

PORTLAND



Med cirka 120 deltagere var **Portland Open** 2019 velbesøgt og på baggrund af rigtig mange positive tilbagemeldinger igen i år en succes.

Portland Open fandt sted d. 6. juni i de velkendte rammer på Aalborg Portlands sækkelager. Arrangementet med faglige indlæg blev i år krydret med mulighed for rundtur på cementfabrikken eller en rundvisning på Utzon Center på havnen i Aalborg. Der var som sædvanligt tid til networking blandt deltagerne og lidt godt til ganen.

Der var på dette års **Portland Open** opstillet en demonstration af de nyeste skud på stammen af online-versioner af IT-hjælpeværktøjer. Aalborg Portland har indenfor de sidste par år lanceret nye online-versioner af hjælpeværktøjerne AP TempSim og AP Maturity. Seneste tilføjelse til dette produktsortiment er AP Quality, som er kommet til i foråret 2019. **AP Quality** dækker over fire programmer til styring og dokumentation af kvalitetskontrol af hhv. belægningssten, fliser, kantsten og blokke.

Programmet efter rundvisningerne på fabrikken og Utzon Center blev i år indledt af Jesper Sand Damtoft fra Aalborg Portland, der meget apropos det "grønne" resultat af det netop overståede folketingsvalg gav et spændende indblik i det mangeårige arbejde med udvikling og test af fremtidens cement **FUTURECEM** – en cement hvor en del af cementklinkerne erstattes af calcineret ler, hvormed det potentielt bliver muligt at reducere betons CO₂-aftryk med mere end 30 %. Jesper fortalte om de fuldskalaforsøg, der har været foretaget i Grøn Beton II-projektet, hvor **FUTURECEM** har været anvendt i betoner til både gulv- og vægstøbninger samt til dele af et par brostøbninger. Endelig gennemgik Jesper de næste steps, der skal til, inden en kommerciel lancering af **FUTURECEM** bliver virkelighed – herunder bl.a. evalueringen af danske og udenlandske lerforekomster samt accept af **FUTURECEM** i den danske betonstandard DS/EN 206 DK NA.

Det fortsatte program stod på faglige indlæg fra fire medarbejdere ved Aalborg Portland, under følgende emner:

OPEN 2019

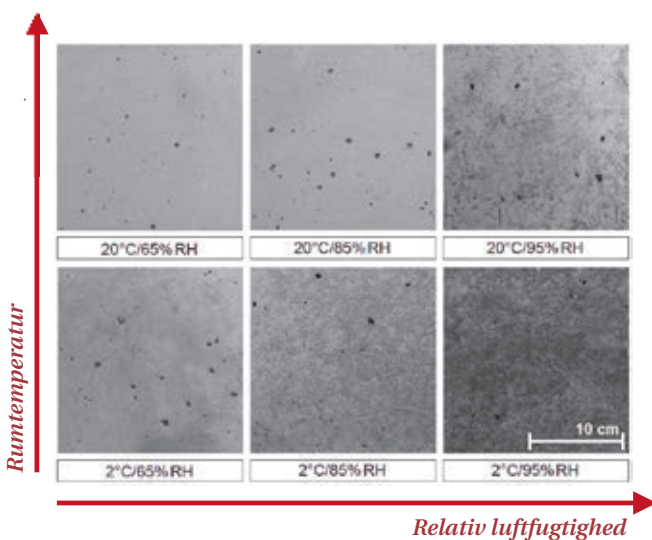


Jesper Sand Damtoft.

FARVEVARIATIONER FOR NYSTØBT BETON, V/ SØREN H. RASMUSSEN

Vi ser det alle fra tid til anden: Lyse og mørke områder i overfladen indenfor den samme betonstøbning eller to tilstødende betonelementer i et byggeri med hhv. mørk og lys overflade, brunlige misfarvninger i overfladen og andre former for farvevariationer af en nyligt støbt beton. Hvad er årsagen til farvevariationerne, og hvad kan man gøre for at reducere eller helt undgå dem?

Lyse og mørke områder i betonoverflader skyldes forskelle i porøsitet og mængden af kapillar-bundet vand i overfladen. Temperaturen og luftfugtigheden i overfladen under hærdningen er afgørende for graden af porøsitet i overfladen, se figur 1.



