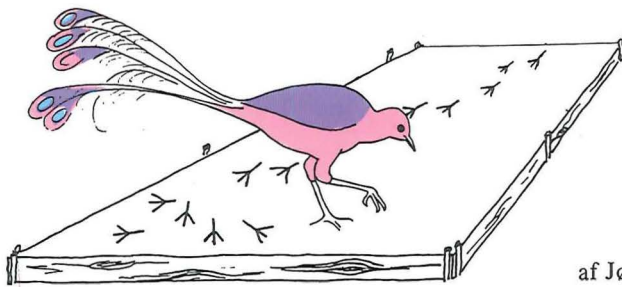


SKADESRAMT BETON II



af Jørn Bredal-Jørgensen

Undersøgelser, petrografiske arbejdsmetoder og vurdering af skadesramt beton er omtalt i Varv 1986/3. I det efterfølgende afsnit vil vi tage tråden op og se nærmere på nogle andre skadesmekanismer, nemlig frysning, alkali-kisel-reaktioner og brand.

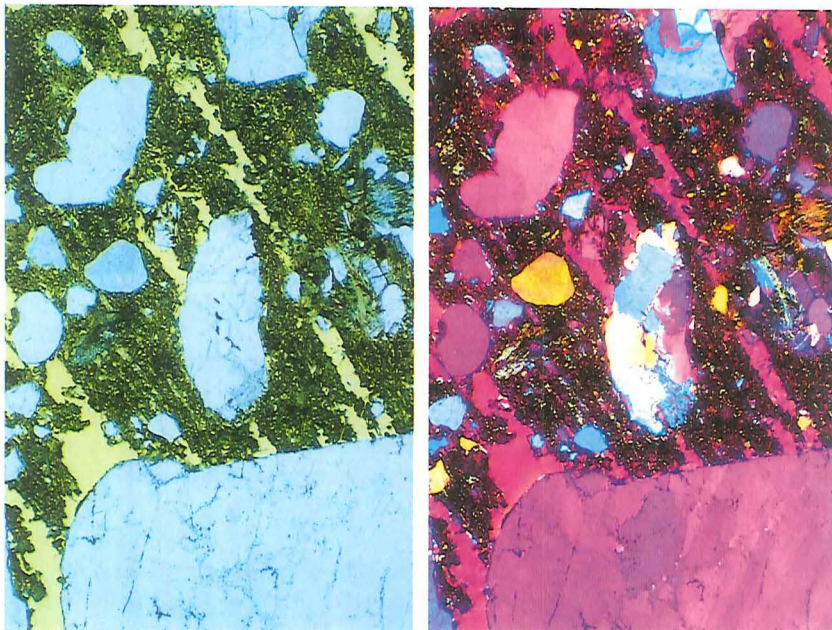
Frysning af ung beton - 'påfuglespor'

Påfuglespor er et udtryk man anvender for de ismønstre der dannes, når ung beton fryser. Mønstrene er nåleformede og stråler ofte ud fra et fælles punkt, så analogien til påfuglens spor er rimelig nok. Disse ismønstre ses i betonoverfladens slamslag samt inde i betonen på de sprækkeflader, der dannes overalt i den frosne beton.

Isnålene opstår ved frysning, når vandet i den unge beton ikke er brugt til dannelse af cementpasta eller er bundet til denne. Bindemiddelstrukturen (cementpastaen) udvikles over et længere tidsrum med et stadigt forbrug af vand. Der er derfor en tidsmæssig grænse - sædvanligvis 3-4 timer - for, hvor længe der vil kunne dannes isnåle i den unge beton, herefter er der ikke længere frit vand til rådighed for isdannelse. Ismønstrene, der ligner sprækker, er sjældent rigtige revnefyldninger, for på det tidspunkt hvor isdannelsen kan finde sted, er betonen ikke så fast, at den kan revne, og det er af betydning for forståelsen af den skade, der kan ske: De dannede isnåle medfører, at der opstår lagstrakte svaghedszoner, der ved optøning danner hulrum mellem langstrakte bånd af bindemidlet portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), der under isdannelsen er blevet presset ud af den unge cementpasta. Da portlandit tilmed har en udpræget evne til at bryde i stykker på tværs af længderetningen, gør det betonen endnu mere svag, den kan ikke reddes, men må skræbes bort.

Alkali-kisel-reaktioner

Som navnet siger, er der tale om reaktioner mellem alkalier og kisel. Alkalierne findes som ioner (K^+ og Na^+) i porevæsken i betonen, og kisel findes bl.a. i form af opal, flint og kvarts i tilslagsmaterialerne (sand og grus), der sammen med cement og vand danner beton.

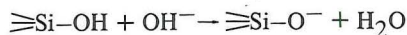


Figur 1. (til venstre). Billedfelt: 2.3 x 3.4 mm. Iskilesprækker (gule) ses som parallelle, aflange hulrum hen mod en større gruspartikel. Cementpastaen er orienteret parallelt hermed.

Til højre ses samme udsnit. Krydsede polarisationsfiltre og indskudt gipsblad.

