

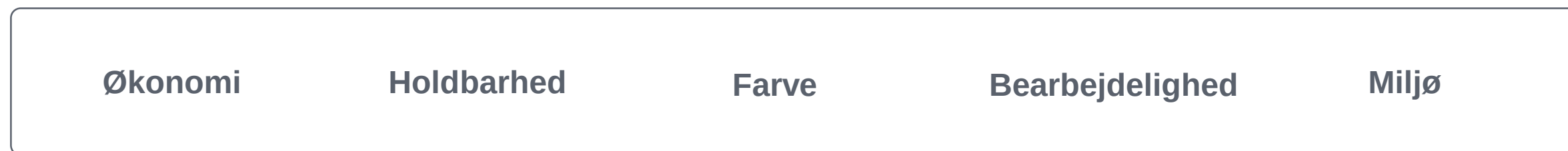


Effekt af mineralske fillermaterialer i beton

Jacob Thrysøe
Teknisk konsulent, M.Sc.

Portland Open 2018

| Mineralske fillermaterialer i beton



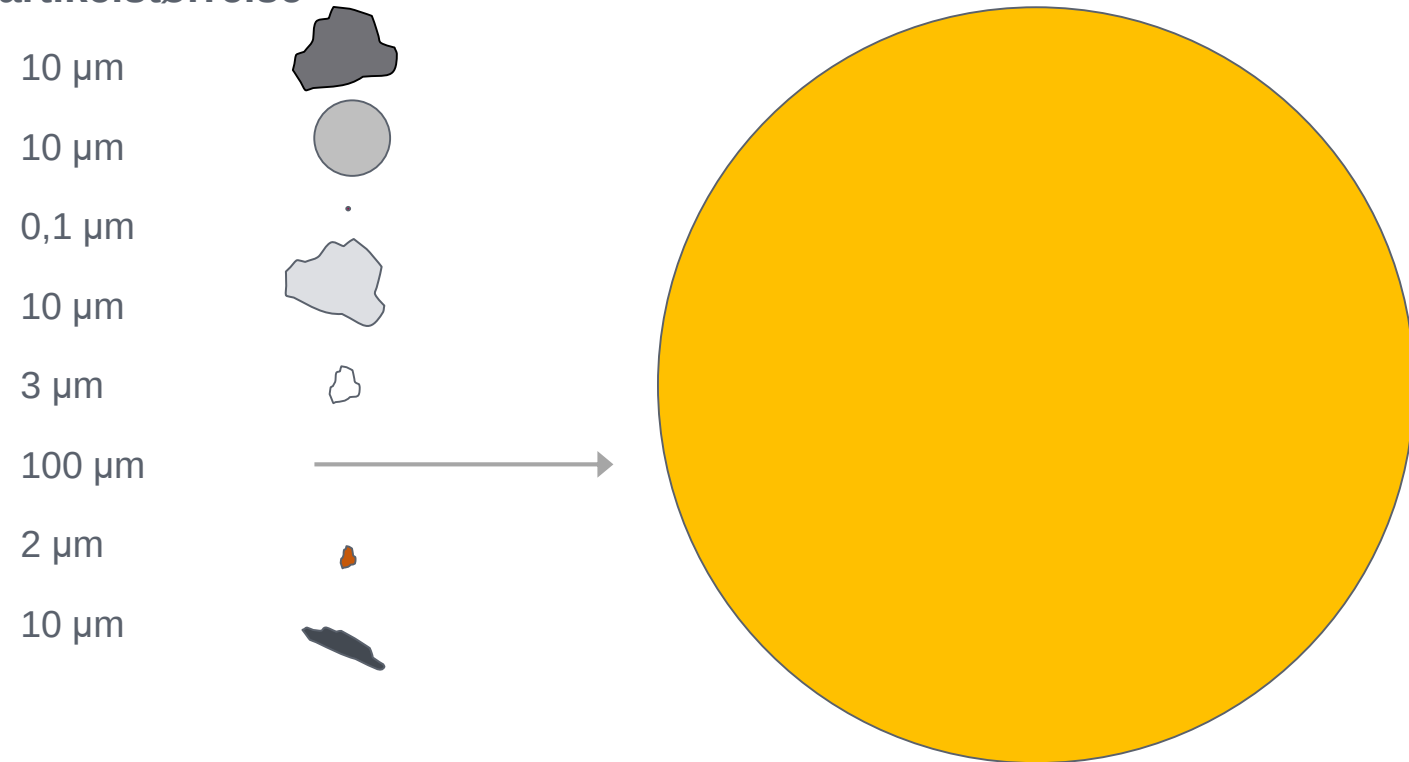
Effekt af mineralske fillermaterialer i beton