Figur 1. Temperatur og luftfugtighed i overfladen er afgørende for porøsiteten [5].

Lyse og mørke områder i overfladen kan opstå ved:

- Brug af formmaterialer med forskellig sugeevne
- Mindre egnet type af formolie
- Variationer i påført mængde af formolie
- Variationer i tid fra støbning til afformning – f.eks. afformning efter ét døgn kontra afformning efter tre døgn (svarende til en weekend mellem støbning og afformning)
- Forskelle i betonens udstøbningstemperatur
- Forskelle i omgivelsernes temperatur og luftfugtighed de første døgn efter afformning

Brunlige misfarvninger i overfladen skyldes typisk udfældninger indeholdende jern i form af $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Brunlige misfarvninger afhænger af mængden af opløst jern i porevæsken, som overvejende er påvirket af væskens pH-værdi og indholdet af såkaldte "ligander" (kompleksbindende stoffer). Ligander kan bl.a. findes i:

- Retarderende og accelererende tilsætningsstoffer til beton
- Lak og lim anvendt på formmaterialer
- Rengøringsmidler til forme
- Formolier

Andre fysiske forandringer i overfladen, som kan give anledning til farvevariationer, er forurening eller separation og inhomogenitet i betonen som følge af f.eks. overvibrering eller ustabil selvkompakterende beton.

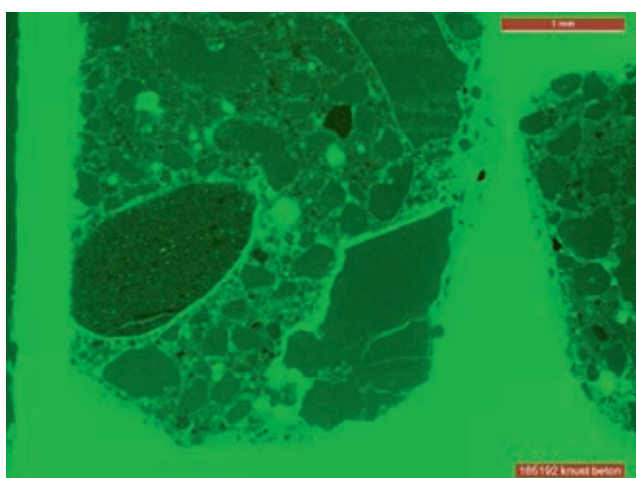
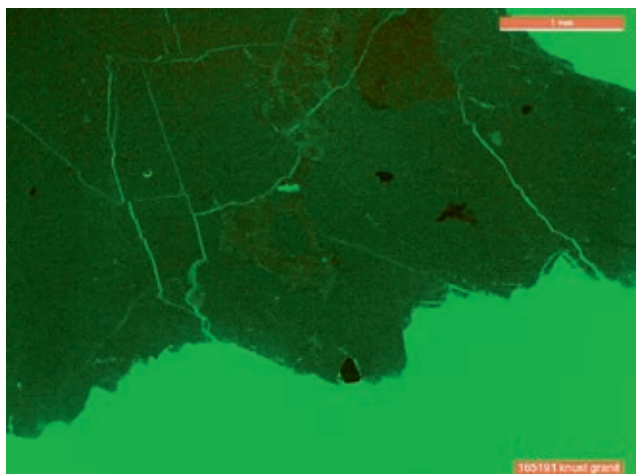
ABSORPTION I TILSLAG TIL BETON, V/LASSE FRØLICH

Absorption i tilslag varierer både afhængigt af kornstørrelse og kvalitet af tilslaget. Stenfraktionerne absorberer således mere vand end sandfraktionerne, og tilslag til klasse P absorberer mere vand end tilslag til klasse E. Typisk spænder absorption i sand fra 0,6% i klasse P til 0,3% i klasse E, og for stenfraktionerne fra 3% i klasse P til 0,2% i klasse E. Men hvordan forholder det sig med knust beton anvendt som tilslag?

I forbindelse med projekter vedr. genanvendelse af knust beton som tilslag [1][2], og i litteraturen, findes målinger af absorptionen af **knust beton**, som viser, at den typiske værdi for sandfraktionen 0-4 mm ligger omkring 10% og for stenfraktionen 8-16 mm omkring 5%.

