



LUNDS
UNIVERSITET

Strukturutveckling och fuktbindning i cementbundna material där delar av Portlandcementet ersatts med flygaska

OSKAR LINDEROTH



Projektet

Handledare:

Peter Johansson	Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Universitet
Lars Wadsö	Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Universitet
Katja Fridh	Avd. Byggnadsmaterial, Lunds Universitet

Tidsplan:

2015-10 – 2020-10

Finansiering:

SBUF  **SKANSKA** **CEMENTA**
SVENSKA BYGGBRANSCHENS UTVECKLINGSFOND
The development fund of the Swedish construction industry **HEIDELBERGCEMENT** Group



LUNDS
UNIVERSITET

Mål med projektet

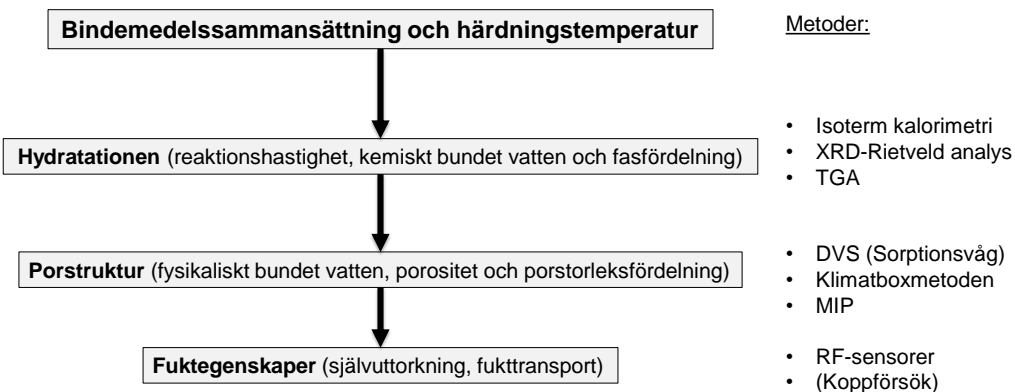
Fördjupa kunskapen om hur porstrukturen utvecklas och hur vatten binds – kemiskt och fysikaliskt – i cementbundna material med flygaskainblandade bindemedel.

Användbarhet:

- Kunna prediktera självuttorkningen hos betongkonstruktioner
- Bedöma risken för fuktberoende nedbrytning
- Kunskap till framtida beständighetsmodeller



Projektstruktur och metoder



Material

- Cementpasta och bruksprov med kvartssand (w/b 0.45)
- Portlandcement (OPC) och OPC med partiell flygaskainblandning (10-70 vikts-%)
 - 15FA, 35FA...
- Förseglad härdning i vattenbad (5, 20, 35 °C)



LUNDS
UNIVERSITET

Flygaska

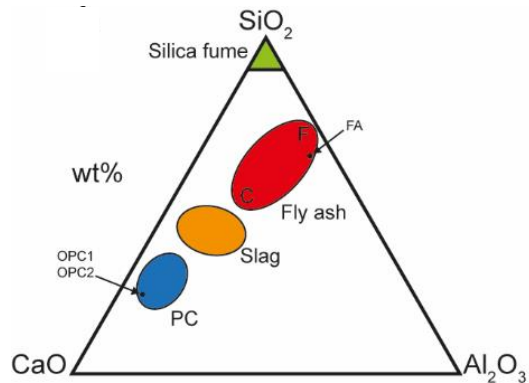
- Restprodukt från annan industri
- Puzzolan: liten förmåga till spontan reaktion med vatten
- Reaktion kräver:
 - Portlandit
 - Högt pH (>13)
- Signifikant reaktion först efter >14 dygn (ex. *Berodier, Scrivener (2015)*)
- Till stor del inert – låg maximal hydratationsgrad



