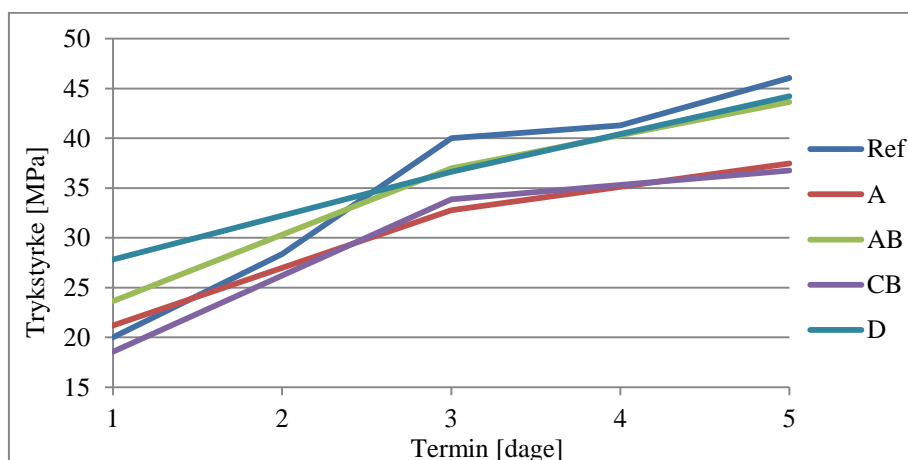
Det ses, at både A og B har en lavere trykstyrke efter 5 døgn ift. referencen. Gennem hele forløbet er A ca. 5 MPa stærkere end B. Da der er flere fordele ved at erstatte cement end sand, samt på baggrund af resultaterne af trykforsøget i screeningsperioden, arbejdes der ikke videre med recept B (sanderstatning).

Behandlet aske

Trykstyrken for prøver indeholdende den behandlede aske undersøges ved brug af recept AB og CB.

Da asken har en vandopløselighed på ca. 15 % (se tabel 13), laves en recept D. Her erstattes 5 % af cementen med aske. Den aske der forsvinder ved vandopløselighed tilføjes yderligere. Dvs. der tilføjes i alt 5 % plus 15 % af de 5 %. Recept AB og D indeholder således samme mængde faststof.

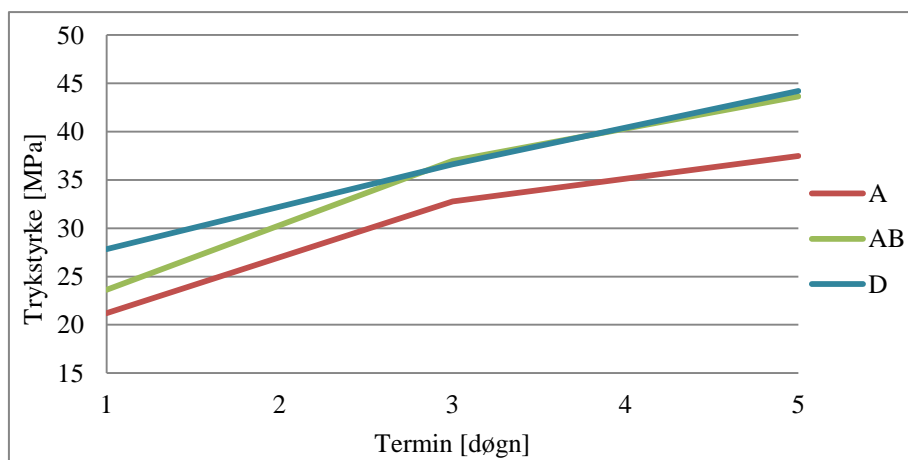
Recepterne AB, CB og D sammenholdes med referencen og A. På figur 16 ses styrkeudviklingen i løbet af 5 døgn.



Figur 16: Styrkeudvikling i løbet af 5 døgn for recept Ref, A, AB, CB og D

Det ses, at A og CB har de laveste trykstyrker efter 5 døgn, hvorimod AB og D har forholdsvis høje trykstyrker i forhold til referencen.

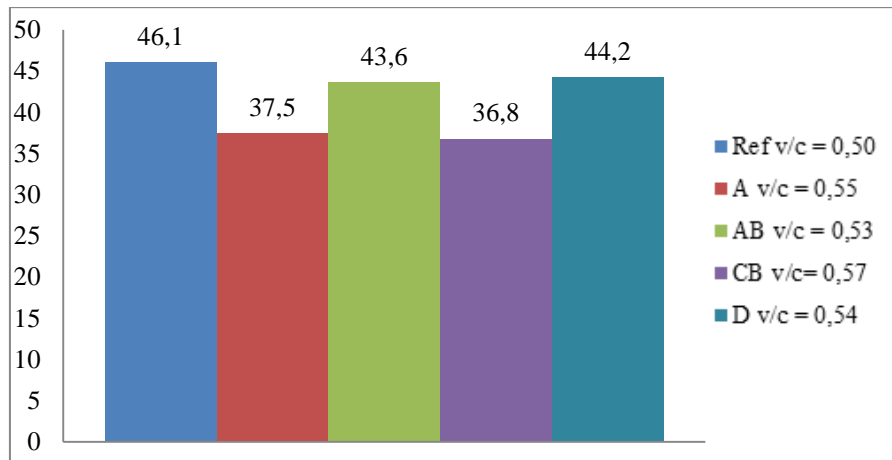
På figur 17 ses styrkeudviklingen for mørtelprøver støbt efter recept A med hhv. ubehandlet og behandlet aske samt recept D.



Figur 17: Styrkeudvikling i løbet af 5 døgn for recept A og AB

Det ses på figur 17, at A generelt har en lavere trykstyrke end AB og D. Da D har et højere indhold af ubehandlet aske, og dermed også et højere indhold af salte end A, tyder det ikke på at saltene påvirker trykstyrken. Derimod ser det ud til, at styrken afhænger af mængden af faststoffer i blandingen. Det kan derfor diskuteres om det er nødvendigt at behandle asken, eller om der bare skal indregnes den mængde der opløses i vand med i recepten.

På figur 18 ses den opnåede styrke efter 5 døgn for A, AB, CB, D samt referencen.



Figur 18: Styrke samt v/c-forhold for recept Ref, A, AB, CB og D efter fem døgn

På figur 18 ses det, at AB og D ender ud med omtrent den samme trykstyrke. Derudover ses det, at CB har den laveste trykstyrke. Det tyder derfor på, at styrken reduceres når mængden af asken forøges.

Ud fra figur 18 ses det yderligere, at des lavere v/c-forhold, des højere styrke. Dette stemmer fint overens med teorien.

Da indholdet af C_3S og C_2S er ukendt, vides det ikke hvordan styrkeudviklingen vil forløbe efter de 5 døgn.

Puzzolanske effekter

Under projektføreløbet blev der skabt tvivl om hvorvidt Bolomeys formel kan anvendes til at forudsige trykstyrken for mørtel tilsat aske. Heraf blev det interessant, at undersøge om asken har puzzolanske effekter og at der derved skal tages højde for asken i v/c-forholdet.

For at asken skal have puzzolanske effekter, skal en prøve tilsat 25 % cementerstatning minimum have opnået 75 % af styrken ved sammenligning med en referenceprøve efter 28 døgn. Da der ikke er lavet recepter med 25 % cementerstatning, betragtes recept AB og CB, for at se hvordan tendensen er, hvis der tilsættes mere aske. I projektet er der støbt prøver der maksimalt har hærdet i 5 dage. Der ses derfor på den opnåede styrke efter hhv. 1, 3 og 5 døgn, for at se hvordan tendensen ser ud, efter en termin større end fem døgn.

I tabel 18 ses den opnåede andel af styrken for recept AB og CB i procent. Samtlige beregninger kan ses i bilag 17.

Recept	Termin [døgn]	Opnået styrke [%]
AB	1	118,0
	3	90,9
	5	94,6
CB	1	93,0
	3	83,3
	5	79,8

Tabel 18: Opnået andel af styrke i % for recept AB og CB

Det ses i tabel 18, at andelen af den opnåede styrke generelt er lavere for CB end AB. Dette kan skyldes, at koncentrationen af aske er større i CB. Derudover ses det, at andelen af styrken falder med stigende termin. Da beton opnår 70 % af sin styrke efter 7 døgn, øges styrken ikke betragteligt efter 28 døgn. Det tyder derfor på, at en prøve støbt med 25 % cementerstatning, hærdet i 28 døgn vil have opnået en betydeligt lavere andel af styrken end 79,8 %, som CB efter fem døgn.

Ved brug af formel (2.3) beregnes aktivitetsfaktoren, hvor k isoleres.

$$k = \frac{\left(\frac{f_c}{K} + \alpha\right) * v - c}{p} \quad (2.3)$$

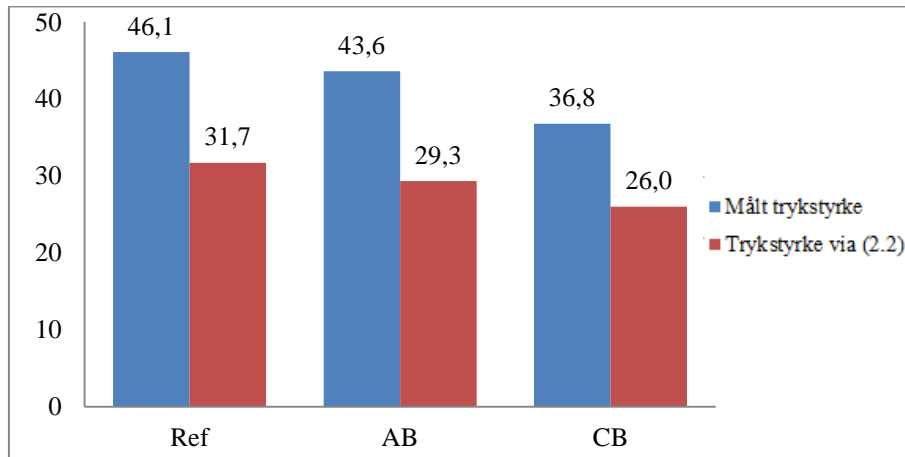
Her antages det, at asken har puzzolanske effekter. I så fald burde aktivitetsfaktoren være omtrent den samme for samtlige recepter. I tabel 19 ses de beregnede aktivitetsfaktorer for recept AB og CB. Samtlige beregninger kan ses i bilag 17.

Recept	Termin [døgn]	k
AB	1	3,42
	3	5,31
	5	6,01
CB	1	0,88
	3	2,56
	5	2,33

Tabel 19: Beregnede aktivitetsfaktorer for recept AB og CB

Det ses at, der er stor variation på aktivitetsfaktoren. På baggrund af dette, kan det ikke udelukkes at asken har puzzolanske effekter, men der er stærke indikationer på, at den ikke har. I det videre forløb antages det, at asken ikke har puzzolanske effekter.

De teoretiske trykstyrker efter en termin på fem døgn beregnes ved brug af formel (2.2) uden puzzolanske effekter. Disse værdier sammenlignes med de målte trykstyrker, dette kan ses på figur 19. Samtlige beregninger kan ses i bilag 17.



Figur 19: Målt trykstyrke vs. trykstyrke via formel (2.2) efter en termin på fem døgn

Det ses på figur 19, at der er stor forskel på den målte trykstyrke og den beregnede. Det skal nævnes at, da der ikke er givet værdier for K - og α - konstanterne for en termin på fem døgn, er der vha. en tendenslinje estimeret en værdi. Desuden giver formlen et resultat der er på den sikre side. Dog er en sikkerhed på over 10 MPa meget konservativt. Det tyder derfor på, at formlen ikke kan anvendes til at forudsæ trykstyrken for de anvendte recepter. Derudover anvendes Bolomeys formel til at beregne trykstyrker for beton. Da mørtel har en højere trykstyrke end beton, det ville derfor være mere retvisende at anvende Férets formel. Men da luftindholdet i mørtelprøverne er ukendt, er det ikke muligt at anvende denne formel.

4.2.4. Porøsitet og densitet

Der er fundet porøsitet og densitet for mørtelrecepterne i screeningsfasen efter 7 og 28 døgn. Pga. tidsmangel har det ikke været muligt, at lave porøsitet og densitet for recepterne AB, CB og D. Prøverne er støbt inden det blev observeret, at mixer 1 var i stykker, og der er derfor en vis usikkerhed om hvorvidt støbningerne er blandet homogent. I nedenstående tabel ses porøsiteten, faststofdensiteten og tørdensiteten for de støbte prøver samt tabelopslag. Samtlige målinger og beregninger kan ses i bilag 14.

	p_a [%]	ρ_f [kg/m ³]	ρ_d [kg/m ³]
Ref 7	18,6	2.587	2.106
Ref 28	17,7	2.562	2.108
A 7	18,7	2.603	2.116
A 28	18,4	2.592	2.114
B 7	23,2	2.607	2.003
B 28	21,6	2.596	2.035
Cementmørtel*	20,0	2.650	2.100

Tabel 20: Resultater fra porøsitet og densitet forsøg. *værdier taget fra [Gottfredsen og Nielsen, 2010]

I tabel 20 ses det, at porøsiteten for Ref og A er næsten identisk, de afviger dog med mellem 1,3-2,3 % ift. porøsiteten for cementmørtel.

Det ses, at recepten med det højeste askeindhold (B), og dermed et højt indhold af organisk materiale, har en højere porøsitet end de resterende. Dette stemmer fint overens med teorien i afsnit 2.2.5, der fortæller at et højt indhold af organisk materiale, kan påvirke luftindholdet i betonen.

Derudover havde de færdighærdede mørtelprøver støbt ud fra recept B mange store huller ift. f.eks. recept A, som det ses på figur 20.

Det ses i tabel 20, at faststofdensiteten er næsten ens for alle mørtelprøverne. Den største afvigelse er mellem Ref 7 og B 7 med 45 kg/m³. De afviger dog meget for standarden for cementmørtel.

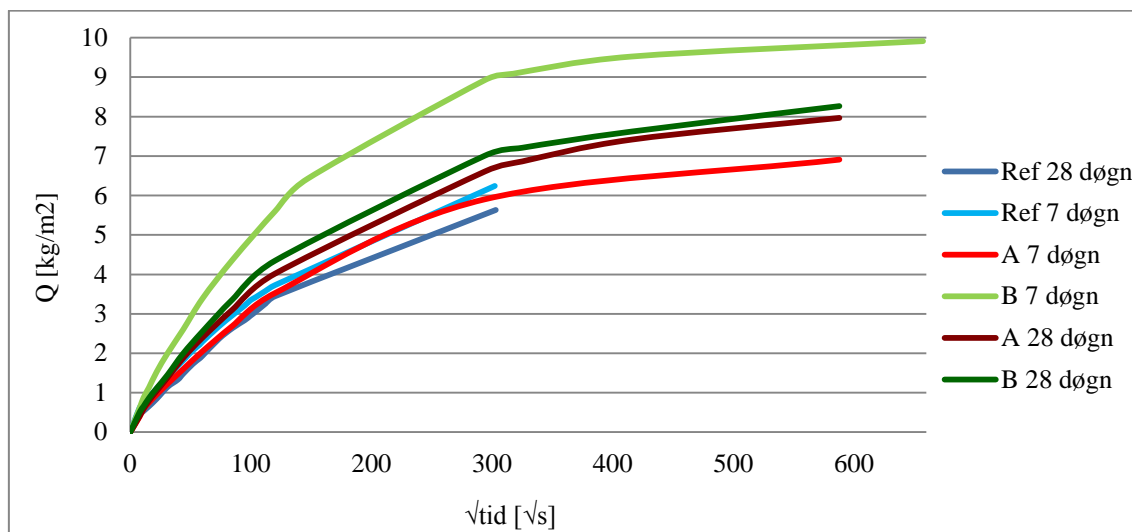
Tørstofdensiteten for Ref og A afviger indbydes med maksimalt 10 kg/m³, og afviger heller ikke meget fra cementmørtel. Derimod afviger B med omkring 100 kg/m³ fra tabelværdien for cementmørtel.



Figur 20: Mørtelprøve støbt fra recept B (til venstre) og recept A (til højre)

4.2.5. Kapillarsugning

Der er foretaget kapillarsugning med mørtelrecepterne fra screeningsfasen. Pga. tidmangel har det ikke været muligt, at lave kapillarsugning for recepterne AB, CB og D. Nedenstående figur viser den optagne vandmængde som funktion af kvadratroden af tiden på baggrund af testresultaterne i bilag 15.



Figur 21: Den optagne vandmængde som funktion af kvadratroden af tiden

På figur 21 ses det, at ingen af prøverne får en stabil kurve i det målte tidsrum. Dette kan skyldes, at prøverne ikke har stået i lang nok tid, og derfor ikke optaget den maksimale mængde vand, som de har potentiale til. Derudover ses det, at det sidste stykke af kurverne er dannet ved at forbinde to punkter med stor afstand på x-aksen. Med andre ord, så er den sidste del af forsøget ikke foretaget så ofte som kunne være ønsket. Nogle af prøverne kan have opnået en stabil kurve, uden at det fremgår af grafen.