I knust beton som tilslag består "porerne" hovedsageligt af porøs pasta, hvorimod porerne i normale stenmaterialer består af revner i mineralerne, se figur 2.

I indlægget gøres der rede for, at måling af absorptionen iht. DS/EN 1097-6 kan føre til for høje værdier for både



Figur 2 – Porer i hhv. granitsten (øverst) og knust beton (nederst).

sand- og stenfraktionen af knust beton. Med udgangspunkt i Powers model for stofomsætning i forbindelse med cements hydratisering er der beregnet og vurderet absorptionspotentialer for forskellige v/c-tal af knust beton. Sammenlignet med målte absorptionsværdier i litteraturen ligger de beregnede og vurderede værdier væsentlig lavere.

Vigtigheden af at have styr på absorptionen i det knuste beton-tilslag blev vist ved:

- Eksempler på problemer med frostbestandighed
- Eksempler på problemer med styrkevariationer
- Eksempler på mængden af frit vand i beton, hvis absorptionen måles dobbelt så høj som reel værdi:
 - o 50 l ekstra frit vand ved 100 % erstatning af sand og sten
 - o Potentielt over 10 l ekstra frit vand (ændret v/c-tal ~ 0,03) ved erstatning på 10/20% iht. DS/EN 206

En **alternativ metode** til måling af absorption i knust beton, desorptionsisotermmetoden, er vist i [3]. Metoden giver samme absorption som DS/EN 1097-6 for almindeligt tilslag, mens den for knust beton giver væsentligt lavere absorpti-

onsværdier. Metoden er måske således bedre egnet til måling på knust beton?

SVIND I BETONGULVE, V/JACOB THRYSSØE

Problemer med revner i betongulve er noget vi til stadighed oplever, og der er tilsyneladende ingen nedadgående udvikling i antallet af denne type skader.

Revner som følge af svind i betonen opstår, når betonen ikke kan svinde frit men er fastholdt på en eller flere sider. I indlægget blev der fokuseret på to svindmekanismer, som typisk er årsag til revner i betongulve:

- Plastisk svind
- Udtørringssvind

Plastisk svind er forårsaget af fordampning af vand fra betonen, inden betonen er bundet af – dvs. inden den har fået struktur. Fordampning af vand fra en fri vandmættet betonoverflade er problematisk ved:

- Høje temperaturer
- Lav relativ luftfugtighed
- Høj vindhastighed over den fri betonoverflade

Plastisk svind er op til 10 gange større end udtørringssvind. Revner som følge af plastisk svind ligger typisk 45° på støberetningen eller følger armeringen, og de er ofte gennemgående.

Udtørringssvind skyldes frigivelse af det fysisk bundne vand på hydratiseringsprodukterne, og svindet foregår således efter, at betonen er bundet af og har fået struktur.

Udtørringssvindet afhænger i praksis kun af vandindholdet i betonen, og svindet er størst for slanke konstruktioner som f.eks. en gulvplade.

Forsøg med gulvbetoner gennemført på Aalborg Portlands laboratorium bekræfter, at svindet afhænger af betonens vandindhold. Forsøgene viser desuden, at en øget mængde flyveaske i betonen reducerer svindet.

Risikoen for svind i gulvstøbninger kan reduceres ved:

- Plastisk svind:
 - o Beskyttelse af betonoverfladen mod tidlig udtørring (plastik, curing, vådholdelse)
 - o Særlig opmærksomhed i tørre, varme og blæsende omgivelser
- Udtørringssvind:
 - o Minimere vandindhold
 - o Minimere pastaindhold

KVALITETSSIKRING I CEMENTPRODUKTION, V/ANYA ROSKJÆR KNUDSEN

Grundlaget for kvalitetssikring af cementproduktion finder man i den europæiske cementstandard DS/EN 197-1. Standarden stiller krav til autokontrolprøvning af produceret cement på specifikke parametre med en given frekvens.

Kontrol af styrker, afbinding og sulfat skal således foretages 2 gange pr. uge, mens hydratiseringsvarme og sammensætning kun skal kontrolleres 1 gang pr. måned. Der skal altså udtages en prøve 104 gange pr. år, og med Aalborg Portlands årlige produktionsmængde af Rapid cement betyder det, at én udtaget prøve repræsenterer cirka 9.600 ton eller omkring 240 tankbiler cement.