LUNDS
UNIVERSITET

Kemisk sammansättning – OPC, FA

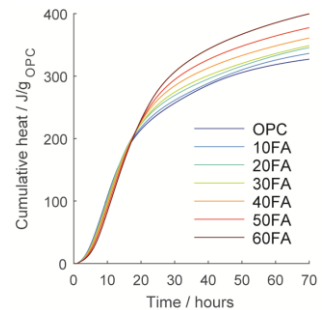
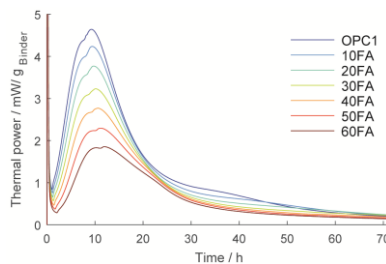
- **Portlandcement (OPC):**
Klinker + vatten₁ → C-S-H_{OPC} + Portlandit_{OPC}
- **Flygaska (FA):**
Portlandit_{OPC} + SiO_{2,FA} + vatten₂ → C-S-H_{FA}
- FA använder huvudsakligen redan bundet vatten
- FA och OPC – reaktionerna separerade från varandra



LUND
UNIVERSITET

Värmeutveckling – isoterm kalorimetri

- Mäter värmen som produceras av reaktionen
- Minskad värmeutveckling de första dygnet
- Fördröjning av reaktionsstarten när Portlandcementet späds ut
- Mer värme (per gram OPC)
 - "Filler effekt"
 - » Mer utrymme
 - » Mer vatten
 - » Större tillgänglig yta



LUND
UNIVERSITET

Vatten i cementbundna material

Blandningsvattnet kommer antingen...

- Bindas kemiskt i de hydratiserade faserna
- Bindas fysikaliskt i porstrukturen
- Avdunsta till omgivande klimat



Vatten i cementbundna material

Blandningsvattnet kommer antingen...

- **Bindas kemiskt i de hydratiserade faserna**
- Bindas fysikaliskt i porstrukturen
- Avdunsta till omgivande klimat



Kemiskt bundet vatten - TGA

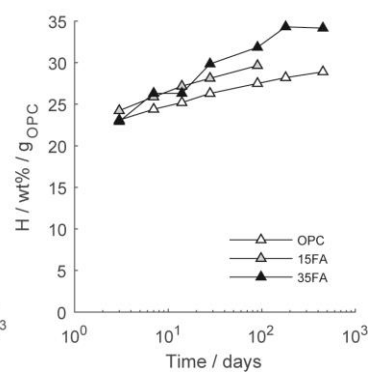
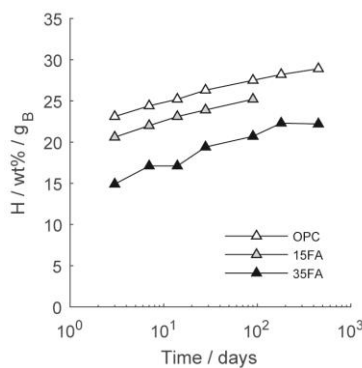
Mätning:

- Härdning vid 20°C
- 3 dygn upp till 15 mån

Resultat:

- Mängden kemiskt bundet vatten minskar med ökad inblandning
- Tillskottet (per gram OPC)
 - Filler (0-14d)
 - Flygaskans reaktion (>14d)

$$H = W_n/B$$

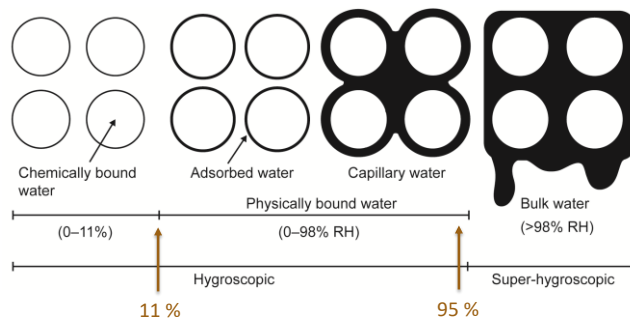


LUNDS
UNIVERSITET

Vatten i cementbundna material

Blandningsvattnet kommer antingen...