Det antages, at kurvene er stabile ved det sidst målte punkt. Skæringspunktet mellem de vandrette tangenter til de sidste punkter og tendenslinjerne til punkterne mellem 2 og 240 min, danner således punktet $(Q_{\text{kap}}; \sqrt{t_{\text{kap}}})$. Ud fra dette samt ligning (2.9) og (2.10) i afsnit 2.2.5 er det muligt, at beregne kapillartallet og modstandstallet. Værdierne for Q_{kap} , $\sqrt{t_{\text{kap}}}$, k og M kan ses i tabel 21, samt tabelværdier for cementmørtel.

Prøve	Q_{kap} [kg/m ²]	$\sqrt{t_{\text{kap}}}$ [√s]	k [kg/(m ² *√s)]	M [10 ⁶ s/m ²]
A 7	6,91	242,46	0,028	2,30
A 28	7,97	241,05	0,033	2,27
B 7	9,91	214,11	0,046	1,79
B 28	8,27	231,12	0,036	2,09
Cementmørtel*	-	-	0,05-0,6	2,5-4

Tabel 21: Tabel over Q_{kap} , $\sqrt{t_{\text{kap}}}$, k og M for recept A og B efter hhv. 7 og 28 døgn, *værdier for k og M fra [Gottfredsen og Nielsen, 2010]

Det ses, at mørtelprøverne fra recept B giver et større kapillaritetstal og et mindre modstandstal end mørtelprøverne fra recept A.

Som det fremgår af tabel 21, ligger resultaterne for kapillaritetstal og modstandstal under tabelværdierne for cementmørtel. Som nævnt, er det antaget, at prøverne har optaget den maksimale mængde vand ved det sidst målte punkt. Det er muligt at prøverne kan optage mere vand end antaget. I så fald ville Q_{kap} og t_{kap} , og dermed k samt M , opnå større værdi.

Der kan være visse fejlkilder på dette forsøg. Som tidligere nævnt kan forskellen på mixer 1 og 2 have påvirket resultaterne. Derudover er prøverne ikke færdige med at optage vand efter de 4 timer, der står i forsøgsvejledningen, og det er derfor nødvendigt, at lade forsøget stå i længere tid, hvilket gør det svært, at finde ud af hvornår prøverne stopper med at optage mere vand. Det skal også nævnes, at når forsøget forløber hen over flere dage, burde prøverne være dækket til, så vandet ikke fordamper. I det pågældende forsøg, har prøverne stået frit, så dette kan have påvirket resultatet.

4.3. Observationer og videre forskning

Undervejs i projektføreløbet har der været en række observationer og emner, der har været interessante, men som det ikke har været muligt at gå videre med i det givne tidsrum.

Det blev under askekaraktistikken gjort klart, at asken indeholder for stor mængde tungmetaller til at tilhøre kategori 1. Det kunne være interessant at undersøge om hvorvidt tungmetallerne kan fjernes fra asken på en forsvarlig måde.

Da SEM var ude af drift i hele projektperioden, var det ikke muligt at tage billeder af asken. Det kunne dog have været interessant at se opbygningen af asken. Derudover blev det observeret under mørtelstøbningen at især recept B resulterede i prøver med glimmer. Det kunne have været interessant at undersøge om glimmeret var salte vha. SEM.

Da betonens egenskaber afhænger af luftindholdet, kunne det være interessant at undersøge luftindholdet i betonen ved de forskellige recepter, og se hvilken påvirkning asken har. Derudover kunne det være interessant at undersøge om Férets formel kan anvendes til at forudsige betonstyrken ud fra volumen af cement, vand og luft.

Det kunne være interessant, at undersøge askens indhold af Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 samt SiO_2 da disse stoffer i cementen har en afgørende betydning for betonens egenskaber. F.eks. er C_3S , som bl.a. består af SiO_2 , et af de vigtigste styrkemineraler.

Da der ikke var tid til at undersøge porøsitet, densitet og kapillarsugning for prøver støbt med behandlet aske, kunne det være spændende at undersøge saltens påvirkning.

5. Konklusion

Under askekarakteristikken viste det sig, at indholdet af cadmium, bly og aluminium overskrider grænsen til kategori 1. Asken har derfor begrænset anvendelsesmuligheder. Skal asken have ubegrænset anvendelsesmuligheder i byggeindustrien, er det nødvendigt at behandle asken for tungmetaller.

Andelen af det organiske materiale blev målt til 4,5 %. Det organiske materiale holder sig lige inden for grænsen til kategori A, en bedre forbrænding kunne derfor tilstræbes, for at sikre sig at asken med sikkerhed tilhører kategori A.

Surhedsgraden for den ubehandlede og behandlede aske var hhv. 13,1 og 12,9. Asken blev altså en anelse mere sur efter behandlingen, men da den stadig er stærkt basisk, har det ingen påvirkning på betonens miljø.

Indholdet af salte i den ubehandlede aske viste sig at være højt ved sammenligning af sideløbende og tidligere projekter. Efter asken blev behandlet, faldt indholdet af salte drastisk. Bl.a. blev mængden af sulfat reduceret fra 47.450 mg/kg til 64 mg/kg. Dette stemte fint overens med målingen af askens indhold af vandopløselige stoffer på 14,2 %.

Ved støbning af mørtelprøver tilsat aske viste det sig, at der var stor forskel på om asken var behandlet. Mørtel støbt med aske med et stort indhold af salte var svær at gøre homogen, hvilket blev observeret under udførsel af flydemål. Mørtel støbt med ubehandlet aske, afviger meget fra referencen, hvorimod mørtel støbt med behandlet aske har omtrent samme konsistens som referencen.

Ved måling af afbindingstid viste det sig, at saltene i asken har en stor betydning. Referenceprøven påbegyndte at afbinde efter 165 min., og mørtel støbt med behandlet aske ved 170 min. Derimod påbegyndte mørtel støbt med ubehandlet aske at afbinde langt senere, recepten med den største koncentration af aske, og dermed største koncentration af salte, påbegyndte at afbinde senest, efter 260 min.

Ved trykprøvning viste det sig overraskende, at saltene ikke umiddelbart har nogen påvirkning på styrken. Derimod tyder det på, at styrken afhænger af mængden af faststof.

Prøver hvor den behandlede aske erstatter hhv. 5 og 10 % af cementen, havde efter 5 døgn opnået en styrke på hhv. 43,6 MPa og 36,8 MPa. Til sammenligning havde referencen opnået en styrke på 46,1 MPa. Det tyder altså på, at mængden af tilsat aske er proportional med styrkeforringelsen.

Det kan konkluderes at asken indeholder en stor mængde salte, som kan forsinke afbindingstiden. Dog tyder det ikke på, at asken har en betydelig påvirkning på styrken i den tidlige fase af hærdningsprocessen, så længe at der tages forbehold for vandopløseligheden samt at koncentrationen af aske ikke bliver for høj ift. cement.

6. Referencer

[ASTM C618-12, 2012]

ASTM International (2012)

Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete

ASTM C618-12 Standard

[Carlsen og Petersen, 2013]

Carlsen, A. B. og Petersen, S. R. (2013)

Slamaske i beton: Undersøgelse af anvendelsesmuligheder

Bachelor projekt

Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet

[DS/EN 196-1, 2005]

DS/EN 196-1 (2005)

Metoder til prøvning af cement – Del 1: Styrkebestemmelse

Dansk standard 2. udgave

ICS: 91.100.10

[DS/EN 206-1, 2011]

DS/EN 206-1 (2011)

Beton – Materialer – Regler for anvendelse af EN 206-1 i Danmark

Dansk standard 4. udgave

ICS: 91.100.30

[DS/EN 450-1, 2012]

DS/EN 450-1 (2012)

Flyveaske til beton – Del 1: Definition, specifikation og overensstemmelseskriterier

Dansk standard 3. udgave

ICS: 91.100.30

[DS/EN 1015-3, 1999]

DS/EN 1015-3 (1999)

Prøvningsmetoder til undersøgelse af mørtel til murværk – Del 3: Bestemmelse af frisk mørtels konsistens (rystebord)

Dansk standard 1. udgave

ICS: 91.100.10

[Geiker (5.2), 2008].

Geiker, M. (2008)

Delmaterialer

Kapitel D5.2 i *Bygningsingeniørenes materialer – uddrag af Materialebogen*

Eds. Hansen, K. K.

[Geiker (5.3), 2008]

Geiker, M. (2008)

Frisk beton

Kapitel D5.3 i *Bygningsingeniørens materialer – uddrag af Materialebogen*

Eds. Hansen, K. K.

[Geiker (5.8), 2008]

Geiker, M. (2008)

Holdbarhed

Kapitel D5.8 i *Bygningsingeniørens materialer – uddrag af Materialebogen*

Eds. Hansen, K. K.

[Geiker og Nielsen (5.7), 2008]

Geiker, M. og Nielsen, A. (2008)

Mekaniske egenskaber

Kapitel D5.7 i *Bygningsingeniørens materialer – uddrag af Materialebogen*

Eds. Hansen, K. K.

[Gottfredsen og Nielsen, 2010]

Gottfredsen, F. R. og Nielsen, A. (2010)

Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber

Polyteknisk Forlag 1. udgave, 6. oplag

ISBN: 978-87-502-0788-7

[Hasholt, Berrig og Mathiesen, 2002]

Hasholt, M. T., Berrig, A. og Mathiesen, D. (2002)

Center for grøn beton: Anvisning i grøn beton

Rapport, Teknologisk Institut

[HOFOR, 2014]

HOFOR (2014)

<http://www.hofor.dk/amagervaerket/>

(besøgt d. 24. april 2014)

[Jensen, 2008]

Jensen, B. C. (2008)

Betonkonstruktioner efter DS/EN 1992-1-1

Nyt Teknisk Forlag 1. udgave

ISBN: 978-87-571-2668-6

[Jensen og Nielsen, 1997]

Jensen, J. K. J. og Nielsen, A. (1997)

Porøsitet og densitet

Kapitel 3 i *Bygningsmaterialer: Grundlæggende egenskaber*

Polyteknisk Forlag 1. udgave, 6. oplag

ISBN: 978-87-502-0788-7

[Jensen og Nielsen (5.4), 2008]

Jensen, O. M. og Nielsen, A. (2008)

Strukturudvikling

Kapitel D5.4 i *Bygningsingeniørens materialer – uddrag af Materialebogen*

Eds. Hansen, K. K.

[Knudsen og Larsen, 2013]

Knudsen, A. G. og Larsen, T. S. (2013)

Brug af aske i beton- nye problemer og nye muligheder: Anvendelse af bundaske fra halm og træ i beton

Bachelor projekt

Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet

[Krøyer, 2011]

Krøyer, K. (2011)

Forskning i beton kan reducere klodens CO2-udslip

Ingeniøren

[Nepper-Christensen, 1985]

Nielsen, A. (1985)

Betons brugsegenskaber – Densitet og porøsitet

Kapitel 4.1 i *Beton-bogen*

Eds. Herholdt, A. D., Justesen, C., F., P., Nepper-Christensen, P. Og Nielsen, A.

[Pedersen, Ottosen, Simonsen og Christensen, 2004]

Pedersen, A., J., Ottosen, L., M., Simonsen, P. og Christensen, T., C. (2004)

Elektrokemisk fjernelse af cadmium fra bioasker

PSO F&U projekt 3206

Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet

[Portland, 2010]

Aalborg Portland (2010)

Cement og Beton: Håndbogen om cement, beton og mørtel

Aalborg Portland 19. udgave

[Retsinformation, 2014]

Retsinformation (2014)

<http://www.retsinformation.dk>

Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejde og om anvendelse af sorterede uforurenede bygge- og anlægsaffald, BEK nr. 1662

(besøgt d. 29. april 2014)

[Rosenmai og Svendsen, 2012]

Rosenmai, L. og Svendsen, S. (2012)

Slamaskes anvendelighed i beton: Anvendelse af slamaske i beton efter fosfor indvinding

Bachelor projekt

Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet

[11735]

Porøsitet, densitet og kapillarsugning

Kursusnote til faget Materialelære 11735

7. Bilag

Bilag 1: Kornstørrelse

Bilag 2: Forsøgsvejledninger

Bilag 3: Blande procedure og vibratorbord

Bilag 4: Vicatronic manual

Bilag 5: Oplukning - Resultater

Bilag 6: Kornkurve

Bilag 7: Askekarakteristik

Bilag 8: IC målinger

Bilag 9: Mørtelstøbninger

Bilag 10: Fejlkilde på Hobert mixer

Bilag 11: Flydemål

Bilag 12: Afbindingstid

Bilag 13: Trykstyrke

Bilag 14: Porøsitet og densitet

Bilag 15: Kapillarsugning

Bilag 16: Søgeord om sulfat

Bilag 17: Puzzolanske effekter

Bilag 18: Posterpræsentation

Laserdiffraktion, våde prøver



Princip

Laser diffraktion bruges til at måle størrelsen på partikler.

En laserstråle bestråler en prøve og strålen bliver spredt af partiklerne. Det spredte lys detekteres af fotodetektorer, der er placeret i forskellige vinkler. Måden lyset spredes på bliver brugt til at udregne størrelserne på partiklerne via Mie-teorien.

Apparater

Mastersizer 2000

Hydro 2000SM

Reagenser

0,005M Natriumpyrofosfat

Ionbyttet vand

Materiale

Prøver

20ml flasker

Fremgangsmåde

Prøveforberedelse:

- 1) ½ tsk tilføjes til 20ml flaske
- 2) Fyld op med natriumpyrofosfat og bland.
 - a. Bland godt og grundigt op til det øjeblik hvor prøven skal tilføjes, da bundfældning sker hurtigt.

Software:

Start Mastersizer 2000 (klik OK når den spørger om username)

- 1) Vælg *File* i hovedmenuen og vælg *New*.
 - a. Filnavn er YYDDMM + dit navn og klik OK

- 2) Hvis du vil konfigurere en SOP vælg *Configure* og *Existing SOP*, ellers gå til pkt. 3
 - a. I *Existing SOP* vælges *Jord Våd* hvis din prøve er jord eller *Aske Våd* hvis din prøve er aske

- 3) Vælg *Measure* og *Start SOP*.
 - a. Klik igen på den SOP du skal bruge. Vælg *Jord Våd* hvis din prøve er jord eller *Aske Våd* hvis din prøve er aske

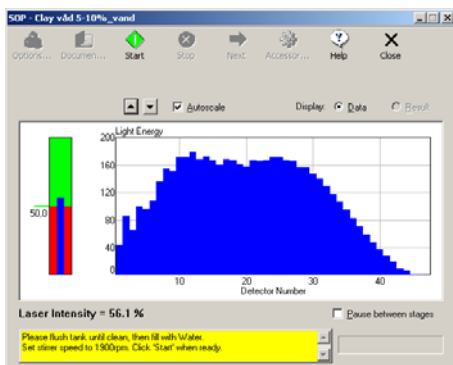
 - b. Hvis din prøves SOP ikke findes i systemet se vejledningen til *Ny SOP*



HUSK at trykke "Save as" når du har kørt dine prøver! Ellers forsvinder de!

Måling:

1. Når vandet er fyldt i prøvekommeret efter *Flush* sæt RPM til 3000 i et par sekunder og sluk hurtigt.
 - a. Dette får boblerne i systemet til at stige til overfladen
 - b. Sæt derefter RPM til det den gule meddelelse beder dig op og følg det den siger.



Læs ALTID hvad der står i den gule boks. Den fortæller hvad du skal gøre.

Forsøgsvejledninger

Bilag a - Vandindhold i aske

Princip: I forbindelse med den elektrodialytisk askerensning har aksens vandindhold stor betydning, da den elektriske strøm ledes gennem asken via askevæsken. Er vandindholdet mindre end 15 %, er det nødvendigt for forsøgets gennemførelse at tilføre asken ekstra væske.

Specielt apparatur: Til analysen benyttes et varmeskab.

Analysens udførelse: 3 petriskåle afvejes på teknisk vægt. Der overføres en vis mængde aske til hver petriskål, som igen vejes på teknisk vægt. Petriskålene stilles i varmeskab natten over ved 105°C. Petriskålene med den tørrede aske vejes efter afkøling på teknisk vægt.

Beregning af resultat: Vandindholdet angives i procent af vægten af den fugtige aske.

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

Affaldshåndtering: Asken skal opsamles i beholder til jordaffald og petriskåle rengøres.

Bilag b – pH i 1 M KCL

Princip: Askens pH måles potentiometrisk i en opslemning af aske og kaliumchlorid i forholdet 1:2,5.