I en kompleks cementproduktion udtages der dog en hel del flere prøver end det antal, som DS/EN 197-1 stiller krav om. I indlægget blev Aalborg Portlands produktionsproces gennemgået med fokus på, hvad der gør processen kompleks, og hvordan der på mange punkter undervejs udtages prøver, hvor der måles på og styres efter rigtig mange parametre. Årligt udtages der således sammenlagt for de tre delprocesser slamproduktion, klinkerproduktion og cementformaling omkring 48.500 prøver svarende til knap 814.000 analyser. For den del af produktionen, som anvendes til Rapid cement, svarer det - omregnet til ækvivalent cementmængde - til, at der udtages en prøve pr. 2 tankbiler cement.

I den komplekse produktion er der således også mange ting, der kan gå galt, og det sker fra tid til anden. Indlægget sluttede af med en gennemgang af håndteringen af to cases, hvor en eller flere parametre ved den producerede cement har været afvigende.

BETONS ELASTICITETSMODUL, V/LASSE FRØLICH

Byggeriet i Danmark ændrer sig, og der er en stadig stigende tendens til, at der skal bygges højere og slankere konstruktioner. Alt sammen fordrer et godt kendskab til E-modulet af byggematerialer.

Mens E-modulet for stål ligger rimeligt fast, kan E-modulet for to betoner af samme styrkeklasse sagtens ligge langt fra hinanden. På Aalborg Portlands laboratorium har der været foretaget et **parameterstudie** med det formål at undersøge indflydelsen af betonsammensætning på E-modul, herunder f.eks. luftindhold, tilslagstype og pastavolumen. Parameterstudiet er foretaget med udgangspunkt i en referencebeton med et v/c-tal på 0,41, bakkesand (kl. E) samt granitsten (kl. E).

Parameterstudiet har vist, at **E-modulet** primært er afhængigt af det **grove tilslag** og **typen** af dette samt af v/c-forholdet. Resultaterne viste således også, at:

- 1 % reduktion i luftindhold giver 3,3 GPa forøgelse af E-modulet
- Ændring i pastavolumen har minimal indflydelse på E-modulet
- Anvendelse af kalkfiller har minimal indflydelse på E-modulet
- Reduktion i v/c-tal på 0,10 giver 4,4 GPa forøgelse af E-modulet

På baggrund af resultater af laboratorieforsøgene i forbindelse med parameterstudiet og med baggrund i Hirsch model for stivhed af sammensatte materialer [4] har Aalborg Port-



Lasse Frølich.

land udarbejdet en **beregningsmodel**, som kan anvendes til at **estimere E-modulet** af betoner med forskellig sammensætning. Beregningsmodellen er f.eks. anvendelig til sager, hvor der fra bygherres side er stillet krav til størrelsen af E-modulet af en beton. Modellen kan i dette tilfælde anvendes til dels at estimere størrelsesordenen af E-modulet for en given betonrecept samt effekten af ændringer i f.eks. tilslagstype, luftindhold, v/c-forhold m.v.

Med den udarbejdede beregningsmodel kan Aalborg Portland således fremover tilbyde kunderne hjælp til at sammensætte en beton med et givet krav til E-modul og efterfølgende dokumentere E-modulet ved måling på betonen.

Præsentationer fra Portland Open 2019 kan ses på www.aalborgportland.dk/vidensbase

REFERENCER:

- [1] Nulspildsprojektet, Dansk Beton 2018
- [2] Dokumentation af mekaniske egenskaber af beton med nedknust beton som tilslag, Betonelementforeningen 2004
- [3] Bestemmelse af nedknust betons densitet, vandabsorption og mørtelindhold, Miljøstyrelsen 1986
- [4] F.P. Zhou, F.D. Lydon, B.I.G. Barr, Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete, Cement and concrete research, vol. 25, Januar 1995
- [5] Strehlein, D. and Schiessl, P., Dark discoloration of fair-faced concrete surfaces - transport and crystallization in hardening concrete, Journal of advanced concrete technology, vol. 6, No. 3, 2008