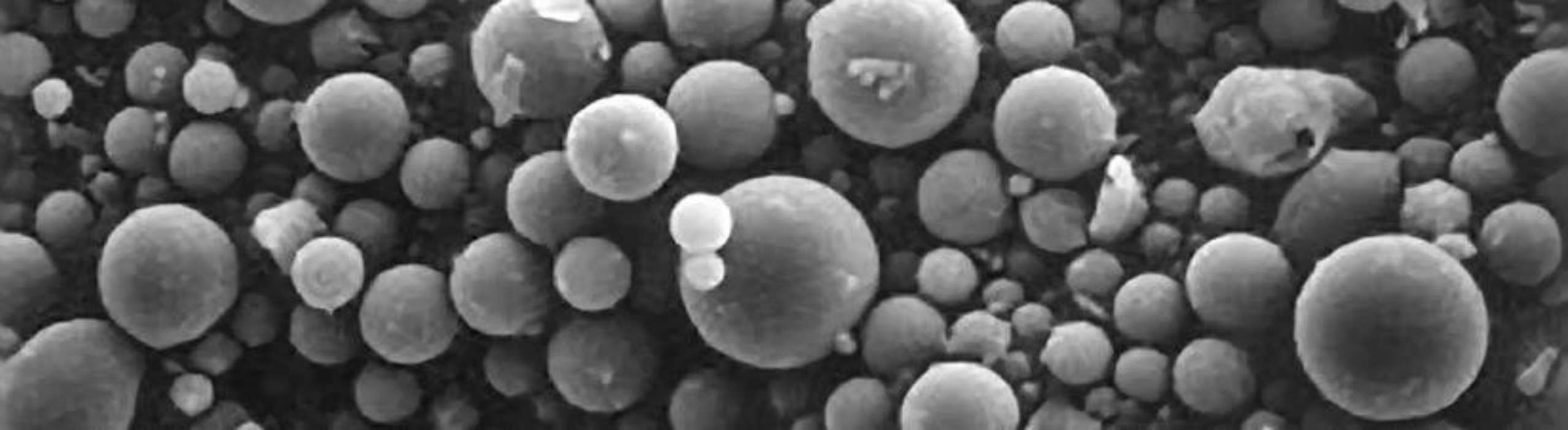
- Betonfillerindhold
 - Partikler under 0,25 mm iht. DS 2426

Materialer

- ☐ Cement
- ☒ Flyveaske
- ☐ Mikrosilica
- ☒ Formalet slagge
- ☒ Kalkfiller
- ☐ Filler i sand
- ☐ Ler i sand
- ☐ Stenmel fra tilslag

Typisk partikelstørrelse

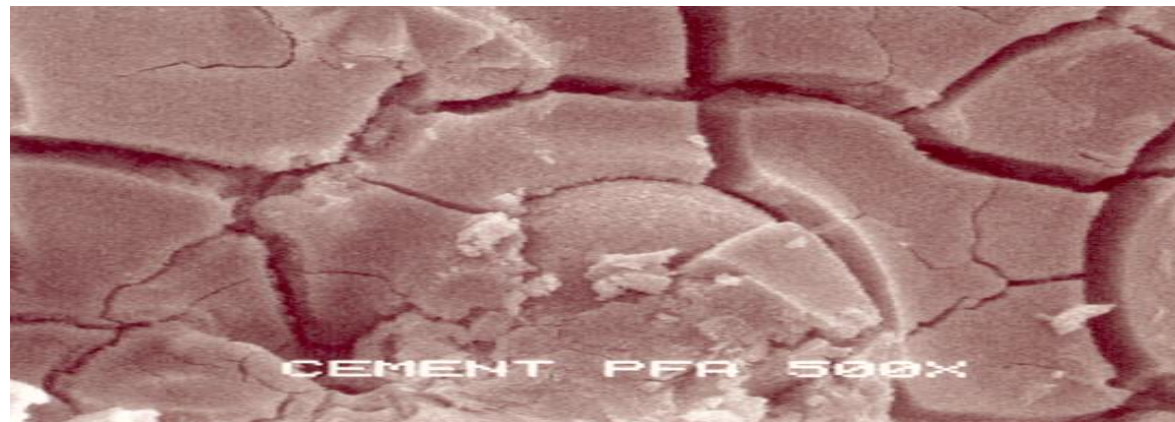




Flyveaske

Hvad er flyveaske?

- Smeltet ikke brændbart materiale/restprodukt fra afbrænding af kul på kraftværker
 - udtages fra elektrostatiske røggasfiltre