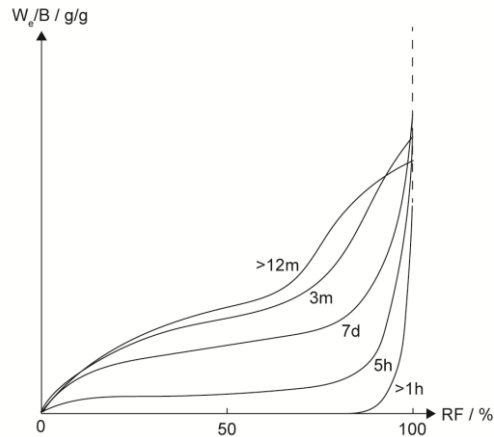
- Bindas kemiskt i de hydratiserade faserna
- **Bindas fysikaliskt i porstrukturen**
- Avdunsta till omgivande klimat



LUNDS
UNIVERSITET

Fysikaliskt bundet vatten - Sorption

- Kan beskrivas med materialets sorptions isoterm (desorption; uttorkning)
- Förångningsbart vatten (W_e) som funktion av relativ fuktighet (RF)
- Absolutnivån – porositeten
- Formen – porstorleksfördelningen



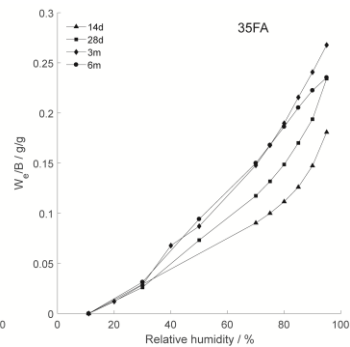
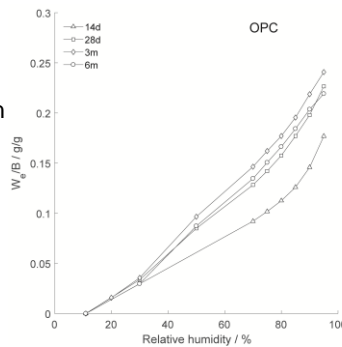
2:a desorption – 14 dygn upp till 6 månader

Mätning:

- 14 dygn – 6 mån härdning vid 20 °C
- Torkade, sedan uppfuktade från 11 % RF
- W_e per gram bindemedel (B)

Resultat:

- 35FA ger en grövre struktur i tidig ålder
- Små skillnader efter 6 mån



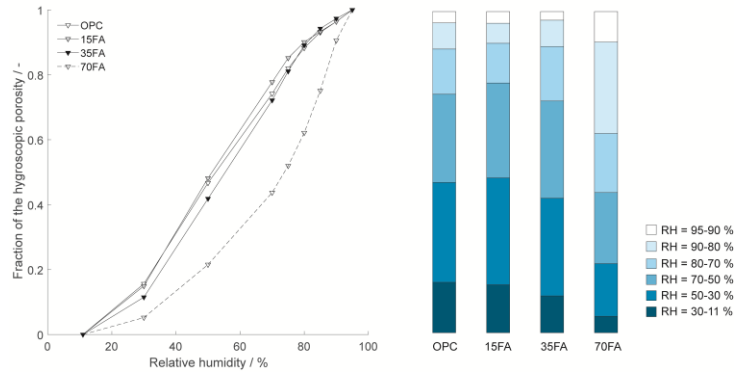
1:a desorption – 15-16 månader

Mätning:

- 15-16 mån härdning vid 20°C
- Uppfuktade från självuttorkning
- Normaliserat till fukthalten vid 95% RH.