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

Kemikalie sikkerhed: *Kaliumchlorid* – Der foreligger ikke information, der gør det muligt at klassificere stoffet. Bruges med omtanke.

Analysens udførelse: 5,00 g tør, knust aske afvejes på teknisk vægt i en 20 mL plastvils. Der tilsættes 12,5 mL 1 M KCL-opløsning med pipette. Opslemningen stilles på rystebord i 1 time, hvorefter asken bundfældes i 5-10 minutter, indtil en væskefase har udskilt sig over asken. Når dette er sket, anbringes elektroden i den øvre kolloidfattige del af opslemningen således at diafragmaet er under væskeoverfladen (under målingen skal gummiproppen være aftaget). Undgå at elektroden rammer asken. Forud for hver måling skylles elektroden grundigt med destilleret vand, hvorefter en evt. dråber aftørres forsigtigt med et stykke papir.

Resultat: Resultatet aflæses direkte på apparatet og angives som pH (KCl) med decimaltal. Aflæsningen anses for stabil når der står ”STAB” på displayet.

Bilag c – Måling af ledningsevne i aske

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

Specielt apparatur: Til målingen benyttes ledningsevne måler.

Analysens udførelse: 10,00 g tør knust aske afvejes på teknisk vægt til en 50 mL plastikflaske. Der tilsættes 25,00 mL destilleret vand med fuld pipette. Plastikflasken stilles ca. ½ time på rysteapparat, hvorefter asken bundfældes i ca. 20 minutter, indtil en væskefase har udskilt sig over asken.

Ledningsevne elektroden skylles med destilleret vand. Sæt elektroden ned i væsken, og der trykkes på "SAMPLE". Når displayet viser "STAB" tryk på "PRINT" og aflæs resultatet.

Beregning af resultat: På baggrund af ledningsevne måleren beregnes askens ionindhold i askevæsken. Det samlede ionindhold i askevæsken:

$$S_{v\ddot{a}ske} (m\ddot{a}ekv./L) = \frac{10cm * m\ddot{a}ekv. * ledningsevnen (mS/cm)}{L * mS}$$

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

$$S_{aske} = \frac{S_{v\ddot{a}ske} * V_{vand\ tilsat}}{M_{aske}}$$

Bilag d – Glødetab i aske

Princip: Askens indhold af organisk materiale svarer til stort set det opnåede glødetab ved 550°C. I en tungmetallforurenede aske vil tungmetallerne i høj grad reagere med det organiske materiale i asken og sidder bundet i denne fraktion.

Specielt apparatur: Til analysen benyttes en muffelovn.

Analysens udførelse: 3 digler sættes i en kold muffelovn, der opvarmes til 550°C, i 1 time. Diglerne afkøles i eksikator og vejes på analyse vægt. Diglerne transporteres med en tang, da fingrene afsætter fugt, og derved ændrer vægten. Derefter afvejes omkring 2,5 g tør, knust aske på analysevægt til hver digel. Diglerne med den tørre aske stilles i en opvarmet muffelovn og glødes ved 550°C i 1 time. Diglerne med den glødede aske afkøles i eksikator og vejes på analyse vægt.

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

$$\% \text{ glødetab} = \frac{m(\text{f\ddot{o}r muffelovn}) - m(\text{efter muffelovn})}{m(\text{f\ddot{o}r muffelovn})} * 100$$

Affaldshåndtering: Asken skal opsamles i beholder til jordaffald.

Bilag e – Oplukning

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

Specielt apparatur: Til måling benyttes et atomabsorptionsspektrofotometer (AAS).

Kemikalie sikkerhed: *Salpetersyre* - Brandnærende; Ætsende; Brandfarlig ved kontakt med brandbare stoffer. Alvorlig ætsningsfar. Undgå indånding af dampe. Brug syrehandsker, plastikforklæde, sikkerhedsbriller og stinkskaab ved afmåling. *Salpetersyre halv konc. (1:1)* – Lokalirriterende; irriterer øjnene og huden. Brug engangshandsker, sikkerhedsbriller og stinkskaab ved afmåling.

Analysens udførelse: 1,00 g tør, knust aske afvejes på teknisk vægt i et pyrex-glas med skruelåg (autoklaveglas) og der tilsættes 20,00 mL halvkoncentreret HNO_3 med fuld pipette (skal foregå i stinkskaab). Prøven rystes og åbnes så den kan ”bruse af”. Derefter lukkes autoklavflaskerne helt. Flaskerne stilles i autoklaven ved 200 kPa (120 grader) i 30 min. Flaskerne afkøler derefter til stuetemperatur. Prøverne filtreres med sug gennem et 0,45 μm filter i stinkskaab. BRUG ENGANGSHANDSKER. Autoklaveflasken skylles med destilleret vand. Filtratet hælde i en 100,00 mL målekolbe og der tilsættes destilleret vand til mærket og blandes. Væsken hældes i en 20 mL plast vials og gemmes til ICP.

Bilag f - Vandopløselige anioner

Analysens udførelse: 10,00 g tørret aske afvejes på en teknisk vægt til en 100 mL plastikflaske. Der tilsættes 50 mL destilleret vand. Prøven stilles på rystebord natten over. Prøven filtreres med sprøjtefilter og prøven gemme til ionchromotograf.

Bilag g – Vandopløselighed

Analyse: 100,00 g tørret aske afvejes på teknisk vægt til 1 L plastikflaske med låg. Der tilsættes 500 mL destilleret vand. Prøven rystes og henstilles til bundfældning. Et filterpapir vejes og sættes i en tragt over et målegals. Væsken hældes over filterpapiret. Der tilsættes igen 500 mL destilleret vand til asken og prøven omrystes og henstilles. Væsken hældes over i det samme filter og der tilsættes igen 500 mL destilleret vand til asken og prøven omrystes. Hele prøven hældes over i filteret. Er der mere aske i flasken gentages sidstnævnte procedure indtil flasken er tømt for aske. Filteret med aske stilles til afdrypning natten over. Når asken er næsten tør stilles filteret med asken i varmeskan ved 105°C natten over. Asken og filteret vejes og vægten noteres.

Bilag h – Porøsitet og densitet

Prøvelegemer tørres ved 105 ± 5 grader i en ventileret ovn til vægtkonstans. Tørring ved 105 grader kan for nogle materialer medføre ændringer i porestrukturen. Disse materialer bør tørres ved en lavere temperatur. Derefter afkøling i eksikkator til stuetemperatur. Prøvelegemet vejes.

Det udtørrede prøvelegeme evakueres kontinuerligt tørt i eksikkator i mindst 3 timer ved tryk.

Demineraliseret vand med rumtemperatur ledes ind i eksikkatoren. Prøvelegemer skal være helt dækket med vand og henstår ved dette tryk i mindst 1 time uden pumpning. Herefter ledes luft ind og prøverne henstår i vandet natten over ved atmosfæretryk.

De vandmættede prøvelegemer vejes i vand. Efter aftørring af overfladen med en hårdt opvreden klud vejes prøvelegemer i luft.

Bilag i - Kapillarsugning

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

Ekssikkatoren er en lufttæt plast- eller glasbeholder. Silicagelen er et tørremiddel som sørger for, at der ikke er fugt i luften inde i ekssikkatoren. Der benyttes kontrollod til sikring af at vægten vejer korrekt både før og efter forsøget. Prøvelegemet vejes i modtagelsessituationen (m_0), mens dets sugeflade og højdes opmåles.

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

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

Blandeprocedure og vibratorbord

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 (hvis det er nødvendigt tilsættes ekstra vand, mængden af ekstra vand noteres.)
 - Mix i 60 sec ved high speed
 - Vibratorbordet
-

Vibratorbord (stort)

- 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

Vibratorbord (lille)

- Placer formen på midten af bordet og fyld formen halvt op
- Start vibratorbordet – frekvens 75
- Tæl til 30 – stop
- Fyld resten I formen
- Start vibratorbordet – frekvens 75
- Tæl til 30, mens det overskydende cement skræbes af
- Dæk prøven af under plastik

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.

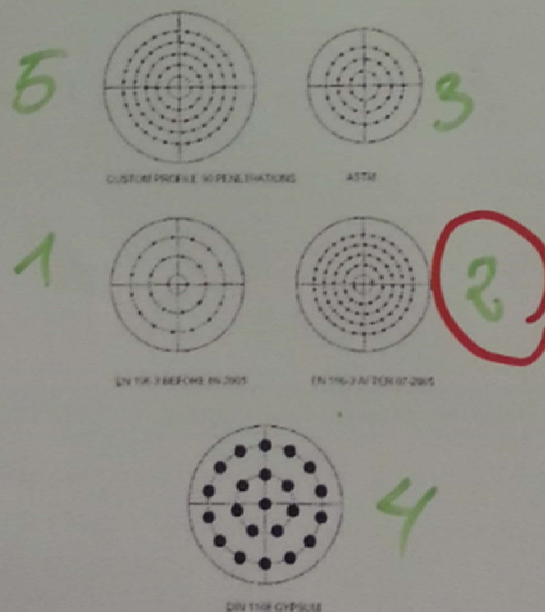
TABEL 1. OPERATØR FUNKTIONER PÅ VICATRONIC.

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
B1	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.

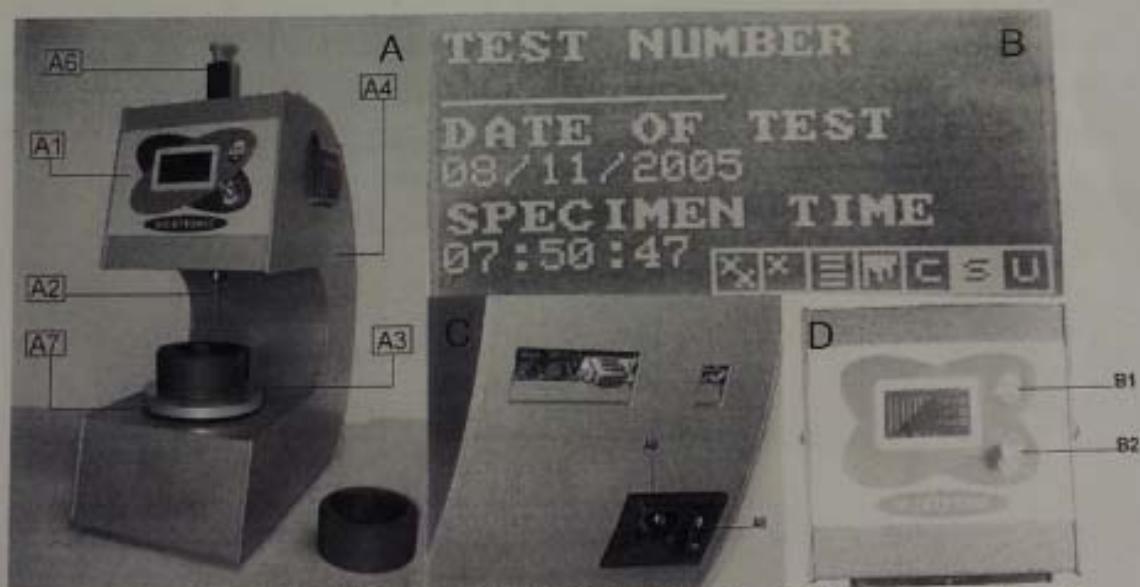
	STANDARD	EN196-3:2005 (EN 196-3 BEFORE 06-2005)
1	Total number of penetrations	26
	Conical mould	70 / 80 / 40 mm
	Min. distance between two penetrations	10 mm
	STANDARD	EN (EN 196-3 AFTER 07-2005)
2	Total number of penetrations	86
	Conical mould	70 / 80 / 40 mm
	Min. distance between two penetrations	10 mm
	STANDARD	ASTM (ASTM C 191)
3	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)
4	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)
5	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	86 : 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)
<i>BEMÆRK!</i> Ved valg af START DELAY fravælges automatisk 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".

Oplukning - Resultater

Prøve	mg/L Al	mg/kg Al	mg/L As	mg/kg As	mg/L Cd	mg/kg Cd	mg/L Cr
1	103,296	10329,6	0,056403	5,6403	0,11613	11,613	1,0686
2	208,683	20868,3	0,089502	8,9502	0,229046	22,9046	2,16489
3	204,926	20492,6	0,07781	7,781	0,2199	21,99	2,11993
Gennemsnit	172,3017	17230,1667	0,0746	7,4572	0,1884	18,8359	1,7845

Prøve	mg/kg Cr	mg/L Cu	mg/kg Cu	mg/L Ni	mg/kg Ni	mg/L Pb	mg/kg Pb
1	106,86	1,53996	153,996	0	0	0,373812	37,3812
2	216,489	3,00064	300,064	0,010252	1,0252	0,756319	75,6319
3	211,993	2,95438	295,438	0,015287	1,5287	0,748951	74,8951
Gennemsnit	178,4473	2,4983	249,8327	0,0085	0,8513	0,6264	62,6361

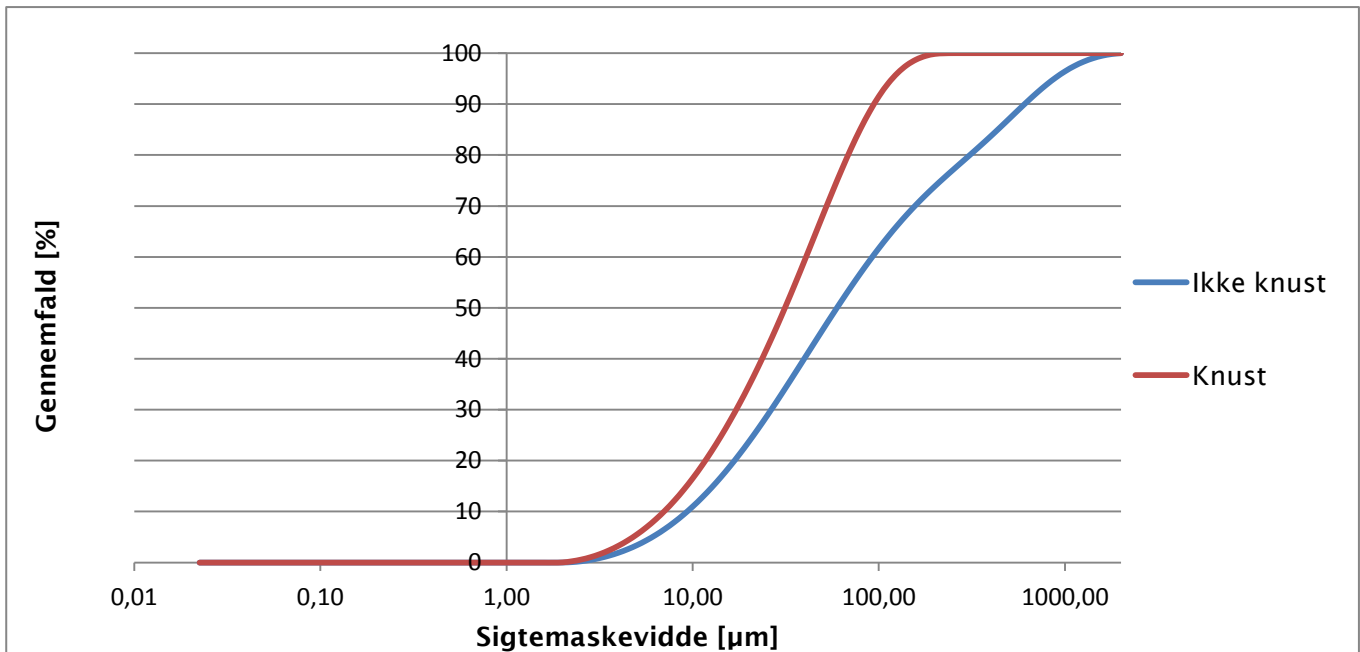
Prøve	mg/L Zn	mg/kg Zn	mg/L Na	mg/kg Na	mg/L K	mg/kg K	mg/L P
1	17,9531	1795,31	26,2226	2622,26	773,836	77383,6	105,879
2	18,3336	1833,36	52,6797	5267,97	825,82	82582	213,928
3	17,6855	1768,55	51,4915	5149,15	765,074	76507,4	207,07
Gennemsnit	17,9907	1799,0733	43,4646	4346,46	788,2433	78824,33	175,6257

Prøve	mg/kg P	mg/L Mg	mg/kg Mg
1	10587,9	301,37	30137
2	21392,8	308,342	30834,2
3	20707	293,697	29369,7
Gennemsnit	17562,567	301,1363	30113,63