Flyveaske

- **Karakteristika:**

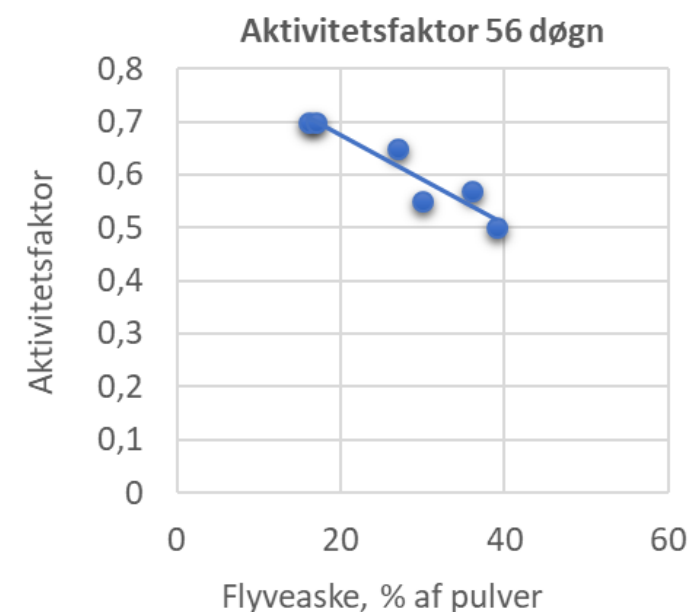
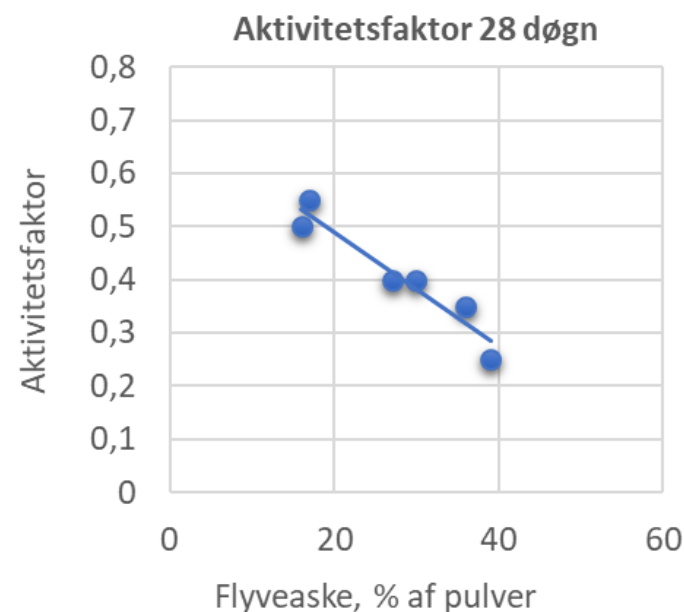
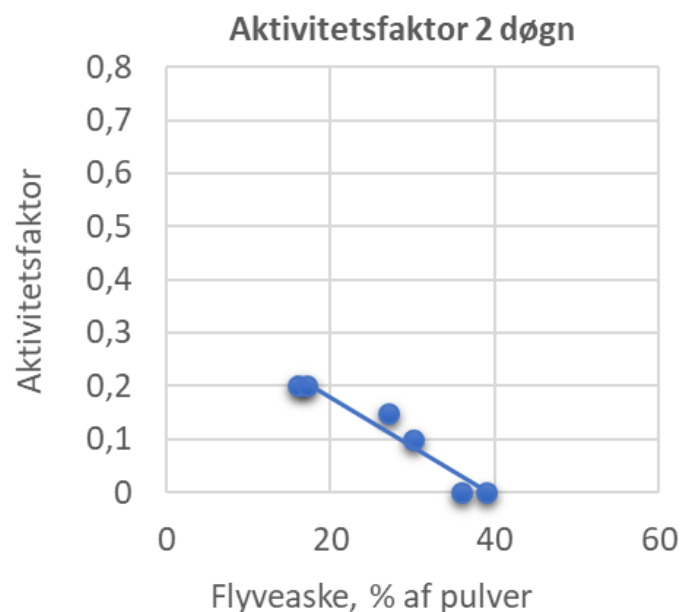
- $\text{SiO}_2 + \text{AlO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$; forskellige kvaliteter efter indhold af restkul
- Flyveaskens indhold af SiO_2 reagerer med Ca(OH)_2 i betonen, og danner calciumsilikathydrater C-S-H-faststof: **Puzzolan reaktion.**

- **DS 2426:**

- Type II tilsætning med en aktivitetsfaktor på 0,5
- Maksimalt flyveaske/cement-forhold: 0,33 (~25% af pulvermængden)

Flyveaske - betons styrke

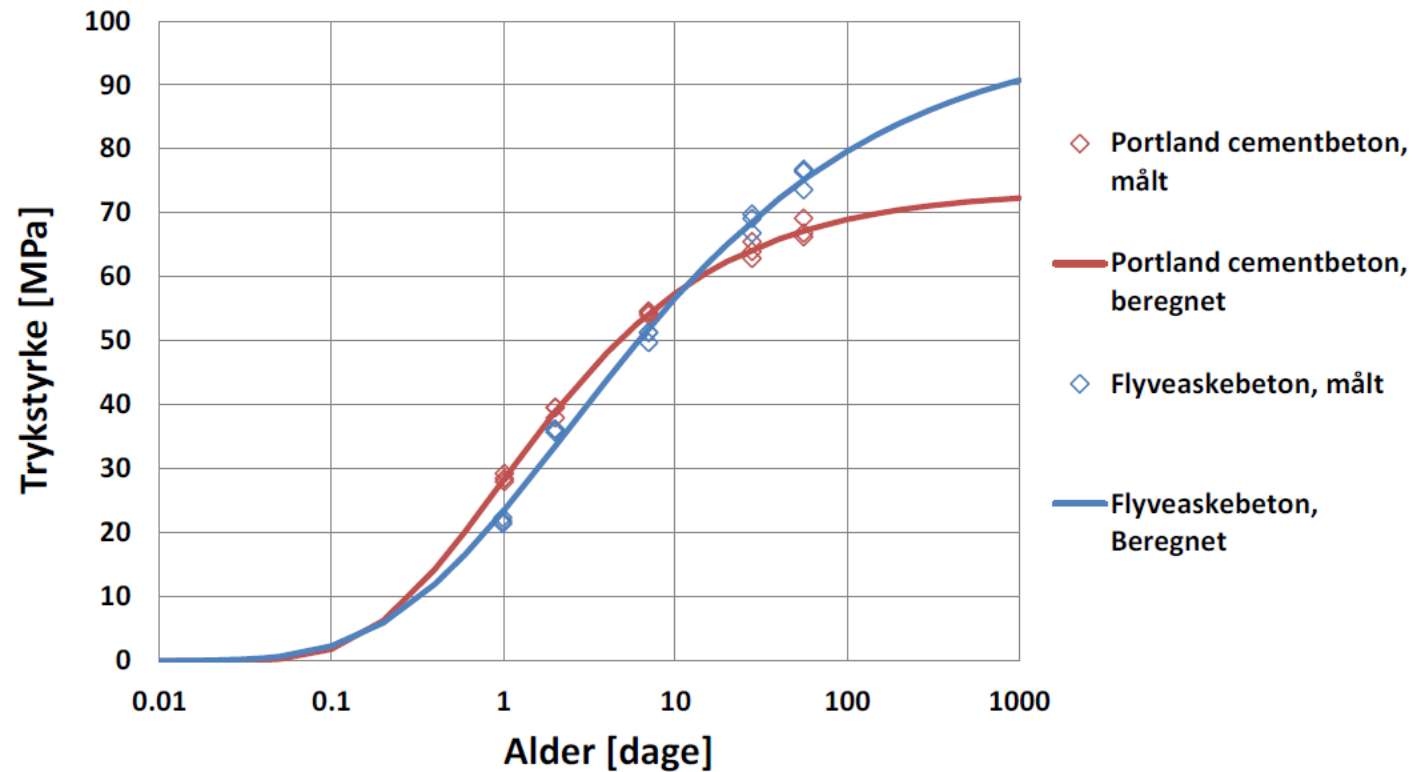
- Undersøgelser af betoner med flyveaske på Aalborg Portland:



- Flyveaskens bidrag til betonstyrken udtrykt ved **aktivitetsfaktoren**:
 - Aktivitetsfaktoren stiger med stigende modenhed
 - Aktivitetsfaktoren aftager med øget indhold af flyveaske ift. cement.

Flyveaske - betons styrke

- Flyveaskebetoner har typisk en langsommere tidlig styrkeudvikling, men kan opnå høje styrker på langt sigt (eksempel fra www.betonhaandbogen.dk):



Flyveaske – betonens holdbarhed

- Flyveaske forbedrer generelt betons holdbarhed:
 - Sænker varmeudviklingen og reducerer risiko for termorevner
 - Reducerer chloridindtrængning – primært pga. øget tæthed men måske også pga. chloridbinding
 - Forbedrer betonens sulfatbestandighed
 - Binder alkalier - mindre risiko for alkalikiselreaktioner



Spørgsmål

- Har I anvendt flyveaske i jeres betonproduktion udelukkende for at forbedre betonens holdbarhed?

1. Ja
2. Nej
3. Ikke relevant for mig



| Flyveaske – andre egenskaber i beton

- **Fordele:**

- Typisk bedre bearbejdelighed af beton – kugleformede partikler
- Virker ofte stabiliserende i fx SCC betoner

- **Ulemper:**

- Ikke forbrændt restkul i flyveasken kan påvirke luftindholdet i betonen – ”æder” luften. Specielt et problem ved variationer
- Langsommere tidlig styrkeudvikling; kan medføre øget risiko for udtørringsskader eller frostskaader.

- **Tilgængelighed:**

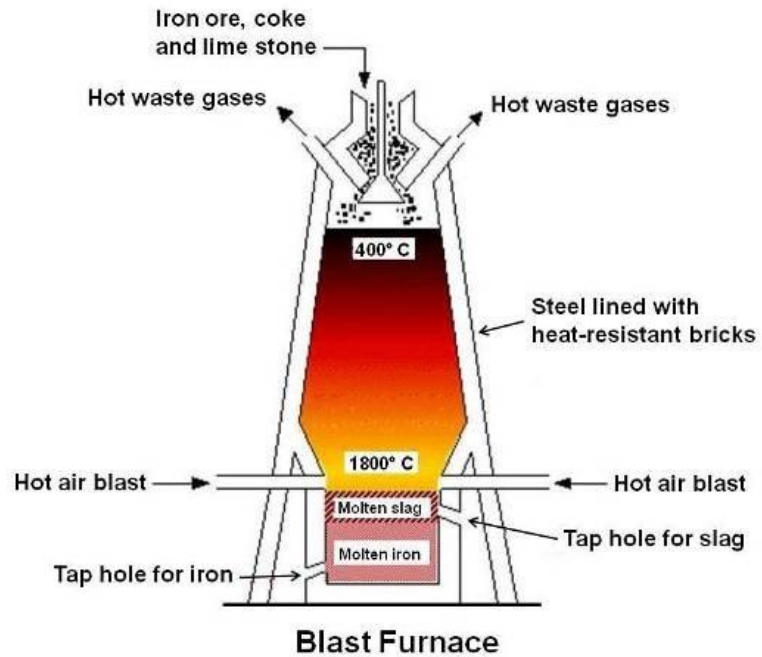
- Reduktion og konvertering af kulfyrede kraftværker i Europa:
- Mangel på flyveaske i dag i flere lande.