Resultat:

- OPC, 15FA, 35FA – likartad porstorleksfördelning
- 70FA – helt annan struktur



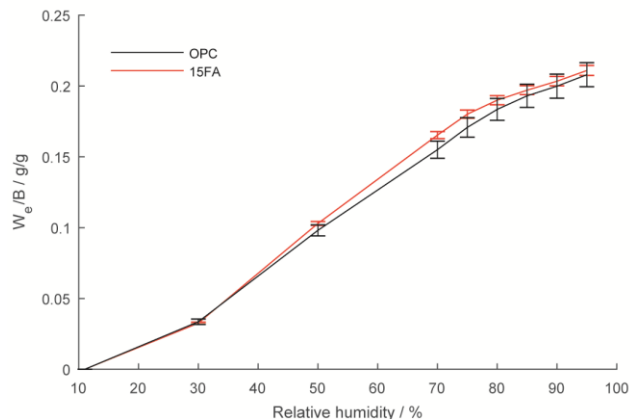
1:a desorption – OPC, 15FA inklusive porositet

Mätning:

- 15-16 mån härdning vid 20°C
- Uppfuktade från självuttorkning
- W_e per gram bindemedel (B)
- 3 replikat

Resultat:

- 15FA mer porös, men skillnaden är inte statistiskt signifikant



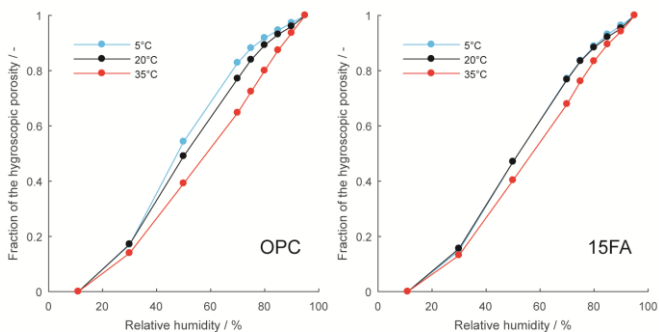
1:a desorption – härdningstemperatur

Mätning:

- 6 mån härdning vid 5, 20 eller 35 °C;
- mätning vid 20 °C
- Normaliserat till W_e (95 % RH)

Resultat:

- Grövre porositet med ökad temperatur
- Effekten ändras med inblandningen
- Korrelation med densitet och hållfasthet och kemiskt bundet vatten



35FA; motsatt effekt jämfört OPC?



LUNDS
UNIVERSITET

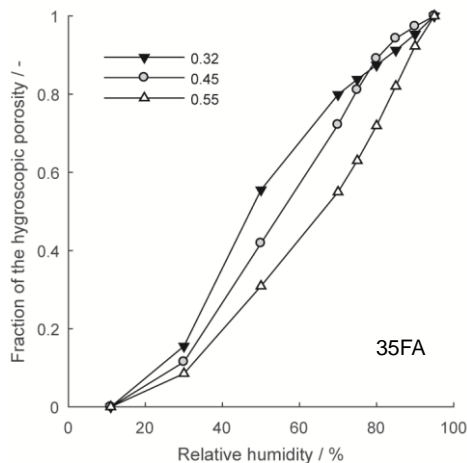
1:a desorption – vbt

Mätning:

- 15-16 mån härdning vid 20 °C
- Normaliserat till W_e (95 % RH)

Resultat:

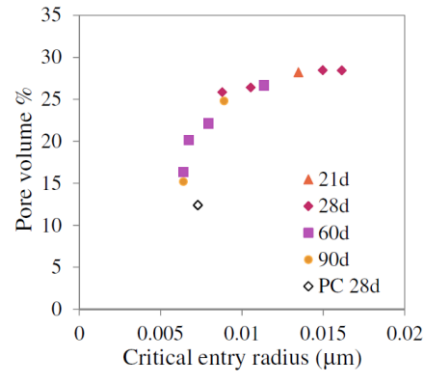
- Vbt har stor effekt på porstrukturen
- Flygaska har begränsad förmåga att fylla ut strukturen



LUNDS
UNIVERSITET

Porstrukturen – ger FA ett tätare material?