Kornkurve

Result Between User Sizes [um]	Ikke-knust	Ikke-knust	Ikke-knust	Average	Σ af average [%]	Knust	Knust	Knust	Average	Σ af average [%]
0,02										
0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
2,24	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,15	0,23	0,26	0,26
2,52	0,17	0,18	0,18	0,17	0,26	0,31	0,33	0,36	0,33	0,59
2,83	0,27	0,27	0,27	0,27	0,53	0,47	0,46	0,48	0,47	1,06
3,17	0,37	0,36	0,36	0,36	0,90	0,62	0,59	0,60	0,61	1,67
3,56	0,48	0,47	0,46	0,47	1,37	0,79	0,72	0,72	0,74	2,41
3,99	0,59	0,57	0,57	0,58	1,94	0,96	0,86	0,85	0,89	3,30
4,48	0,70	0,68	0,68	0,69	2,63	1,13	1,01	0,99	1,04	4,34
5,02	0,82	0,80	0,79	0,80	3,43	1,31	1,16	1,14	1,20	5,55
5,64	0,95	0,92	0,91	0,93	4,36	1,49	1,33	1,30	1,37	6,92
6,32	1,08	1,05	1,04	1,06	5,42	1,68	1,51	1,47	1,55	8,47
7,10	1,22	1,19	1,18	1,19	6,61	1,86	1,70	1,66	1,74	10,21
7,96	1,35	1,33	1,32	1,33	7,94	2,05	1,89	1,86	1,93	12,14
8,93	1,50	1,47	1,46	1,48	9,42	2,23	2,10	2,06	2,13	14,27
10,02	1,64	1,61	1,61	1,62	11,04	2,41	2,30	2,27	2,33	16,60
11,25	1,78	1,76	1,76	1,77	12,81	2,59	2,51	2,49	2,53	19,12
12,62	1,91	1,90	1,91	1,91	14,71	2,76	2,71	2,70	2,72	21,85
14,16	2,05	2,05	2,05	2,05	16,76	2,93	2,92	2,90	2,92	24,76
15,89	2,18	2,18	2,19	2,19	18,95	3,10	3,12	3,11	3,11	27,87
17,83	2,31	2,32	2,32	2,32	21,26	3,28	3,32	3,31	3,30	31,18
20,00	2,42	2,44	2,45	2,44	23,70	3,45	3,52	3,51	3,49	34,67
22,44	2,53	2,55	2,56	2,55	26,25	3,63	3,71	3,70	3,68	38,35
25,18	2,63	2,65	2,66	2,65	28,90	3,81	3,90	3,89	3,87	42,22
28,25	2,71	2,74	2,74	2,73	31,62	3,98	4,08	4,06	4,04	46,26
31,70	2,77	2,80	2,81	2,79	34,42	4,15	4,25	4,23	4,21	50,47

35,57	2,82	2,85	2,85	2,84	37,26	4,29	4,39	4,37	4,35	54,82
39,91	2,84	2,88	2,88	2,87	40,13	4,40	4,50	4,48	4,46	59,29
44,77	2,85	2,89	2,88	2,87	43,00	4,47	4,57	4,56	4,53	63,82
50,24	2,83	2,87	2,87	2,86	45,86	4,48	4,58	4,57	4,54	68,36
56,37	2,80	2,84	2,84	2,83	48,68	4,42	4,51	4,52	4,48	72,84
63,25	2,75	2,79	2,79	2,78	51,46	4,28	4,37	4,39	4,35	77,19
70,96	2,68	2,72	2,72	2,71	54,17	4,06	4,14	4,17	4,13	81,31
79,62	2,61	2,64	2,64	2,63	56,79	3,76	3,83	3,88	3,82	85,14
89,34	2,52	2,54	2,55	2,53	59,33	3,39	3,44	3,50	3,44	88,58
100,24	2,42	2,42	2,45	2,43	61,76	2,95	3,00	3,06	3,00	91,58
112,47	2,31	2,30	2,33	2,31	64,07	2,48	2,52	2,57	2,52	94,10
126,19	2,19	2,17	2,21	2,19	66,26	1,99	2,01	2,06	2,02	96,13
141,59	2,07	2,05	2,09	2,07	68,33	1,52	1,54	1,57	1,54	97,67
158,87	1,96	1,92	1,97	1,95	70,28	1,07	1,08	1,10	1,09	98,75
178,25	1,85	1,82	1,86	1,84	72,12	0,70	0,70	0,71	0,71	99,46
200,00	1,75	1,73	1,76	1,75	73,87	0,40	0,40	0,39	0,40	99,86
224,40	1,68	1,67	1,69	1,68	75,55	0,12	0,12	0,10	0,11	99,97
251,79	1,62	1,63	1,63	1,63	77,18	0,03	0,03	0,02	0,03	100,00
282,51	1,59	1,62	1,60	1,61	78,78	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
316,98	1,59	1,64	1,60	1,61	80,39	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
355,66	1,60	1,68	1,61	1,63	82,03	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
399,05	1,64	1,73	1,64	1,67	83,70	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
447,74	1,68	1,78	1,67	1,71	85,41	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
502,38	1,71	1,82	1,70	1,74	87,15	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
563,68	1,73	1,82	1,70	1,75	88,90	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
632,46	1,71	1,78	1,68	1,72	90,62	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
709,63	1,66	1,69	1,62	1,66	92,28	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
796,21	1,56	1,55	1,52	1,54	93,82	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
893,37	1,43	1,38	1,39	1,40	95,22	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1002,37	1,27	1,18	1,23	1,23	96,45	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1124,68	1,09	0,98	1,06	1,04	97,49	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1261,91	0,90	0,78	0,87	0,85	98,34	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1415,89	0,71	0,60	0,69	0,67	99,01	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1588,66	0,53	0,43	0,52	0,50	99,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1782,50	0,35	0,27	0,34	0,32	99,82	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2000,00	0,20	0,15	0,19	0,18	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00



Askekarakteristik - Resultater

Bilag a - Vandindhold i aske

Prøve	Før varmeskab			Efter varmeskab v. 105 grader		Vandindhold [%]
	Petriskål [g]	Våd aske + petriskål [g]	Vådaske [g]	Tør aske + petriskål [g]	Tør aske [g]	
1	230,68	469,35	238,67	468,9	238,22	0,19
2	197,83	408,74	210,91	408,26	210,43	0,23
3	240,48	396,77	156,29	396,45	155,97	0,20
Gennemsnit:						0,21

Bilag b - pH

Prøve	Ubehandlet	Behandlet
1	13,05	12,94
2	13,06	12,94
3	13,09	12,93
Gennemsnit:		13,07

Bilag c - Ledningsevne

Prøve	Ubehandlet [mS/cm]	Behandlet [mS/cm]
1	49,7	10,9
2	55,6	10,6
3	56,0	10,8
Gennemsnit:		53,8

Bilag d - Glødetab

Prøve	Digel [g]	Aske før [g]	Aske+digel efter [g]	Aske efter [g]	Δ Aske [g]	Glødetab %
1	14,3136	2,6362	16,8303	2,5167	0,1195	4,53
2	13,5571	2,5042	15,9463	2,3892	0,115	4,59
3	14,0152	2,5582	16,4626	2,4474	0,1108	4,33
Gennemsnit:						4,49

Bilag g - Vandopløselighed

Prøve nr.	Aske [g]	Filter [g]	Petriskål [g]	Petriskål + våd aske [g]	Petriskål + tør aske [g]	Våd aske [g]	tør [g]	Aske tab [%]
1	101,81	10,44	198,96	364,79	296,79	155,39	87,39	14,16
2	101,63	10,67	207,77	371,06	305,53	152,62	87,09	14,31
3	100,00	10,86	199,52	357,06	296,20	146,68	85,82	14,18
Gennemsnit:								14,22

IC målinger

Ionchromotograf på ubehandlet aske								
Prøve	afvejet	tilsat	mg/L Cl	mg/kg Cl	mg/l NO3	mg/kg NO3	mg/L SO4	mg/kg SO4
1	10,00	50,00	1351,0025	6755,0126	111,9804	559,9021	9605,6308	48028,1542
2	10,00	50,00	1335,8067	6679,0336	101,4547	507,2735	9335,7120	46678,5601
3	10,00	50,00	1355,9152	6779,5762	94,1569	470,7847	9528,8014	47644,0069
Gennemsnit				6737,8742		512,6534		47450,2404

Ionchromotograf på behandlet aske								
Prøve	afvejet	tilsat mL	mg/l Cl	mg/kg Cl	mg/LNO3	mg/KgNO3	mg/L SO4	mg/Kg SO4
1	10,00	50,00	21,8259	109,1294	32,8402	164,2012	12,8076	64,0379
2	10,00	50,00	20,2165	101,0825	30,3011	151,5055	12,6424	63,2118
3	10,00	50,00	21,4543	107,2714	31,9696	159,8481	12,7254	63,6272
Gennemsnit				105,8277		158,5183		63,6256

Kloridindhold

Recept	Cement [g]	Aske [g]	Klorid pr. kg aske [g/kg]	Klorid i prøve [g]	Chlorid/Cement [%]
A	427,50	22,50	6,74	0,1516	0,035
B	450,00	135,00	6,74	0,9096	0,202
AB	427,50	22,50	0,11	0,0024	0,001
CB	405,00	45,00	0,11	0,0048	0,001
D	427,50	26,40	6,74	0,1779	0,042

Mørtelstøbninger

Navn	Støbt	Afformet	Recept	Termin [dage]	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]	+ Vand [g]	Vægt [g]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Højde [mm]	Forsøg	V/C
Ref 1.1	Kl. 10:00 6/2-14	Kl. 10:40 7/2-14	Ref	1	450	1350	0	225	0,00	572,72	162,0	40,0	41,0	T	0,50
Ref 1.2										564,24	162,0	40,0	40,5		
Ref 1.3										563,58	161,0	40,0	40,5		
Ref 28.1	Kl. 11:10 6/2-14	Kl. 11:25 7/2-14	Ref	28	450	1350	0	225	0,00	594,87	160,0	40,2	40,9	K/P/D	0,50
Ref 28.2										600,90	160,0	40,1	41,0		
Ref 28.3										607,75	162,0	39,9	41,5		
A1	Kl. 08:40 27/2-14	Kl. 09:00 28/2-14	B	28	450	1215	135	225	45,00	561,32	160,0	39,7	40,0	K	0,60
A2										561,74	160,0	39,9	39,9		
A3										564,49	160,0	40,3	40,0		
B1	Kl. 08:50 27/2-14	Kl. 09:00 28/2-14	B	28	450	1215	135	225	30,34	567,30	160,0	40,0	40,2	P/D	0,57
B2										573,79	160,0	40,1	40,1		
B3										570,28	160,0	40,0	40,2		
C1	Kl. 11:10 05/3-14	Kl. 11:00 06/3-14	A	28	427,5	1350	22,5	225	10,00	584,26	160,0	40,0	41,0	K	0,55
C2										581,71	160,0	40,0	41,7		
C3										576,88	160,0	40,3	40,0		
D1	Kl. 11:20 05/3-14	Kl. 11:00 06/3-14	A	28	427,5	1350	22,5	225	0,00	586,28	160,0	40,2	40,0	P/D	0,53
D2										589,54	160,0	40,0	41,4		
D3										584,07	160,0	41,0	40,0		
E1	Kl. 10:30 10/3-14	Kl. 10:00 11/3-14	A	1	427,5	1350	22,5	225	22,70	584,33	161,8	40,5	41,0	T	0,58
E2										581,88	161,0	40,5	40,5		
E3										576,33	160,7	40,0	40,5		
F1	Kl. 10:40 10/3-14	Kl. 10:00 11/3-14	B	1	450	1215	135	225	50,00	557,18	160,7	40,0	40,0	T	0,61
F2										559,30	161,2	40,0	40,0		
F3										565,80	161,5	41,6	40,0		
G1	Kl. 09:00 10/3-14	Kl. 09:00 11/3-14	A	3	427,5	1350	22,5	225	5,00	587,27	159,7	40,2	40,5	T	0,54
G2										586,38	159,9	40,1	41,1		
G3										587,22	159,3	40,1	41,2		
H1	Kl. 09:00 10/3-14	Kl. 09:00 11/3-14	B	3	450	1215	135	225	45,00	577,61	160,7	40,1	41,3	T	0,60
H2										568,79	160,2	40,4	41,6		
H3										581,98	161,0	40,3	41,5		

Navn	Støbt	Afformet	Recept	Termin [dage]	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]	+ Vand [g]	Vægt [g]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Højde [mm]	Forsøg	V/C
I1	Kl. 11:15 11/3-14	Kl. 11:30 12/3-14	A	7	427,5	1350	22,5	225	20,00	587,56	160,2	40,2	41,4	K	0,57
I2										592,73	160,7	40,2	41,4		
I3										594,47	161,3	40,3	41,3		
J1	Kl. 11:25 11/3-14	Kl. 11:30 12/3-14	A	7	427,5	1350	22,5	225	10,00	591,77	160,8	40,1	41,0	P/D	0,55
J2										595,55	161,3	40,3	41,8		
J3										598,58	161,8	40,5	41,0		
K1	Kl. 11:45 11/3-14	Kl. 11:30 12/3-14	B	7	450	1215	135	225	55,00	571,02	159,9	40,1	40,6	K	0,62
K2										575,12	159,9	40,0	41,6		
K3										572,91	160,3	40,1	41,2		
L1	Kl. 12:00 11/3-14	Kl. 11:30 12/3-14	B	7	450	1215	135	225	55,00	568,95	160,4	40,1	41,2	P/D	0,62
L2										568,22	160,0	40,1	41,6		
L3										580,04	161,8	40,3	40,9		
Ref 2.1	Kl. 09:45 17/3-14	Kl. 09:45 18/3-14	Ref	2	450	1350	0	225	0,00	590,70	160,6	40,1	41,5	T	0,50
Ref 2.2										589,95	160,4	39,9	40,7		
Ref 3.3										588,25	160,9	40,1	41,1		
M1	Kl. 11:00 19/3-14	Kl. 11:00 20/3-14	A	5	427,5	1350	22,7	225	10,00	570,95	159,9	40,1	39,5	T	0,55
M2										571,74	159,8	39,9	39,2		
M3										576,95	160,0	40,1	39,7		
N1	Kl. 11:15 19/3-14	Kl. 11:00 20/3-14	B	5	450	1215	135	225	50,00	575,12	161,8	40,5	40,6	T	0,61
N2										564,82	161,7	40,2	40,5		
N3										580,04	161,9	40,1	41,2		
O1	Kl. 12:15 30/4-14	Kl. 12:00 01/5-14	AB*	1	427,5	1350	22,7	225	0,00	580,51	162,0	40,3	41,0	T	0,53
O2										577,36	161,6	40,2	40,6		
O3										575,07	160,9	40,1	40,9		
P1	Kl. 12:25 30/4-14	Kl. 12:00 01/5-14	CB*	1	405	1350	45	225	2,44	587,75	160,7	40,2	41,0	T	0,56
P2										590,51	160,8	39,9	42,0		
P3										585,78	160,6	40,0	42,0		
Q1	Kl. 12:35 30/4-14	Kl. 12:00 01/5-14	D*	1	427,5	1350	26,4	225	5,00	569,66	159,9	39,9	39,5	T	0,54
Q2										569,80	159,7	40,1	40,8		
Q3										569,28	159,5	40,1	40,7		

Navn	Støbt	Afformet	Recept	Termin [dage]	Cement [g]	Sand [g]	Aske [g]	Vand [g]	+ Vand [g]	Vægt [g]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Højde [mm]	Forsøg	V/C
R1	Kl. 11:50 30/4-14	Kl. 12:50 01/5-14	AB*	5	427,5	1350	22,7	225	0,00	578,37	160,7	40,1	40,1	T	0,53
R2										591,65	161,2	40,1	40,9		
R3										582,85	160,6	40,1	41,0		
S1	Kl. 11:25 30/4-14	Kl. 12:50 01/5-14	CB*	5	405	1350	45	225	5,26	577,58	161,6	40,1	40,8	T	0,57
S2										575,41	160,9	40,2	40,8		
S3										574,86	161,2	40,0	40,5		
T1	Kl. 12:05 30/4-14	Kl. 12:50 01/5-14	D*	5	427,5	1350	26,4	225	5,00	579,75	161,6	40,2	40,0	T	0,54
T2										585,57	161,2	40,2	40,3		
T3										586,21	162,3	40,1	40,0		
U1	Kl. 10:35 02/5-14	Kl. 10:15 03/5-14	AB*	3	427,5	1350	22,7	225	0,00	575,09	161,0	40,0	40,2	T	0,53
U2										581,61	160,5	40,1	40,7		
U3										568,65	161,6	40,2	40,3		
V1	Kl. 10:45 02/5-14	Kl. 10:15 03/5-14	CB*	3	405	1350	45	225	2,35	588,31	160,1	40,0	40,1	T	0,56
V2										577,24	160,5	40,0	40,0		
V3										577,13	160,5	40,0	40,3		
X1	Kl. 10:50 02/5-14	Kl. 10:15 03/5-14	D*	3	427,5	1350	26,4	225	5,00	589,07	161,5	40,2	41,0	T	0,54
X2										594,31	161,5	40,4	40,8		
X3										586,09	161,5	40,2	41,1		
Ref 3.1	Kl. 10:25 02/5-14	Kl. 10:15 03/5-14	Ref*	3	450	1350	0	225	0,00	586,31	160,8	40,1	41,1	T	0,50
Ref 3.2										592,57	160,1	40,0	40,5		
Ref 3.3										581,18	160,3	40,0	40,6		

* Er vibreret på det lille vibratorbord ved frekvensen 75.