Formalet slagge

Formalet højovnslagge

- Stammer fra jernproduktion i højovne
- Egenskaberne er meget afhængige af hvor slagge kommer fra
- Kan luftkøles og vandkøles; kun det vandkølede slagge kan formales og anvendes til cement og beton.



| Formalet slagge

- **Karakteristika:**

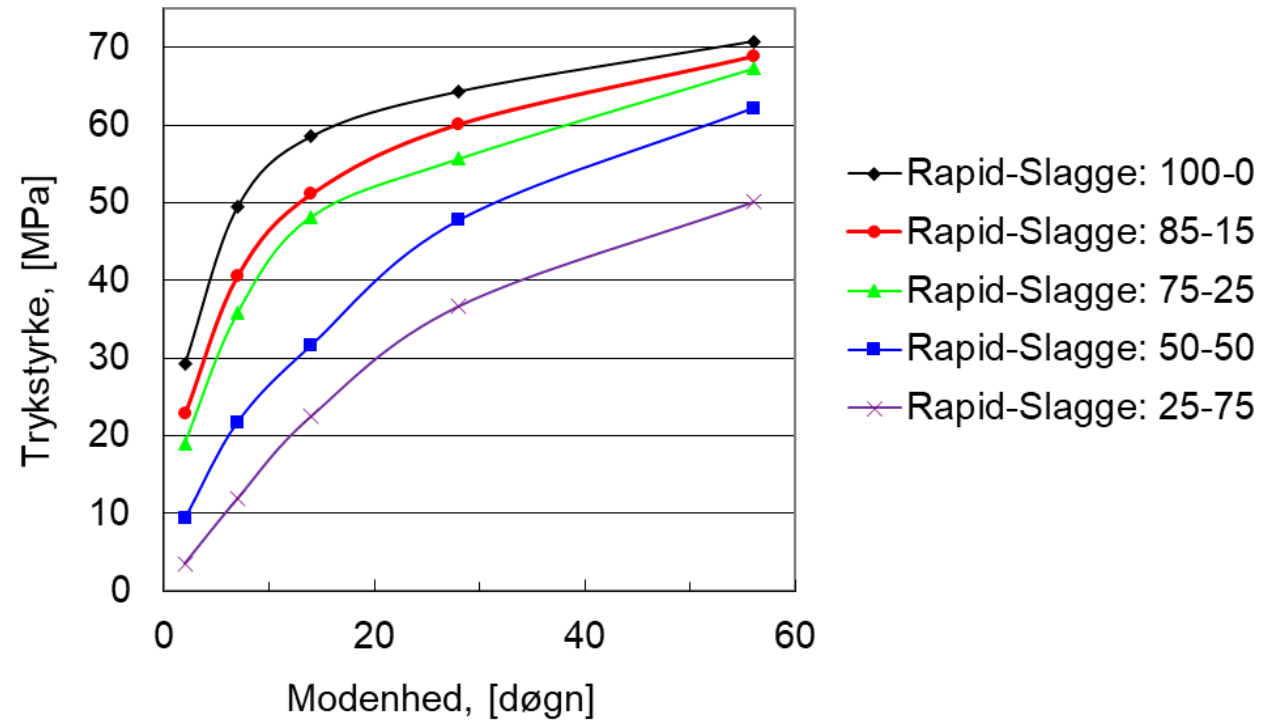
- Typisk: 40% CaO, 36% SiO₂, 11% Al₂O₃ og 9% MgO
- Densitet: ~ 2900 kg/m³
- Delvist hydraulisk reaktiv som cement, men er afhængig af reaktionsprodukter fra cements reaktion med vand.

- **Standarder:**

- Er ikke godkendt til betonkonstruktioner i Danmark jf. DS 2426
- EN 206: Aktivitetsfaktor på 0,6 sammen med CEM I

| Slagge og betons styrke

- Mørtelforsøg med formalet slagge og Rapid cement, Aalborg Portland, 2003:



| Slagge og holdbarhed

- **Fordele:**

- God modstandsevne mod kloridindtrængning
(samme niveau kan opnås med Lavalkali Sulfatbestandig cement og flyveaske)
- Bidrager med sulfatbestandighed i betonen
- God modstandsevne mod alkali-kisel reaktioner.

- **Ulemper:**

- Karbonatisering af beton øges med andelen af slagge
- Betoner med formalet slagge er følsomme overfor frost/tø-påvirkning.