- Transportförmågan inte kvantifierbar från enbart sorptionsmätningar
- Berodier, Scrivener (2015):
 - <28 dygn; förfining av poröppningarna
 - >28 dygn; reduktion av porvolymen
- Inblandning; mer poröst material men likvärdig, möjligen något sämre permeabilitet
- Längre uttorkningstid: inte nödvändigtvis ett tätare material



Berodier, Scrivener (2015)



Sammanfattning

Inblandning av flygaska (w/b 0.45, 20°C)

- Lägre hydratationsgrad
- Mindre kemiskt bundet vatten
- Ett mer poröst material
- Sämre självuttorkning
 - Minskning av W_n inte proportionerlig mot ökning av porositet
- Likvärdig eller något lägre permeabilitet (*Berodier, Scrivener (2015)*)

Men, andra faktorer har också stor påverkan på struktur och fuktegenskaper:

- Härdningstemperatur
- Vatten-bindemedelstal

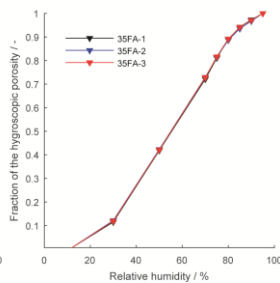
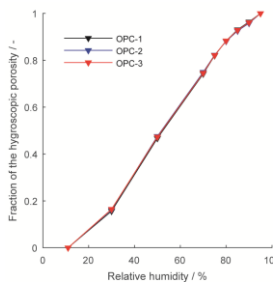


Stort tack!

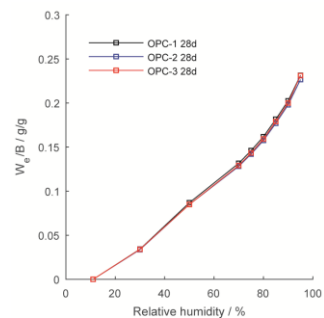


LUNDS
UNIVERSITET

Repeatability of DVS



OPC 28 days 2nd des. (3 reps)



15-16 month old 1st des. (3 replicates, 3 diff DVS-instruments)



Inblandningens betydelse för porstrukturen?

Escalante-García (2003) - flygaskans reaktion använder huvudsakligen det vatten som redan bundits kemiskt under Portlandcementets bildande av Portlandit.

Lothenbach et al. (2011) – Tillsatsmaterial (e.g. flygaska) resulterar i en mindre volym hydrationsprodukter vid fullständig hydrataion än motsvarande Portlandcement.

De Weerd et al (2012) - hållfastheten ökar i system med flygaska efter 28 dygn, trots att mycket lite ytterligare vatten bundits kemiskt.

Berodier, Scrivener (2015) blandcement (Slagg/FA) resulterar i en mindre volym solitt material och kommer därför alltid att vara mer poröst än motsvarande Portlandcement.

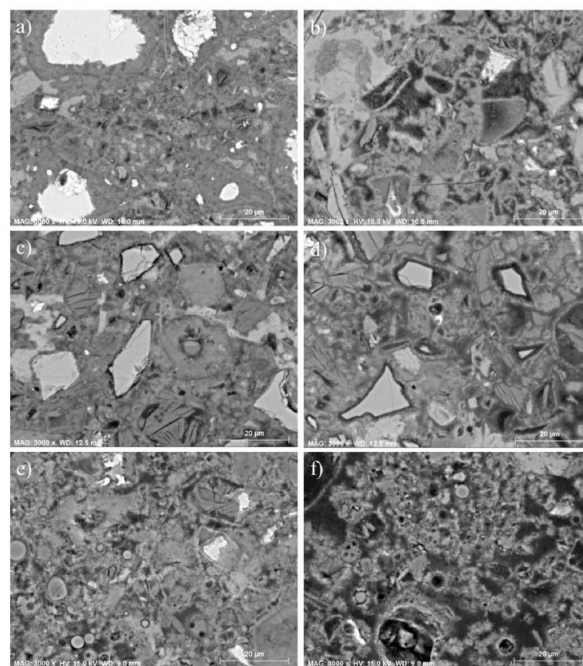


Fig. 18. Microstructure of PC at 28 days: a) w/s 0.4, b) w/s 0.6, 40% Slag at 28 days; c) w/s 0.4, d) w/s 0.6, 40% Fly ash; e) w/s 0.4, f) w/s 0.6.