T: Trykprøve

K: Kapillarsugning

P/D: Porøsitet og densitet

Fejlkilde på Hobertmixer

Halvejs inde i projektperioden (12/3 2014) opdages det, at der er forskel på mixerens blandeegenskaber. Det observeres, at bladet i mixer 1 ikke får ordentligt fat i bunden af skålen, hvorimod mixer 2 giver en homogen blanding.

For at undersøge forskellen på mixer 1 og mixer 2, er der støbt referenceprøver på samme tid på hhv. mixer 1 og mixer 2. Prøverne har hærdet i 4 døgn, hvorefter trykstyrken måles. Nedenfor ses resultaterne.

Mixer 1

Ref.	Masse [g]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Højde [mm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]
1	584,73	161,4	40,2	40,59	52	56
2	576,22	160,7	40,14	40,37	51	54
3	580,21	160,3	40,4	40,57	51	56

Mixer 2

Ref.	Masse [g]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Højde [mm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]
1	591,19	160,7	40,2	40,77	67	67
2	589,62	160,2	40,04	40,41	66	63
3	591,57	160,1	39,99	40,73	68	66

Det ses i ovenstående tabeller, at der er en forskel på gennemsnitligt 10 kN når resultaterne fra mixer 1 sammenlignes med resultaterne fra mixer 2.

Ovenstående data er udarbejdet af Simon L. Rasmussen og Dennies V. Andersen, gruppe C i klyngeprojektet.

Flydemål

Recept	Dato	v/c-forhold	Ekstra vand tilsat [g]	Prøve nr.	Flydemål 1 [mm]	Flydemål 2 [mm]	Gennemsnit [mm]
Ref	*	0,50	0	1	157	158	158
				2	155	153	154
				3	151	150	151
A	12-03-2014	0,55	10	1	175	173	174
				2	180	178	179
				3	178	176	177
B	12-03-2014	0,60	45	1	147	148	148
				2	135	138	137
				3	142	140	141
AB	30-04-2014	0,53	0	1	157	160	159
				2	160	156	158
				3	-	-	-
CB	30-04-2014	0,56	0	1	156	158	157
				2	155	158	157
				3	150	150	150
D	30-04-2014	0,54	5	1	175	178	177
				2	175	174	175
				3	173	175	174

* Flydemål er udført af gruppe A, Bonnerup, A. H. og Sigvardsen, N. N. i projektklyngen.

Afbindingstid

Receipt	Ref 1			Ref2			A			B		
Test number	DRAENG			DRAENG			DRAENG			DRAENG		
Kind of test	EN196-3:2005			90 DROP			EN196-3:2005			EN196-3:2005		
Cycle tyoe	STANDARD			STANDARD			STANDARD			STANDARD		
Operator code	VS14			VS14			VS14			VS14		
Customer code	MSML14			MSML14			MIA14			MIA14		
Date of test	12.03.2014			02.04.2014			17.03.2014			18.03.2014		
Specimen time	Kl. 12:33:11			Kl. 14:42:06			Kl. 10:17:25			Kl. 10:42:04		
Start delay	0			0			-			-		
1 st pen time	-			-			Kl. 10:23:25			Kl. 10:46:04		
Specimen type	DRAENB06			DRAENB06			DRAENB06			DRAENB06		
Water cont.	12,50			12,50			13,20			15,00		
Temperatur	20,00			20,00			20,00			20,00		
Humidity	60,00			60,00			60,00			60,00		
Fall type	FREE			FREE			FREE			FREE		
Time type	FIXED			FIXED			FIXED			FIXED		
Final setting	NO			NO			NO			NO		
Time	10,00			10,00			10,00			10,00		
ID	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]
1	0,1	6,18	0	0,0	10,11	0	0,0	6,00	5,10	0,2	1444,00	4,20
2	0,1	16,18	10	0,0	20,11	10	0,0	16,00	15,10	0,0	1454,00	14,20
3	0,1	26,18	20	0,0	30,11	20	0,0	26,00	25,10	0,1	1464,00	24,20
4	0,1	36,18	30	0,0	40,11	30	0,1	36,00	35,10	0,2	1474,00	34,20
5	0,1	46,18	40	0,0	50,11	40	0,0	46,00	45,10	0,0	1484,00	44,20
6	0,1	56,18	50	0,0	60,11	50	0,0	56,00	55,10	0,0	1494,00	54,20
7	0,1	66,18	60	0,0	70,11	60	0,0	66,00	65,10	0,2	1504,00	64,20
8	0,0	76,18	70	0,0	80,11	70	0,1	76,00	75,10	0,0	1514,00	74,20
9	0,1	86,18	80	0,0	90,11	80	0,0	86,00	85,10	0,1	1524,00	84,20
10	0,1	96,18	90	0,0	100,11	90	0,0	96,00	95,10	0,2	1534,00	94,20
11	0,1	106,18	100	0,0	110,11	100	0,1	106,00	105,10	0,0	1544,00	104,20
12	0,0	116,18	110	0,0	120,11	110	0,1	116,00	115,10	0,0	1554,00	114,20
13	0,1	126,18	120	0,0	130,11	120	0,1	126,00	125,10	0,2	1564,00	124,20
14	0,0	136,18	130	8,5	140,11	130	0,0	136,00	135,10	0,0	1574,00	134,20
15	0,1	146,18	140	0,0	150,11	140	0,0	146,00	145,10	0,2	1584,00	144,20
16	0,1	156,18	150	0,0	160,11	150	0,0	156,00	155,10	0,2	1594,00	154,20
17	9,5	166,18	160	9,3	170,11	160	0,0	166,00	165,10	0,0	1604,00	164,20
18	26,6	176,18	170	18,9	180,11	170	7,3	176,00	175,10	0,0	1614,00	174,20
19	23,0	186,18	180	21,9	190,11	180	2,6	186,00	185,10	0,2	1624,00	184,20
20	24,3	196,18	190	23,7	200,11	190	0,0	196,00	195,10	0,2	1634,00	194,20
21	34,0	206,18	200	28,6	210,11	200	0,2	206,00	205,10	0,2	1644,00	204,20
22	30,3	216,18	210	31,2	220,11	210	6,0	216,00	215,10	0,1	1654,00	214,20
23	33,8	226,18	220	30,5	230,11	220	14,9	226,00	225,10	0,2	1664,00	224,20
24	38,4	236,18	230	34,9	240,11	230	27,5	236,00	235,10	0,0	1674,00	234,20
25	35,8	246,18	240	34,5	250,11	240	25,6	246,00	245,10	13,2	1684,00	244,20
26	37,5	256,18	250	35,2	260,11	250	33,4	256,00	255,10	0,2	1694,00	254,20
27	37,4	266,18	260	37,1	270,11	260	32,2	266,00	265,10	32,7	1704,00	264,20
28	39,2	276,18	270	37,6	280,11	270	28,9	276,00	275,10	5,7	1714,00	274,20
29	39,9	286,18	280	37,8	290,11	280	33,7	286,00	285,10	23,4	1724,00	284,20
30	39,9	296,18	290	37,9	300,11	290	34,1	296,00	295,10	6,6	1734,00	294,20
31	39,7	306,18	300	38,7	310,11	300	33,4	306,00	305,10	27,2	1744,00	304,20
32	39,2	316,18	310	38,1	320,11	310	33,9	316,00	315,10	34,2	1754,00	314,20
33	38,8	326,18	320	37,9	330,11	320	34,9	326,00	325,10	29,3	1764,00	324,20
34	40,1	336,18	330	38,5	340,11	330	33,6	336,00	335,10	34,9	1774,00	334,20
35	39,2	346,18	340	39,3	350,11	340	35,1	346,00	345,10	36,4	1784,00	344,20
36	39,2	356,18	350	38,6	360,11	350	36,2	356,00	355,10	38,7	1794,00	354,20
37	39,9	366,18	360	38,2	370,11	360	36,7	366,00	365,10	39,3	1804,00	364,20
38	40,2	376,18	370	38,1	380,11	370	36,5	376,00	375,10	39,3	1814,00	374,20
39	40,4	386,18	380	38,0	390,11	380	37,0	386,00	385,10	39,1	1824,00	384,20
40	40,6	396,18	390	38,3	400,11	390	36,7	396,00	395,10	39,0	1834,00	394,20
41	41,2	406,18	400	38,2	410,11	400	38,2	406,00	405,10	38,9	1844,00	404,20
42	41,1	416,18	410	38,4	420,11	410	38,1	416,00	415,10	38,7	1854,00	414,20
43	40,4	426,18	420	38,7	430,11	420	37,4	426,00	425,10	39,6	1864,00	424,20
44	39,9	436,18	430	38,2	440,11	430	37,7	436,00	435,10	39,8	1874,00	434,20
45	39,5	446,18	440	38,5	450,11	440	38,0	446,00	445,10	40,1	1884,00	444,20
46	39,9	456,18	450	39,0	460,11	450	37,0	456,00	455,10	40,4	1894,00	454,20

47	39,7	466,18	460	39,0	470,11	460	37,6	466,00	465,10	39,8	1904,00	464,20
48	40,2	476,18	470	38,7	480,11	470	37,3	476,00	475,10	40,5	1914,00	474,20
49	40,5	486,18	480	39,1	490,11	480	37,3	486,00	485,10	41,0	1924,00	484,20
50	40,7	496,18	490	39,3	500,11	490	37,8	496,00	495,10	40,0	1934,00	494,20
51	40,7	506,18	500	39,4	510,11	500	37,7	506,00	505,10	39,9	1944,00	504,20
52	41,3	516,18	510	39,6	520,11	510	37,9	516,00	515,10	40,2	1954,00	514,20
53	41,5	526,18	520	39,6	530,11	520	38,8	526,00	525,10	40,0	1964,00	524,20
54	41,1	536,18	530	39,9	540,11	530	38,7	536,00	535,10	39,9	1974,00	534,20
55	40,9	546,18	540	39,8	550,11	540	38,3	546,00	545,10	40,4	1984,00	544,20
56	40,6	556,18	550	39,6	560,11	550	38,1	556,00	555,10	40,7	1994,00	554,20
57	40,2	566,18	560	39,7	570,11	560	38,2	566,00	565,10	40,9	2004,00	564,20
58	39,9	576,18	570	39,9	580,11	570	38,1	576,00	575,10	40,8	2014,00	574,20
59	40,6	586,18	580	39,5	590,11	580	37,9	586,00	585,10	40,7	2024,00	584,20
60	40,8	596,18	590	39,4	600,11	590	38,1	596,00	595,10	41,3	2034,00	594,20
61	40,9	606,18	600	39,0	610,11	600	38,7	606,00	605,10	40,7	2044,00	604,20
62	40,9	616,18	610	39,4	620,11	610	39,0	616,00	615,10	40,5	2054,00	614,20
63	41,6	626,18	620	39,2	630,11	620	39,1	626,00	625,10	40,3	2064,00	624,20
64	40,9	636,18	630	39,0	640,11	630	38,7	636,00	635,10	40,7	2074,00	634,20
65	40,4	646,18	640	38,8	650,11	640	38,4	646,00	645,10	41,0	2084,00	644,20
66	40,0	656,18	650	39,4	660,11	650	37,3	656,00	655,10	40,8	2094,00	654,20
67	40,5	666,18	660	39,2	670,11	660	38,1	666,00	665,10	40,8	2104,00	664,20
68	40,0	676,18	670	39,3	680,11	670	38,4	676,00	675,10	40,8	2114,00	674,20
69	41,1	686,18	680	39,2	690,11	680	38,7	686,00	685,10	39,5	2124,00	684,20
70	41,2	696,18	690	39,6	700,11	690	38,9	696,00	695,10	40,7	2134,00	694,20
71	41,3	706,18	700	39,8	710,11	700	39,1	706,00	705,10	40,5	2144,00	704,20
72	41,4	716,18	710	40,1	720,11	710	39,2	716,00	715,10	40,8	2154,00	714,20
73	41,1	726,18	720	40,1	730,11	720	38,9	726,00	725,10	40,8	2164,00	724,20
74	40,2	736,18	730	39,9	740,11	730	39,0	736,00	735,10	41,3	2174,00	734,20
75	40,6	746,18	740	39,9	750,11	740	38,4	746,00	745,10	40,8	2184,00	744,20
76	40,8	756,18	750	39,6	760,11	750	38,9	756,00	755,10	40,3	2194,00	754,20
77	41,1	766,18	760	39,5	770,11	760	39,0	766,00	765,10	40,7	2204,00	764,20
78	41,3	776,18	770	39,5	780,11	770	39,2	776,00	775,10	40,9	2214,00	774,20
79	40,5	786,18	780	39,7	790,11	780	38,9	786,00	785,10	41,1	2224,00	784,20
80	40,4	796,18	790	39,3	800,11	790	38,4	796,00	795,10	40,8	2234,00	794,20
81	40,8	806,18	800	39,2	810,11	800	38,5	806,00	805,10	41,3	2244,00	804,20
82	40,9	816,18	810	39,0	820,11	810	38,7	816,00	815,10	40,7	2254,00	814,20
83	41,3	826,18	820	39,3	830,11	820	39,0	826,00	825,10	40,7	2264,00	824,20
84	41,4	836,18	830	39,6	840,11	830	38,9	836,00	835,10	41,0	2274,00	834,20
85	40,9	846,18	840	39,9	850,11	840	38,7	846,00	845,10	41,4	2284,00	844,20
86	40,9	856,18	850	40,2	860,11	850	38,80	856,00	855,10	40,5	2294,00	854,20
87				39,80	870,11	860						
88				39,30	880,11	870						
89				39,00	890,11	880						
90				39,50	900,11	890						