- **Tilgængelighed:**

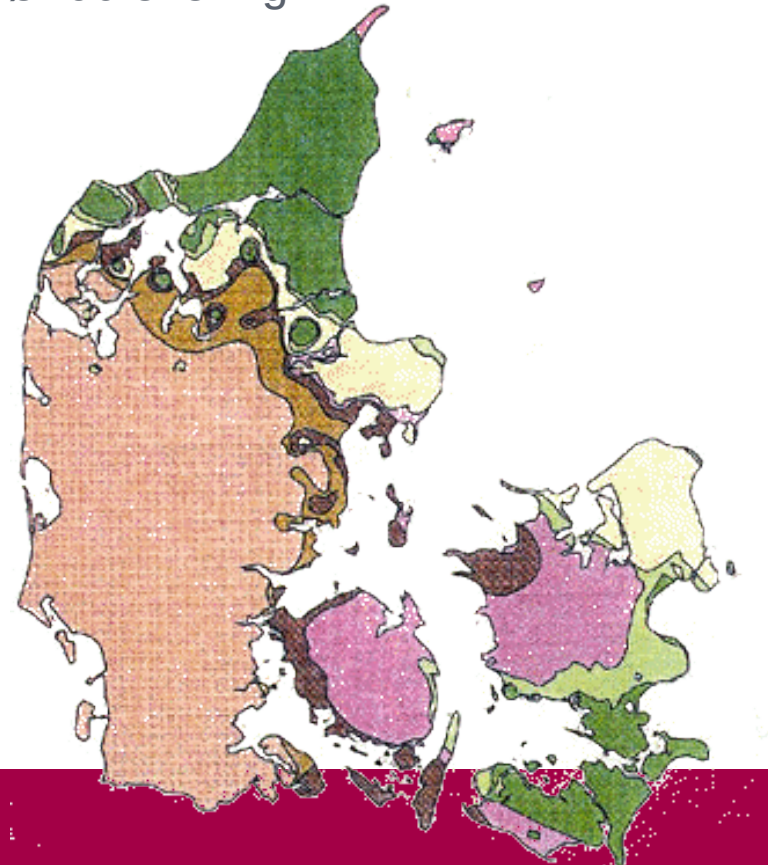
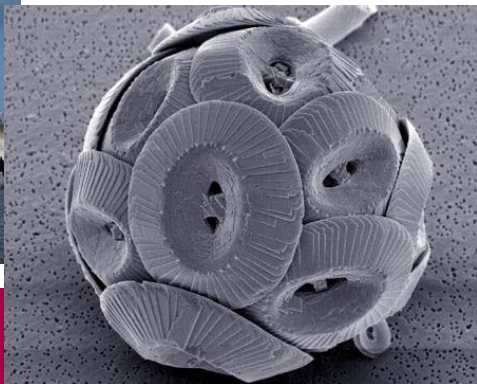
- Slagge er som flyveaske en mangelvare i flere lande i Europa
- Nye produktionsmetoder og øget genbrug af jern og stål mindsker mængden af ny slagge
- Ny usikkerhed omkring CO₂ og slagge: Kommer CO₂ fremover til at ligge på slaggen fremfor på stålet?
- Ca. samme pris som Portland cement.



Kalkfiller

Kalkfiller i Danmark

- Kalk stammer fra skaldyr fra urhavet, der er sedimenteret og findes i store mængder i den danske undergrund – specielt i Nordjylland
- Kemisk sammensætning: $> 95\% \text{CaCO}_3$, mindre mængde ler (men vigtig komponent ift. beton)
- Kalken graves i dag fra åbne brud, og tørres og formales før udlevering.



Spørgsmål

- Anvender I, eller har I forsøgt af anvende, kalkfiller i jeres betonproduktion?

1. Ja
2. Nej
3. Ikke relevant for mig



| Kalkfiller og betons styrke

- **Kalkfillers indvirkning på betonstyrken:**
 - Forsøg viser, at kalkfiller ikke er fuldstændigt **inert** ved brug i beton:
 - Reagerer til en vis grad med cementens hydratiseringsprodukter
 - Accelererer hydratisering af C_3S
 - Har en vis fillereffekt (dvs. pakker sig mellem cementkornene).
- **Effekten af kalkfiller afhænger i stor grad af finheden:**
 - **Fin:** $> 1000 \text{ m}^2/\text{kg}$: En vis effekt
 - **Mellem:** ca. cementfinhed ($\sim 400 \text{ m}^2/\text{kg}$): Meget lille effekt på betonstyrken
 - **Grov:** Grovere end cementfinhed: Inert ift. betonens styrkeudvikling

Kalkfiller og betons styrke

- Effekt af kalkfiller samformalet med en alm Portland cement:

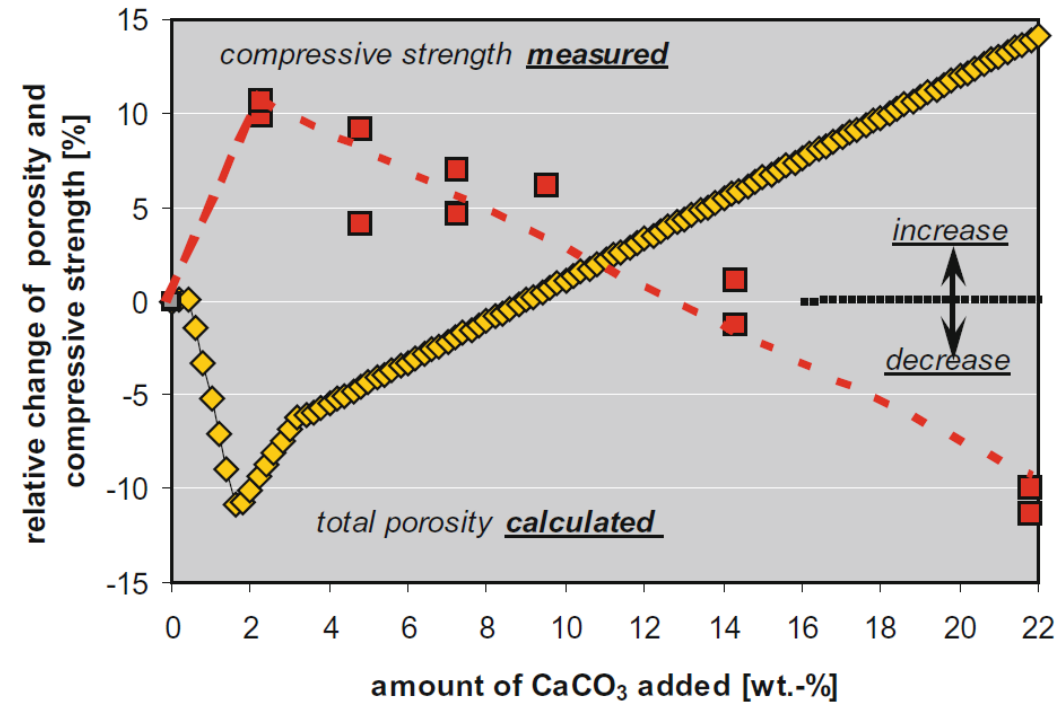


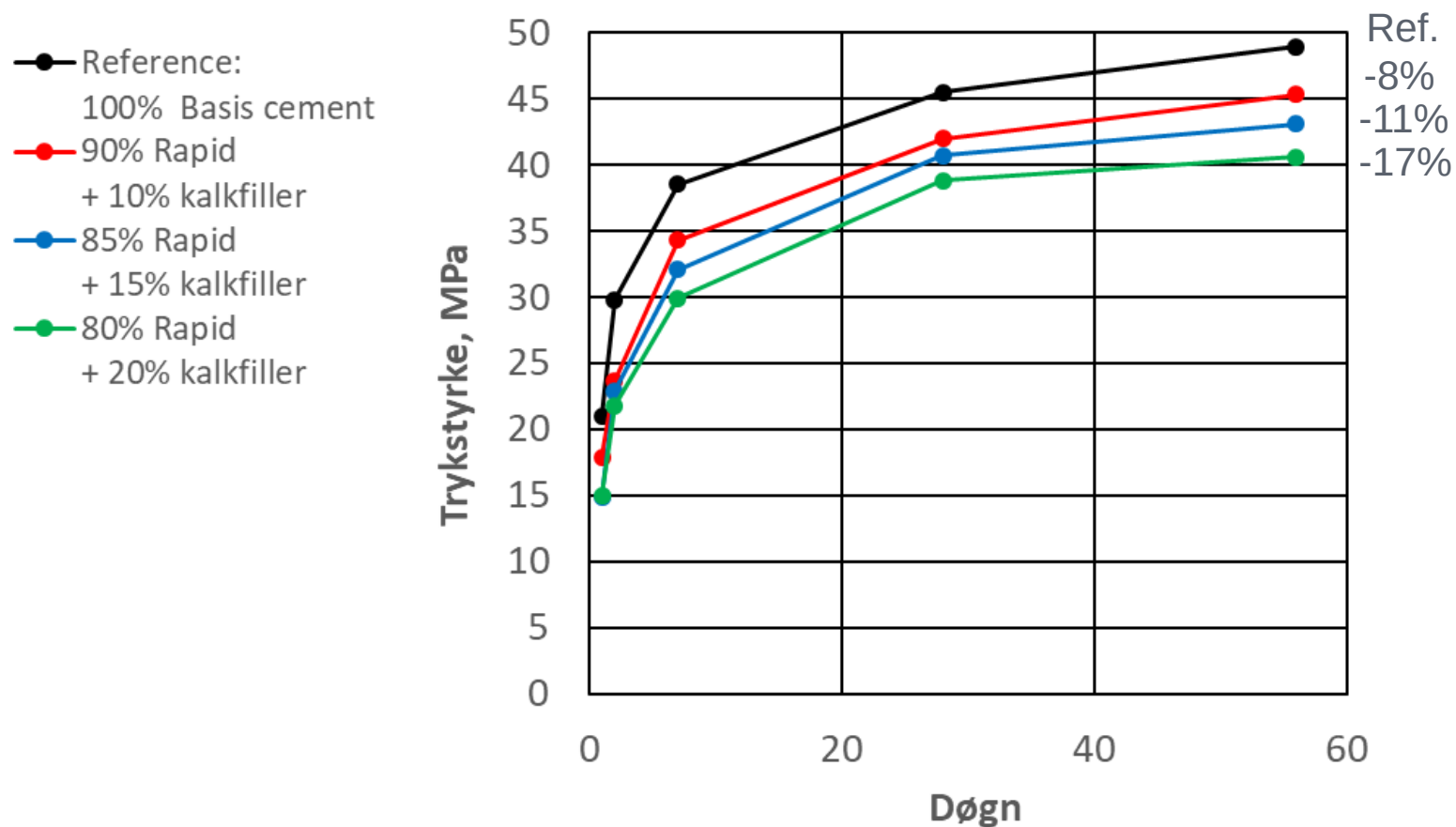
Fig. 4.5 The effect on 28 day cement (EN 196 mortar) strengths with additions of fine limestone (c. 1100 m^2/kg) to mineralised cement (c. 400 m^2/kg) (from Lothenbach et al. 2008)

| Kalkfiller og betons styrke

- Ved iblanding af kalkfiller i beton - Nye muligheder i **DS/EN 206 DK NA:2018**:
 - Kalkfiller er dokumenteret egnet ved tilsætning i beton sammen med CEM I 52,5 N (fx Rapid cement):
Styrkeudvikling, E-modul, svind, karbonatisering, etc.
 - Godkendelsen af kalkfiller til beton i DS/EN 206 DK NA:2018 er baseret på opnåelse af egenskaber tilsvarende en **CEM II/A-LL 42,5 N**, som er godkendt i Danmark, jf. **DS 2426 anneks F** (den mindst tilladte cementstyrke i moderat miljøklasse)
- Man må således i DS/EN 206 DK NA: 2018 erstatte med:
 - **Fin kalkfiller**: Op til 25% af cementmængden, hvis den anvendes sammen med en **CEM I 52,5 N**
 - **Grov kalkfiller**: Op til 10% af cementmængden, hvis den anvendes sammen med en **CEM I 52,5 N**