Receipt	AB			CB			D		
Test number	GRD10PCT			GRD10PCT			GRD10PCT		
Kind of test	90 DROP			90 DROP			90 DROP		
Cycle tyoe	STANDARD			STANDARD			STANDARD		
Operator code	VS14			VS14			VS14		
Customer code	SLR14			SLR14			SLR14		
Date of test	30.04.2014			01.05.2014			02.05.2014		
Specimen time	Kl. 10:13:47			Kl. 11:14:47			Kl. 11:00:26		
Start delay	7			7			7		
1 st pen time	-			-			-		
Specimen type	DRAENB06			DRAENB06			DRAENB06		
Water cont.	12,50			12,60			12,80		
Temperatur	20,00			20,00			20,00		
Humidity	60,00			60,00			60,00		
Fall type	FREE			FREE			FREE		
Time type	FIXED			FIXED			FIXED		
Final setting	NO			NO			NO		
Time	10,00			10,00			10,00		
ID	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]	PEN [mm]	P [m.s]	I [m.s]
1	0,0	24,12	7,00	0,0	8,14	7,00	0,0	9,26	7,00
2	0,0	34,12	17,00	0,0	18,14	17,00	0,0	19,26	17,00
3	0,0	44,12	27,00	0,0	28,14	27,00	0,0	29,26	27,00
4	0,1	54,12	37,00	0,0	38,14	37,00	0,0	39,26	37,00
5	0,0	64,12	47,00	0,0	48,14	47,00	0,0	49,26	47,00
6	0,0	74,12	57,00	0,0	58,14	57,00	0,0	59,26	57,00
7	0,0	84,12	67,00	0,0	68,14	67,00	0,0	69,26	67,00
8	0,1	94,12	77,00	0,0	78,14	77,00	0,0	79,26	77,00
9	0,0	104,12	87,00	0,0	88,14	87,00	0,0	89,26	87,00
10	0,0	114,12	97,00	0,0	98,14	97,00	0,0	99,26	97,00
11	0,1	124,12	107,00	0,0	108,14	107,00	0,0	109,26	107,00
12	0,1	134,12	117,00	0,0	118,14	117,00	0,0	119,26	117,00
13	0,1	144,12	127,00	0,0	128,14	127,00	0,0	129,26	127,00
14	0,0	154,12	137,00	0,0	138,14	137,00	0,0	139,26	137,00
15	0,0	164,12	147,00	0,0	148,14	147,00	0,0	149,26	147,00
16	9,3	174,12	157,00	0,0	158,14	157,00	0,0	159,26	157,00
17	0,0	184,12	167,00	0,0	168,14	167,00	0,0	169,26	167,00
18	12,0	194,12	177,00	12,2	178,14	177,00	0,0	179,26	177,00
19	30,0	204,12	187,00	16,6	188,14	187,00	0,0	189,26	187,00
20	37,8	214,12	197,00	24,0	198,14	197,00	0,0	199,26	197,00
21	36,1	224,12	207,00	31,9	208,14	207,00	0,1	209,26	207,00
22	35,5	234,12	217,00	25,5	218,14	217,00	0,0	219,26	217,00
23	37,2	244,12	227,00	29,6	228,14	227,00	2,4	229,26	227,00
24	37,5	254,12	237,00	33,9	238,14	237,00	20,0	239,26	237,00
25	39,3	264,12	247,00	34,6	248,14	247,00	13,4	249,26	247,00
26	40,1	274,12	257,00	37,3	258,14	257,00	18,3	259,26	257,00
27	40,5	284,12	267,00	38,7	268,14	267,00	24,6	269,26	267,00
28	41,3	294,12	277,00	38,4	278,14	277,00	31,7	279,26	277,00
29	40,8	304,12	287,00	38,1	288,14	287,00	39,2	289,26	287,00
30	42,2	314,12	297,00	38,8	298,14	297,00	39,3	299,26	297,00
31	41,4	324,12	307,00	38,9	308,14	307,00	38,9	309,26	307,00
32	40,9	334,12	317,00	38,9	318,14	317,00	42,0	319,26	317,00
33	41,0	344,12	327,00	38,6	328,14	327,00	39,0	329,26	327,00
34	41,2	354,12	337,00	38,6	338,14	337,00	40,3	339,26	337,00
35	40,9	364,12	347,00	38,7	348,14	347,00	35,4	349,26	347,00
36	40,8	374,12	357,00	38,6	358,14	357,00	41,0	359,26	357,00
37	41,3	384,12	367,00	38,4	368,14	367,00	39,9	369,26	367,00
38	40,9	394,12	377,00	38,5	378,14	377,00	40,2	379,26	377,00
39	41,6	404,12	387,00	38,5	388,14	387,00	41,0	389,26	387,00
40	41,3	414,12	397,00	38,9	398,14	397,00	40,8	399,26	397,00
41	41,3	424,12	407,00	38,6	408,14	407,00	40,5	409,26	407,00
42	41,3	434,12	417,00	38,1	418,14	417,00	40,7	419,26	417,00
43	41,3	444,12	427,00	38,5	428,14	427,00	40,5	429,26	427,00
44	41,4	454,12	437,00	38,8	438,14	437,00	41,4	439,26	437,00
45	41,4	464,12	447,00	38,9	448,14	447,00	41,0	449,26	447,00
46	41,4	474,12	457,00	38,4	458,14	457,00	41,3	459,26	457,00

47	41,6	484,12	467,00	39,0	468,14	467,00	42,1	469,26	467,00
48	41,6	494,12	477,00	39,2	478,14	477,00	42,0	479,26	477,00
49	41,7	504,12	487,00	39,9	488,14	487,00	42,5	489,26	487,00
50	41,7	514,12	497,00	38,7	498,14	497,00	42,3	499,26	497,00
51	41,7	524,12	507,00	40,9	508,14	507,00	42,1	509,26	507,00
52	41,9	534,12	517,00	39,8	518,14	517,00	41,1	519,26	517,00
53	41,8	544,12	527,00	40,2	528,14	527,00	42,4	529,26	527,00
54	41,6	554,12	537,00	40,2	538,14	537,00	42,6	539,26	537,00
55	41,9	564,12	547,00	40,2	548,14	547,00	42,7	549,26	547,00
56	41,9	574,12	557,00	40,3	558,14	557,00	42,5	559,26	557,00
57	41,7	584,12	567,00	40,0	568,14	567,00	42,2	569,26	567,00
58	41,9	594,12	577,00	40,1	578,14	577,00	42,1	579,26	577,00
59	42,5	604,12	587,00	40,2	588,14	587,00	42,2	589,26	587,00
60	41,7	614,12	597,00	39,8	598,14	597,00	41,8	599,26	597,00
61	42,1	624,12	607,00	39,2	608,14	607,00	41,9	609,26	607,00
62	41,7	634,12	617,00	39,2	618,14	617,00	41,9	619,26	617,00
63	42,1	644,12	627,00	39,4	628,14	627,00	41,7	629,26	627,00
64	42,8	654,12	637,00	39,4	638,14	637,00	41,8	639,26	637,00
65	41,7	664,12	647,00	39,3	648,14	647,00	41,4	649,26	647,00
66	41,8	674,12	657,00	39,3	658,14	657,00	41,3	659,26	657,00
67	41,6	684,12	667,00	39,8	668,14	667,00	41,6	669,26	667,00
68	41,7	694,12	677,00	39,3	678,14	677,00	42,3	679,26	677,00
69	41,6	704,12	687,00	39,6	688,14	687,00	41,9	689,26	687,00
70	41,6	714,12	697,00	39,9	698,14	697,00	42,7	699,26	697,00
71	43,1	724,12	707,00	40,5	708,14	707,00	42,5	709,26	707,00
72	41,4	734,12	717,00	39,2	718,14	717,00	42,4	719,26	717,00
73	41,9	744,12	727,00	40,5	728,14	727,00	42,5	729,26	727,00
74	42,2	754,12	737,00	40,5	738,14	737,00	42,6	739,26	737,00
75	42,2	764,12	747,00	40,0	748,14	747,00	42,2	749,26	747,00
76	41,9	774,12	757,00	40,2	758,14	757,00	42,8	759,26	757,00
77	41,9	784,12	767,00	40,1	768,14	767,00	42,1	769,26	767,00
78	42,2	794,12	777,00	39,7	778,14	777,00	42,2	779,26	777,00
79	41,8	804,12	787,00	39,4	788,14	787,00	42,7	789,26	787,00
80	41,1	814,12	797,00	39,2	798,14	797,00	41,7	799,26	797,00
81	41,0	824,12	807,00	39,1	808,14	807,00	41,3	809,26	807,00
82	41,1	834,12	817,00	39,7	818,14	817,00	42,1	819,26	817,00
83	42,7	844,12	827,00	39,5	828,14	827,00	42,5	829,26	827,00
84	41,9	854,12	837,00	39,9	838,14	837,00	42,1	839,26	837,00
85	41,2	864,12	847,00	39,6	848,14	847,00	42,1	849,26	847,00
86	41,9	874,12	857,00	40,1	858,14	857,00	42,3	859,26	857,00
87	42,5	884,12	867,00	39,5	868,14	867,00	41,5	869,26	867,00
88	42,2	894,12	877,00	39,6	878,14	877,00	43,0	879,26	877,00
89	41,1	904,12	887,00	39,5	888,14	887,00	41,1	889,26	887,00
90	40,9	914,12	897,00	39,8	898,14	897,00	42,3	899,26	897,00

Trykstyrke

Receipt Ref													
Prøve	Termin [dage]	Trykareal [mm ²]	Tryk 1 [kN]	Tryk 2 [kN]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Trykstyrke [MPa]
Ref 1.1	1*	1650	34	31	20,6	18,8	20,0	22,0	18,0	-	-	-	20,0
Ref 1.2		1640	35	30	21,3	18,3							
Ref 1.3		1560	30	34	19,2	21,8							
Ref 2.1	2	1604	47	53	29,3	33,0	29,1	32,1	26,2	29,1	32,0	26,2	28,4
Ref 2.2		1596	44	46	27,6	28,8							
Ref 2.3		1604	41	49	25,6	30,5							
Ref 3.1	3**	1600	39	67	24,4	41,9	37,4	41,1	33,7	39,0	42,9	35,1	40,0
Ref 3.2		1600	64	65	40,0	40,6							
Ref 3.3		1600	58	66	36,3	41,3							
Ref 3.1	3	1604	65	65	40,5	40,5	40,7	44,8	36,6	-	-	-	40,7
Ref 3.2		1600	64	64	40,0	40,0							
Ref 3.3		1600	67	66	41,9	41,3							
Ref 4.1	4***	1600	55	60	34,4	37,5	36,5	40,1	32,8	-	-	-	36,5
Ref 4.2		1604	59	62	36,8	38,7							
Ref 4.3		1596	55	59	34,5	37,0							
Ref 4.4	4***	1608	52	56	32,3	34,8	33,1	36,4	29,8	-	-	-	33,1
Ref 4.5		1606	51	54	31,8	33,6							
Ref 4.6		mixer 1	1616	51	56	31,6							
Ref 4.7	4***	1606	67	67	41,7	41,7	41,3	45,4	37,2	-	-	-	41,3
Ref 4.8		1602	66	63	41,2	39,3							
Ref 4.9		mixer 2	1600	68	66	42,5							
Ref 5.1	5****	1608	73	76	45,4	47,3	46,1	50,7	41,4	-	-	-	46,1
Ref 5.2		1588	72	72	45,3	45,3							
Ref 5.3		1592	75	73	47,1	45,9							

*Forsøg udført af gruppe A, Bonnerup, A. H. og Sigvardsen, N. N. i projektklyngen

**Forsøg udført af gruppe C, Mathiasen, R. K. i projektklyngen

***Forsøg udført af gruppe D, Andersen, D. V. og Rasmussen, S. L. i projektklyngen

****Forsøg udført af gruppe E Huntley, A. K. i projektklyngen

Receipt A													
Prøve	Termin [dage]	Trykareal [mm ²]	Tryk 1 [kN]	Tryk 2 [kN]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Trykstyrke [MPa]
E1	1	1640	34	36	20,7	22,0	21,2	23,3	19,1	-	-	-	21,2
E2		1620	32	33	19,8	20,4							
E3		1620	36	36	22,2	22,2							
G1	3	1608	53	56	33,0	34,8	31,8	34,9	28,6	32,8	36,0	29,5	32,8
G2		1604	50	51	31,2	31,8							
G3		1604	43	53	26,8	33,0							
M1	5	1604	63	48	39,3	29,9	37,8	41,6	34,0	37,5	41,2	33,7	37,5
M2		1596	62	67	38,8	42,0							
M3		1604	68	55	42,4	34,3							
Receipt B													
Prøve	Termin [dage]	Trykareal [mm ²]	Tryk 1 [kN]	Tryk 2 [kN]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Trykstyrke [MPa]
F1	1	1600	28	29	17,5	18,1	16,8	18,4	15,1	-	-	-	16,8
F2		1600	27	25	16,9	15,6							
F3		1664	27	27	16,2	16,2							
H1	3	1604	50	45	31,2	28,1	28,0	30,9	25,2	27,4	30,2	24,7	27,4
H2		1616	43	45	26,6	27,8							
H3		1612	43	45	26,7	27,9							
N1	5	1620	51	53	31,5	32,7	32,0	35,2	28,8	-	-	-	32,0
N2		1608	56	51	34,8	31,7							
N3		1604	50	48	31,2	29,9							

Receipt AB													
Prøve	Termin [dage]	Trykareal [mm ²]	Tryk 1 [kN]	Tryk 2 [kN]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Trykstyrke [MPa]
O1	1	1612	36	38	22,3	23,6	23,0	25,3	20,7	23,6	26,0	21,3	23,6
O2		1608	37	32	23,0	19,9							
O3		1604	40	39	24,9	24,3							
U1	3	1600	60	60	37,5	37,5	37,0	40,7	33,3	-	-	-	37,0
U2		1604	59	59	36,8	36,8							
U3		1608	60	58	37,3	36,1							
R1	5	1604	70	72	43,6	44,9	42,7	47,0	38,4	43,6	48,0	39,3	43,6
R2		1604	69	69	43,0	43,0							
R3		1604	70	61	43,6	38,0							
Receipt CB													
Prøve	Termin [dage]	Trykareal [mm ²]	Tryk 1 [kN]	Tryk 2 [kN]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Trykstyrke [MPa]
P1	1	1608	32	32	19,9	19,9	18,5	20,4	16,7	18,6	20,4	16,7	18,6
P2		1596	27	34	16,9	21,3							
P3		1600	28	25	17,5	15,6							
V1	3	1600	49	58	30,6	36,3	32,9	36,2	29,6	33,3	36,6	30,0	33,9
V2		1600	50	57	31,3	35,6							
V3		1600	57	45	35,6	28,1							
S1	5	1604	60	55	37,4	34,3	35,6	39,2	32,1	36,8	40,4	33,1	36,8
S2		1608	59	63	36,7	39,2							
S3		1600	58	48	36,3	30,0							

Receipt D													
Prøve	Termin [dage]	Trykareal [mm ²]	Tryk 1 [kN]	Tryk 2 [kN]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Gns. trykstyrke [MPa]	Øvre grænse 110 %	Nedre grænse 90 %	Trykstyrke [MPa]
Q1	1	1596	28	40	17,5	25,1	26,1	28,7	23,5	27,5	30,2	24,7	27,8
Q2		1604	46	46	28,7	28,7							
Q3		1604	44	47	27,4	29,3							
X1	3	1608	53	51	33,0	31,7	35,8	39,4	32,2	36,6	40,3	33,0	36,6
X2		1616	60	62	37,1	38,4							
X3		1608	58	62	36,1	38,6							
T1	5	1608	70	56	43,5	34,8	42,6	46,9	38,4	44,2	48,6	39,8	44,2
T2		1608	71	73	44,2	45,4							
T3		1604	71	70	44,3	43,6							

De gennemsnitlige trykstyrker er beregnet iht. DS/EN 196-1, hvor ingen trykstyrke må afvige med mere end 10 %.

Trykarealet er produktet af trykklosets bredde (40 mm) og trykprøvens bredde.

Porøsitet og densitet

Prøve	Recept	Termin [døgn]	m0 [kg]	m _{sw} [kg]	m _{ssd} [kg]	V V=(m _{ssd} -m _{sw})/ρ _w [m ³]	V _{på} V=(m _{ssd} -m ₀)/ρ _w [m ³]	på p _{på} =V _{på} /V [%]	ρ _d ρ _d =m ₀ /V [kg/m ³]	ρ _f ρ _f =m ₀ /(V-V _{på}) [kg/m ³]	p _{ssd} p _{ssd} =m _{ssd} /V [kg/m ³]	u _{ssd} u _{ssd} =(m _{ssd} -m ₀)/m ₀ [%]	T vand [°C]	T rum [°C]
Ref 1	Ref*	7	0,5190	0,3181	0,5632	0,000245	0,000044	18,0	2118	2583	2298	8,5	21	22
Ref 2			0,5177	0,3173	0,5643	0,000247	0,000047	18,9	2096	2584	2285	9,0		
Ref 3			0,5268	0,3236	0,5739	0,000250	0,000047	18,8	2105	2593	2293	8,9		
Gennemsnit						0,000247	0,000046	18,6	2106	2587	2292	8,8		
Ref 1	Ref*	28	0,5391	0,3286	0,5846	0,000256	0,000045	17,8	2106	2561	2284	8,4	21	22
Ref 2			0,5413	0,3302	0,5867	0,000257	0,000045	17,7	2110	2564	2287	8,4		
Gennemsnit						0,000256	0,000045	17,7	2108	2562	2285	8,4		
J1	A	7	0,5447	0,3355	0,5928	0,000257	0,000048	18,7	2117	2604	2304	8,8	21	22
J2			0,5481	0,3376	0,5967	0,000259	0,000049	18,8	2115	2603	2303	8,9		
J3			0,5511	0,3392	0,5996	0,000260	0,000049	18,7	2116	2601	2302	8,8		
Gennemsnit						0,000259	0,000048	18,7	2116	2603	2303	8,8		
D1	A	28	0,5378	0,3302	0,5852	0,000255	0,000047	18,6	2109	2590	2295	8,8	21	22
D2			0,5411	0,3323	0,5880	0,000256	0,000047	18,4	2116	2591	2299	8,7		
D3			0,5363	0,3295	0,5828	0,000253	0,000046	18,3	2117	2593	2301	8,7		
Gennemsnit						0,000255	0,000047	18,4	2114	2592	2298	8,7		
L1	B	7	0,5120	0,3155	0,5713	0,000256	0,000059	23,2	2002	2606	2234	11,6	21	22
L2			0,5118	0,3154	0,5712	0,000256	0,000059	23,2	2001	2607	2233	11,6		
L3			0,5227	0,3223	0,5830	0,000261	0,000060	23,2	2005	2609	2236	11,6		
Gennemsnit						0,000257	0,000060	23,2	2003	2607	2235	11,6		
B1	B	28	0,51379	0,31571	0,56868	0,000253	0,000055	21,7	2031	2594	2248	10,7	21	22
B2			0,52078	0,32009	0,57549	0,000255	0,000055	21,4	2039	2595	2253	10,5		
B3			0,51711	0,31817	0,57218	0,000254	0,000055	21,7	2036	2599	2253	10,6		
Gennemsnit						0,000254	0,000055	21,6	2035	2596	2251	10,6		

* Forsøget er udført af gruppe A, Bonnerup, A. H og Sigvardsen N. N. i projektklyngen

Densitet, vand [kg/m³]

1000

Disse forsøg er foretaget af gruppe A, Bonnerup A. H. og Sigvardsen, N. N. i projektklyngen

																					h	b	A	l	T _r	T _v
																					[m]	[m]	[m ²]	[m]	[°C]	[°C]
Ref 7døgns 1																										
t [min]	0	1	2	4	8	16	26	32	45	55	60	90	120	150	165	180					0,161	0,04018	0,0016	0,03915	23,4	22,1
t^(1/2) [s^(1/2)]	0,00	7,75	10,95	15,49	21,91	30,98	39,50	43,82	51,96	57,45	60,00	73,48	84,85	94,87	99,50	103,92										
m_t [kg]	0,518	0,519	0,519	0,519	0,519	0,520	0,520	0,521	0,521	0,521	0,522	0,522	0,523	0,523	0,523	0,523										
Q [kg/m^2]	0,00	0,42	0,58	0,76	1,00	1,32	1,64	1,78	2,08	2,25	2,33	2,77	3,06	3,32	3,44	3,52										
Ref 7døgns 2																										
t [min]	0	1	2	4	8	16	26	32	45	55	60	90	120	150	165	180	210	240	1522		0,161	0,04018	0,0016	0,03902	21,8	21,2
t^(1/2) [s^(1/2)]	0,00	7,75	10,95	15,49	21,91	30,98	39,50	43,82	51,96	57,45	60,00	73,48	84,85	94,87	99,50	103,92	112,25	120,00	302,19							
m_t [kg]	0,520	0,521	0,521	0,522	0,522	0,523	0,523	0,523	0,524	0,524	0,524	0,524	0,525	0,525	0,525	0,526	0,526	0,526	0,530							
Q [kg/m^2]	0,00	1,00	1,03	1,22	1,43	1,70	1,97	2,11	2,35	2,45	2,55	2,90	3,19	3,41	3,55	3,63	3,84	4,01	6,50							
Ref 7 døgns 3																										
t [min]	0	1	2	4	8	16	26	32	45	55	60	90	120	150	165	180	210	240	1522		0,1605	0,04032	0,0016	0,03932	21,8	21,2
t^(1/2) [s^(1/2)]	0,00	7,75	10,95	15,49	21,91	30,98	39,50	43,82	51,96	57,45	60,00	73,48	84,85	94,87	99,50	103,92	112,25	120,00	302,19							
m_t [kg]	0,530	0,531	0,531	0,531	0,531	0,532	0,532	0,532	0,533	0,533	0,533	0,534	0,534	0,534	0,535	0,535	0,535	0,535	0,539							
Q [kg/m^2]	0,00	0,45	0,53	0,68	0,88	1,19	1,43	1,56	1,80	1,95	2,02	2,37	2,66	2,90	3,03	3,12	3,32	3,44	5,99							
Middelværdi	0,00	0,62	0,71	0,89	1,10	1,40	1,68	1,82	2,08	2,22	2,30	2,68	2,97	3,21	3,34	3,42	3,58	3,73	6,24							
Ref 28 døgn																										
t [min]	0	1	2	4	8	16	26	32	45	55	60	90	120	150	165	180	210	240	1530		0,1607	0,0407	0,0016	0,04	21,8	21,2
t^(1/2) [s^(1/2)]	0,00	7,75	10,95	15,49	21,91	30,98	39,50	43,82	51,96	57,45	60,00	73,48	84,85	94,87	99,50	103,92	112,25	120,00	302,99							
m_t [kg]	0,536	0,537	0,537	0,537	0,538	0,538	0,538	0,539	0,539	0,539	0,539	0,540	0,540	0,541	0,541	0,541	0,542	0,542	0,545							
Q [kg/m^2]	0,00	0,44	0,53	0,66	0,85	1,15	1,33	1,48	1,73	1,87	1,94	2,36	2,64	2,84	2,95	3,05	3,26	3,45	5,63							

Beregning af modstandstal og kapillaritetstal

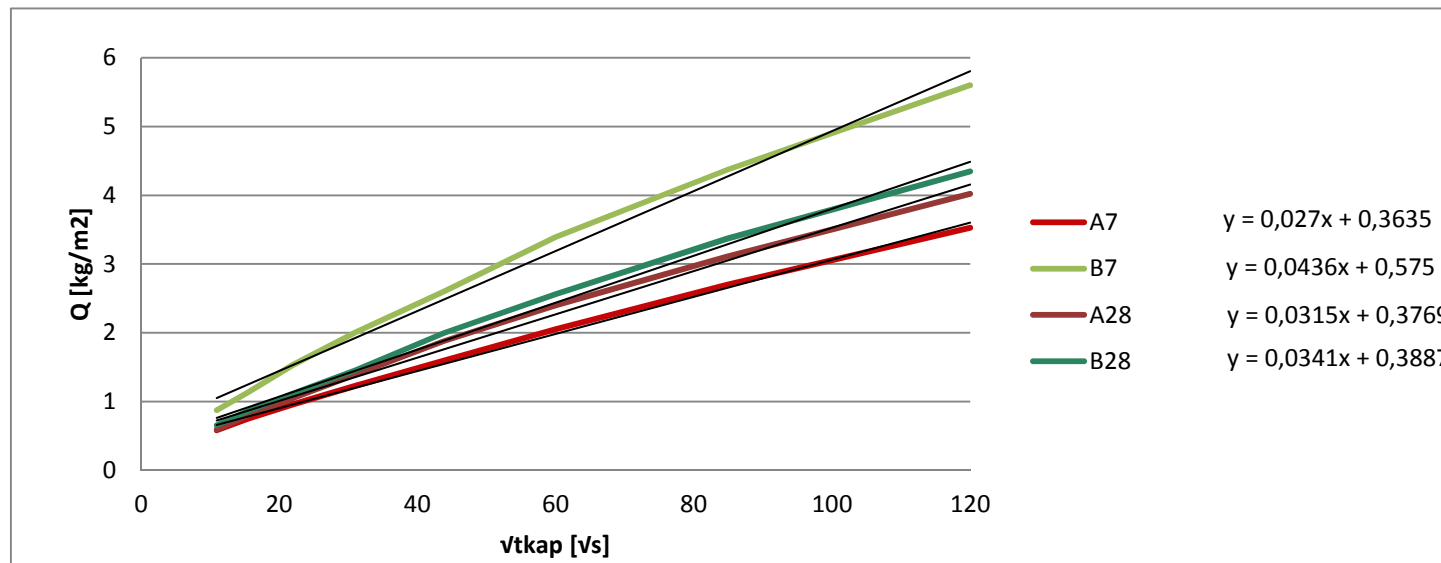
Prøve	h [m]	Tendenslinje		Q _{kap} [kg/m ²]	v _{tkap} [Vs] v _{tkap} =(Q _{kap} -b)/a	t _{kap} [s]	k [kg/(m ² *Vs)] k=Q _{kap} /v _{tkap}	M [s/m ²] M=t _{kap} /h ²	M [10 ⁶ s/m ²]
		a	b						
A7	0,16	0,027	0,3635	6,91	242,46	58788	0,028	2296418	2,30
B7	0,16	0,0436	0,575	9,91	214,11	45841	0,046	1790671	1,79
A28	0,16	0,0315	0,3769	7,97	241,05	58105	0,033	2269746	2,27
B28	0,16	0,0341	0,3887	8,27	231,12	53418	0,036	2086637	2,09

Tendenslinjerne er fundet for 2-240 min fra kapillarsugning. Det er antaget at samtlige kurver flader ud og bliver vandrette efter det sidste målte punkt

Q_{kap} er derved antaget at have den værdi det sidste målte punkt har.

Herefter er tendenslinjen for den første del af kapillarsugningen sat lig med Q_{kap}, og værdierne for v_{tkap} er beregnet.

Tendenslinjerne kan ses i grafen nedenfor som Q_{kap}=a*v_{tkap}+b



Søgeord om sulfat

Følgende ord er forgæves anvendt som søgeord til litteratur om sulfats påvirkning i beton:

- Sulfat angreb
- Sulfat beton
- Sulfate concrete
- Sulfate attack
- Salt I beton
- Afbinding sulfat
- Afbinding salt
- Beton salt
- Saltioner beton
- Salt ions concrete
- Sulfat reaktion beton
- Sulfat I beton
- Flydemål salt
- Sulfate hardening concrete

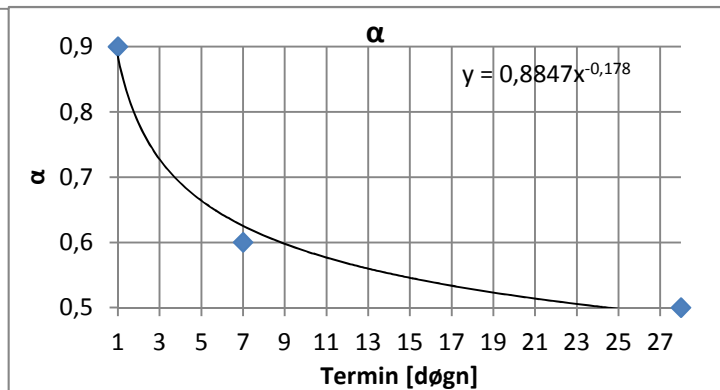
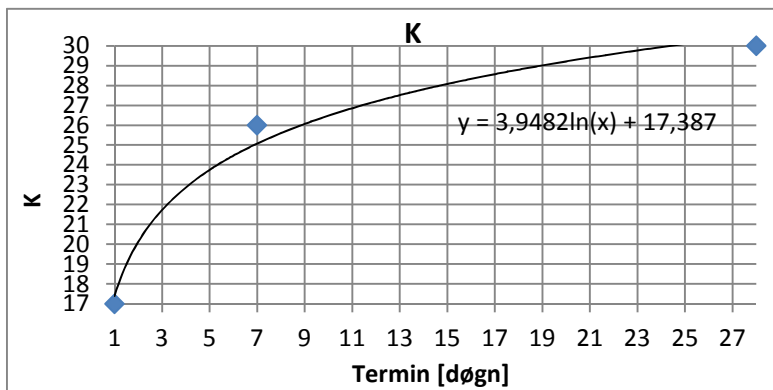
Puzzolanske Effekter

Termin [døgn] K

1	17
7	26
28	30

Termin [døgn] α

1	0,9
7	0,6
28	0,5



*De kendte værdier for K og α er plottet og ud fra det er tendenslinjer fundet og med tilhørende ligning. Ud fra disse ligninger er K og α fundet for terminsdagene 3 og 5.

Recept	Termin [døgn]	Målt trykstyrke [MPa]	K	α	Vand [g]	Cement [g]	Aske [g]	k	fc u puzzolaner
Ref	1	20,0	17,39	0,88	225,0	450,0	0,0	0	19,4
	3	40,7	21,72	0,73	225,0	450,0	0,0	0	27,6
	5	46,1	23,74	0,66	225,0	450,0	0,0	0	31,7
A	1	21,2	17,39	0,88	247,7	427,5	22,5	4,16	14,6
	3	32,8	21,72	0,73	230,0	427,5	22,5	3,87	24,6
	5	37,5	23,74	0,66	235,0	427,5	22,5	4,44	27,4
AB	1	23,6	17,39	0,88	225,0	427,5	22,5	3,42	17,7
	3	37,0	21,72	0,73	225,0	427,5	22,5	5,31	25,5
	5	43,6	23,74	0,66	225,0	427,5	22,5	6,01	29,3
CB	1	18,6	17,39	0,88	227,4	405,0	45,0	0,88	15,6
	3	33,9	21,72	0,73	227,4	405,0	45,0	2,56	22,9
	5	36,8	23,74	0,66	230,3	405,0	45,0	2,33	26,0
D	1	27,8	17,39	0,88	230,0	427,5	26,4	5,44	16,9
	3	36,6	21,72	0,73	230,0	427,5	26,4	4,82	24,6
	5	44,2	23,74	0,66	230,0	427,5	26,4	5,81	28,4

Opnået styrke ift. referencen

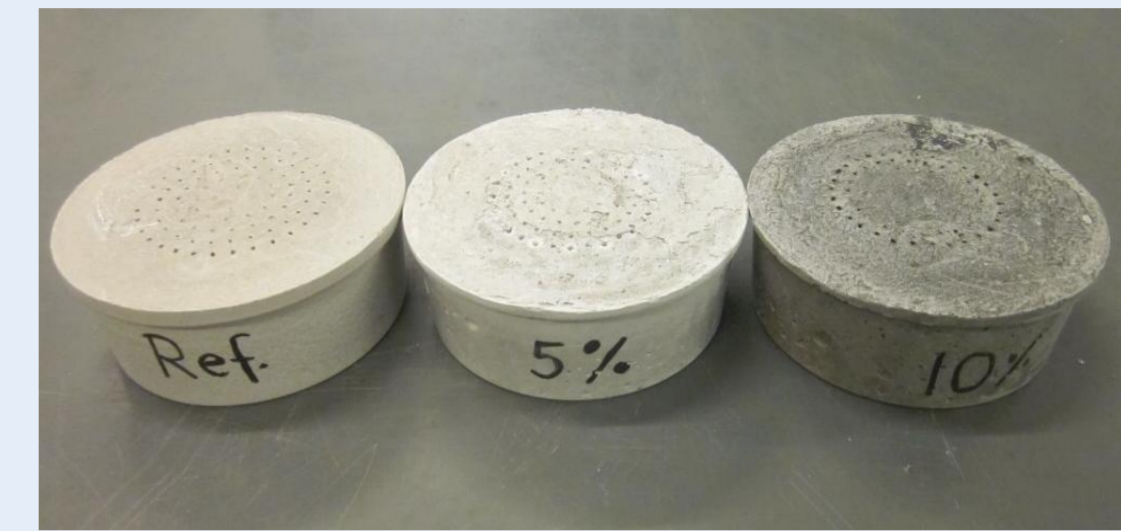
Recept	Termin [døgn]	Målt trykstyrke [MPa]	Opnået styrke [%]
Ref	1	20,0	100,0
	3	40,7	100,0
	5	46,1	100,0
AB	1	23,6	118,0
	3	37,0	90,9
	5	43,6	94,6
CB	1	18,6	93,0
	3	33,9	83,3
	5	36,8	79,8

Indledning

Der er mange omkostninger ifm. afskaffelse af aske og fremstilling af cement. Det undersøges derfor, om asken kan erstatte cement eller sand i mørtel til beton. Der er undersøgt aske fra Amagerværket, som er ringknust.

Der er foretaget en karakteristik af asken, resultaterne sammenholdes med standarden for flyveaske.

Askens påvirkning af mørtlens trykstyrke samt afbindingstid undersøges. Ifm. dette er der støbt mørtel, hvor asken erstatter 5 % af cementen eller 10 % af sandet. Resultaterne sammenlignes med referenceprøver støbt uden aske.