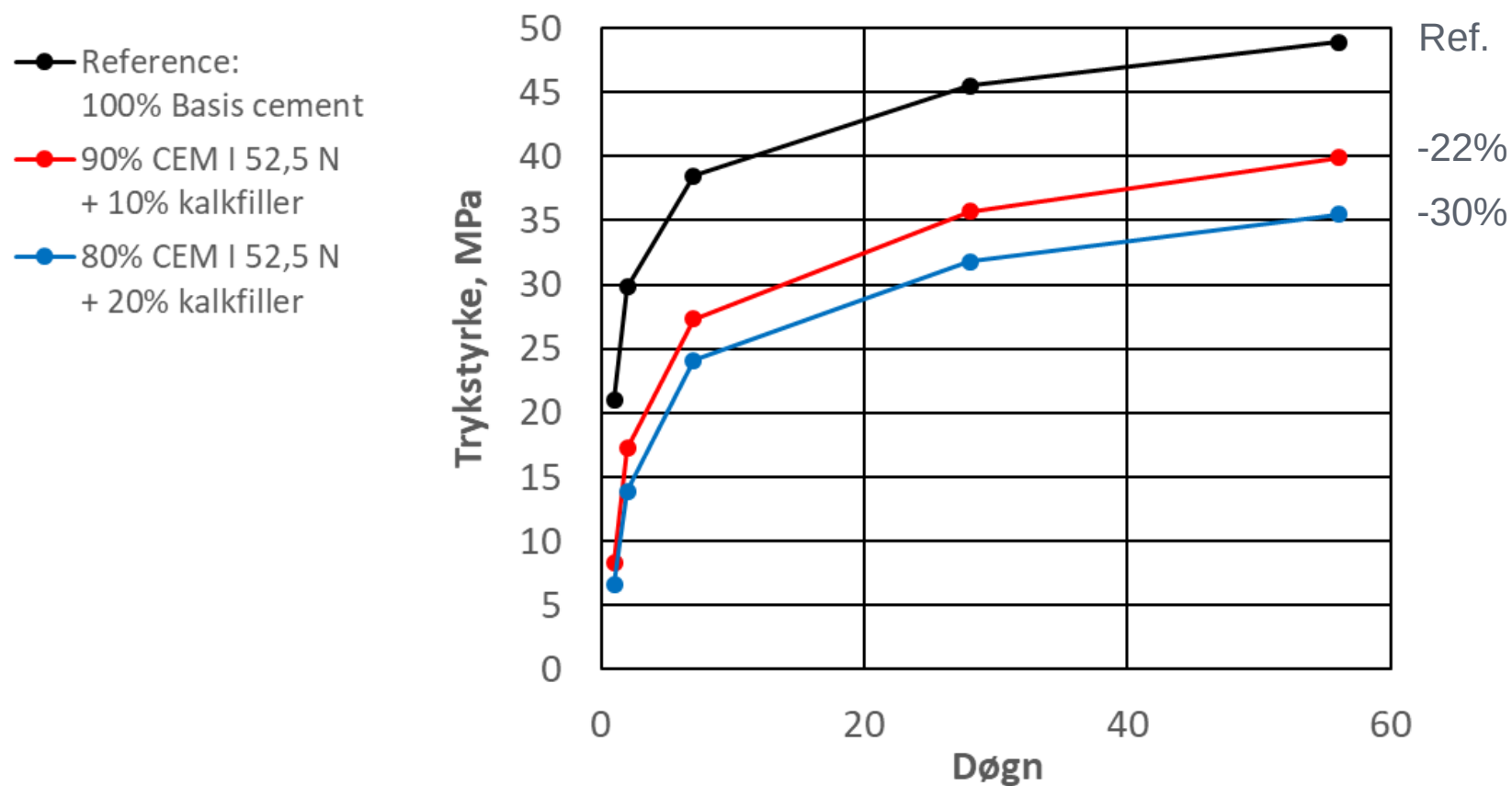
Kalkfiller og betons styrke

- Dokumentation af **fin** kalkfiller i beton ift. samme beton med Basis cement:



Kalkfiller og betons styrke

- Dokumentation af **grov** kalkfiller i beton ift. samme beton med Basis cement:



| Kalkfiller og betons styrke

- Dokumentationsforsøgene viser samlet set, at betonstyrken falder med andelen af kalkfiller
- Forsøgene bekræfter også, at:

Man **IKKE** styrkemæssigt kan lave en Basis cement ved at erstatte 15% af en Rapid cement med kalkfiller!

Styrkeniveauet falder fra styrkeklasse 52,5 R til styrkeklasse 42,5!

| Kalkfiller og holdbarhed

- Der er ingen ændring af betons holdbarhed ved samme styrkeniveau overfor de fleste nedrydningsmekanismer
- Dog er der en teoretisk risiko for skadelige thaumasitreaktioner, hvis der er sulfat til stede.

| Kalkfiller – andre egenskaber

- **Fordele:**

- Stabiliserer betonen
- Visse betoner er nemmere at glitte
- Lyse overflader

- **Ulemper:**

- Øget vandehov
- Håndtering i silo.

- **Tilgængelighed af kalkfiller:**

- **Ad libitum!** Der er kalk til de næste millioner år for den danske betonbranche!



Effekt af mineralske fillermaterialer i beton

Jacob Thrysøe

Teknisk konsulent, M.Sc.