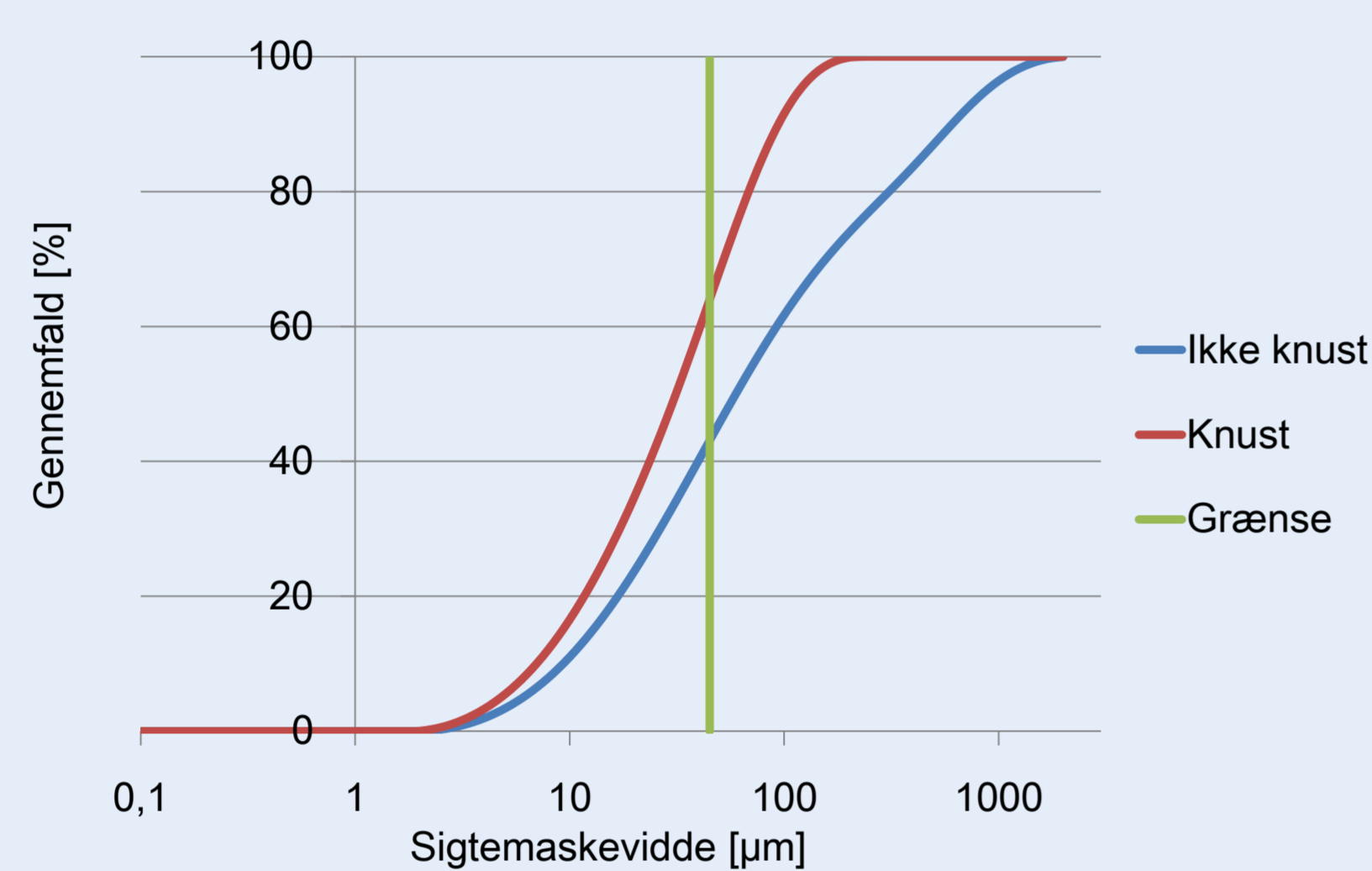
Figur 1: Mørtelprøver til Vicat-forsøg, reference, 5 % erstatning og 10 % erstatning. Den tydelige farveforskel ses.

Karakteristik af asken

Der er målt kornstørrelse på asken direkte fra Amagerværket samt på ringknust aske.

Mængden der ikke falder igennem en maskevidde på 0,045 mm	> 40 %	Kategori N
	> 12 %	Kategori S

Tabel 1: Kornstørrelseskategorier, DS/EN 450-1



Figur 2: Kornkurve

I tabellen nedenfor ses mængden af tungmetaller i asken.

Tungmetaller	Mængde [mg/kg]	Kategori 1	Kategori 2
As	7,45	0-20	> 20
Cd	18,84	0-0,5	> 0,5
Cr	178,45	0-500	> 500
Cu	249,83	0-500	> 500
Ni	0,85	0-30	> 30
Pb	62,64	0-40	> 40
Zn	1799,07	0-500	> 500

Tabel 2: Aktuelle værdier for asken vs. krav for tungmetaller

På den ringknuste aske er der målt indholdet af det organiske materiale, pH-værdi, vandindhold, samt ledningsevne og vandopløselighed.

Glødetab [%]	4,5
pH	13,7
Ledningsevne [mS/cm]	53,8
Vandopløselighed [%]	14,2
Vandindhold [%]	0,21

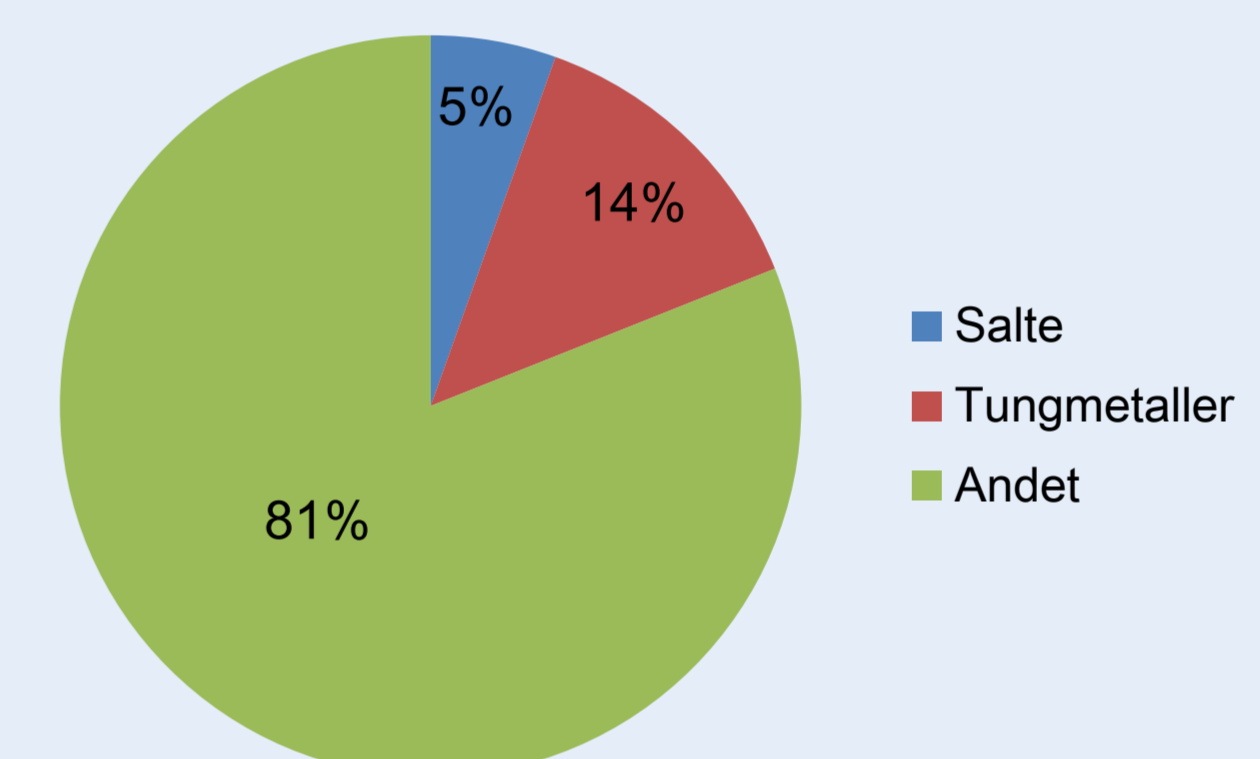
Tabel 3: Værdier for aske

Indholdet af salte i asken, herunder sulfat, nitrat og chlorid, er bestemt. Chloridindholdet sammenlignes med cementindholdet i hhv. 5- og 10 % erstatningen.

Prøve	Andel af chlorid ifh. cement [%]
5 % erstatning	0,04
10 % erstatning	0,20

Tabel 4: Andel af chlorid ifh. cement

For at undgå korrosion sammenholdes chlorid/cement-forholdet med det maksimalt tilladte chloridindhold.



Figur 3: Andel af salte og tungmetaller i aske

Glødetabet er en indikation for hvor meget organisk materiale asken indeholder. If. DS/EN 450-1 tilhører asken kategori A, da glødetabet er under 5 %. Da mørtel tilhører et basisk miljø, har askens pH-værdi på 13,7 ikke en negativ påvirkning. Det lave vandindhold i asken har ikke en betydelig påvirkning på v/c-forholdet.

Tungmetallerne arsen, chrom, kobber og nikkel tilhører kategori 1, som kan anvendes til alt bygge- og anlægsarbejde. Derimod tilhører cadmium, bly og zink kategori 2, som kun kan benyttes på begrænset anvendelsesområder.

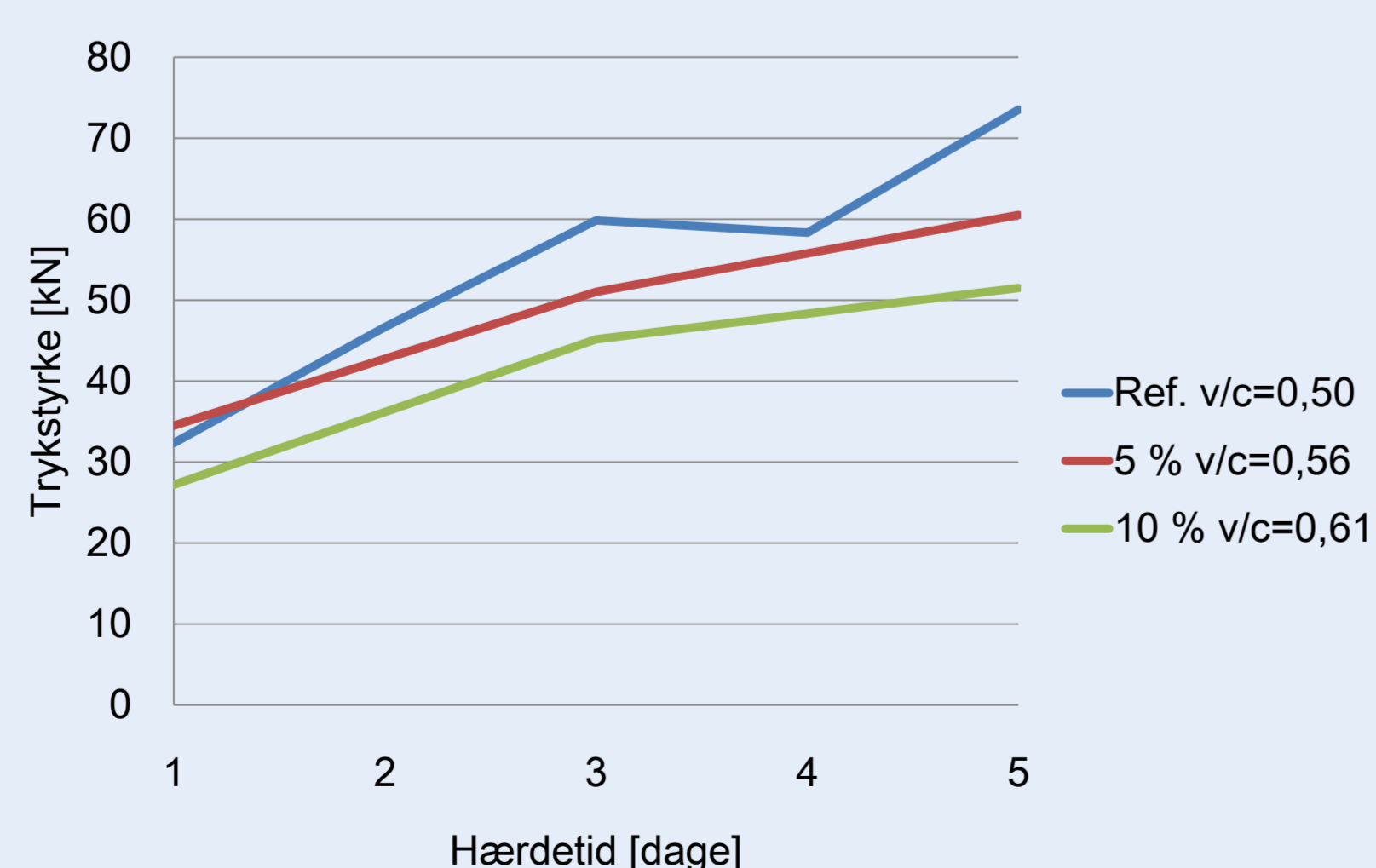
10 % erstatningen overstiger kravet for maksimalt chloridindhold i chloridklasse CL 0,10 ved anvendelse af spændarmering af stål, DS/EN 206-1. De resterende prøver overholder samtlige krav for chloridindhold.

Trykstyrke

Der er målt trykstyrke for referenceprøver hærdet i 1, 2, 3, 4 og 5 døgn. Prøverne der indeholder 5 % og 10 % aske, er hærdet i 1, 3 og 5 døgn inden trykstyrken er målt. Hver prøve indeholder tre prismar, der hver trykkes i begge ender.

Erstatningsprøverne har generelt en lavere trykstyrke end referencen, og forløber parallelt. Det ses at jo højere v/c-forholdet er, des lavere bliver trykstyrken.

Det observeres ved trykprøvning, at der opstår flere tydelige revner ved 5 % erstatningsprøverne end ved 10 % erstatningsprøverne.



Figur 4: Trykstyrke som funktion af hærdetid



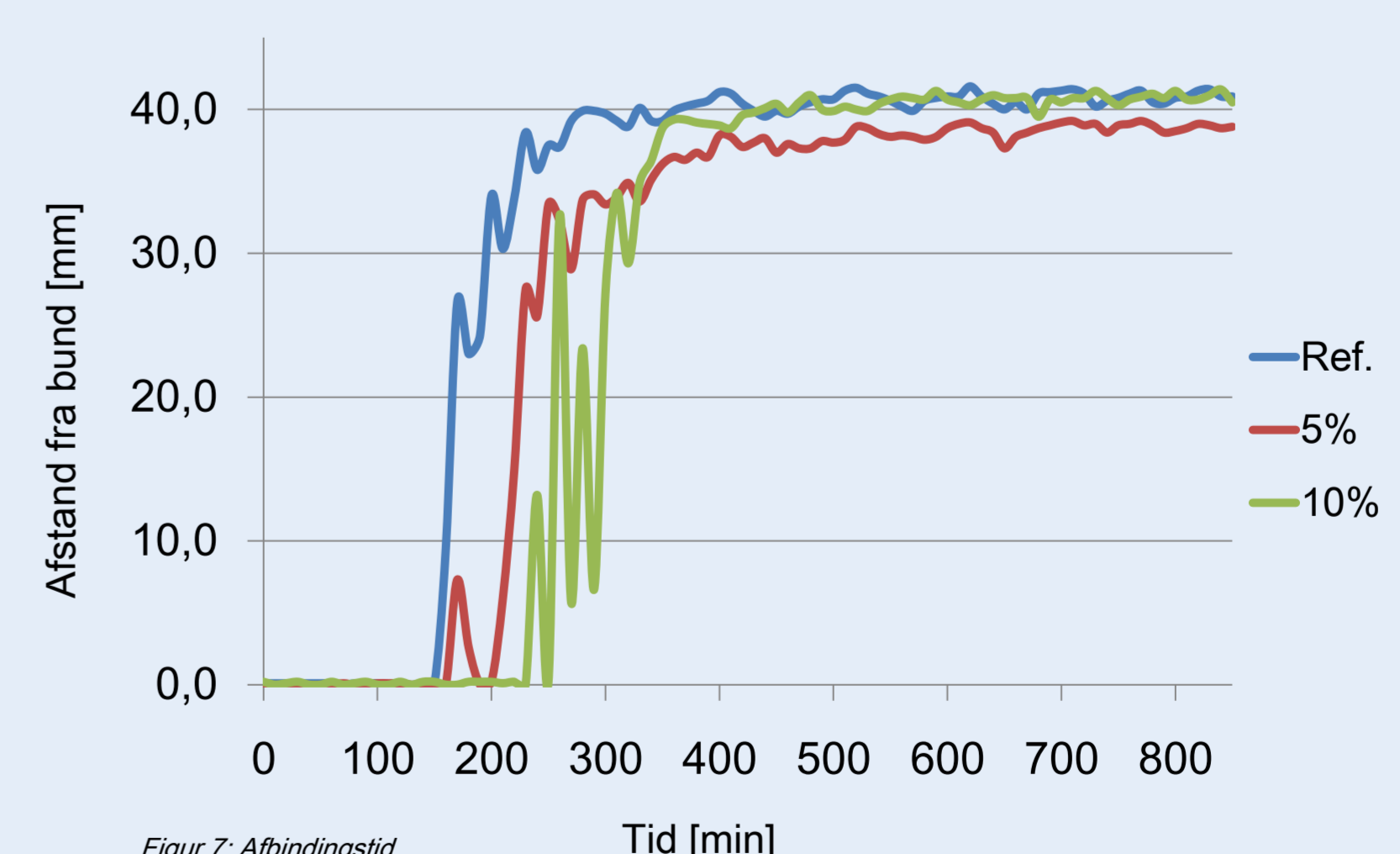
Figur 5: 5 % erstatning, hærdetid: 5 døgn



Figur 6: 10 % erstatning, hærdetid: 5 døgn

Afbindingstid

Afbindingstiden for de tre prøver er målt på Vicat ved nedstikning af nål med et interval på 10 min.



Figur 7: Afbindingstid

For referencen påbegyndes afbindingen efter 170 min., hvorimod 5 % erstatningen begynder at afbinde efter 180 min. og 10 % erstatningen efter 250 min. Dette kan bl.a. skyldes forskellen i v/c-forholdet.

DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Technical University of Denmark

Brovej, Building 118
2800 Kgs. Lyngby
Telephone 45 25 17 00
www.byg.dtu.dk