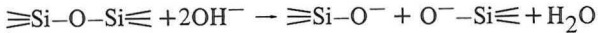
Opal ses som en hvid skorpe på mange flintesten, der i sig selv består af grå til sort chalcedon (eller mikrokrySTALLINSK kvarts). Flint og kvarts findes i stor mængde i vore istidsaflejringer, der som smeltevandssand og -grus, både på landjorden og på havbunden, næsten er eneleverandør til betonfremstilling i Danmark.

Kvarts og 'ren' flint reagerer ikke med alkalier i beton, men det gør derimod opal. Årsagen hertil skal søges i mineralets gitterstruktur, der er uordnet og ofte med gitterfejl. En ordnet gitterstruktur - som f.eks. hos kvarts - medfører et lavt kemisk potentiale, mens en uordnet gitterstruktur samt gitterdefekter forøger det kemiske potentiale, mineralet bliver kemisk reaktivt. Da opal tilmed ofte optræder i porøse masser, er der en meget stor overflade for kemiske reaktioner. Alkali-kisel-reaktionerne kan anskues forenklet i to trin. Først reagerer porevæskens OH^- med mineralets silanolgrupper (Si-OH):



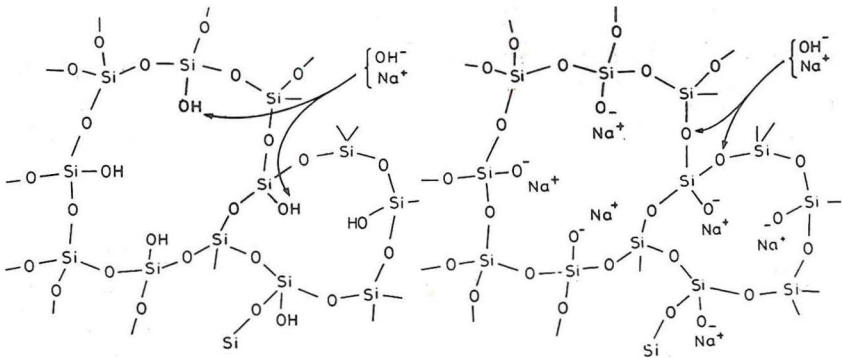
Den frie ladning O^- afbalanceres med Na^+ , der er fulgt med ind i mineralstrukturen, se fig. 3.

I det næste trin angribes mineralets siloxan-broer (Si-O-Si) af OH^- :



Det er selve mineralets struktur, der herved går i stykker, og der bliver plads til yderligere alkali-ioner og vand, se fig. 4. Hvis der er ioner og vand nok, vil mineralet til sidst omdannes til en alkali-kisel-gel.

Skader i form af revner opstår, når der er vand til stede. Det skal trænge ind til alkali-kisel-gelen, hvor det opsuges i gelen, og der sker en volumenforøgelse.



Figur 3. (venstre figur). Silanolgrupperne (Si-OH) neutraliseres af alkali-ioner. Det derved dannede vand er ikke vist på figuren.

Figur 4. (til højre). Siloxan-broerne (Si-O-Si) brydes ved fortsat alkali-angreb.

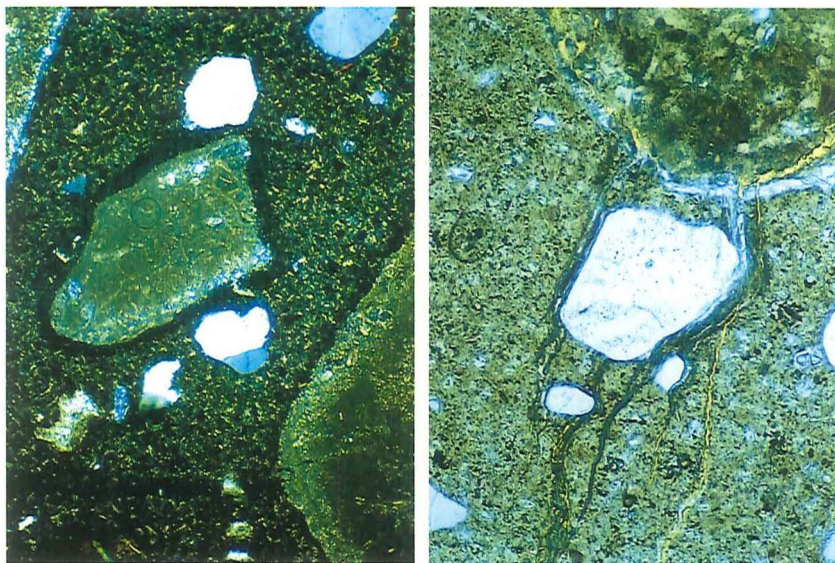
Når gelen er dannet vil den kunne opsuge store mængder vand og trænge ud i den omgivende cementpasta. Her sker der en reaktion med pastaens portlandit i form af en ionbytning, hvor den alkalirige gel omdannes til en sej calciumholdig gel, der kun kan trænge et ganske kort stykke ind i pastaen, men det forhindrer ikke alkali-kisel-reaktionerne i at fortsætte, for både vand og alkali-ioner kan godt trænge gennem den calciumrige gel.

Da alkali-kisel-gelen kan optage mange gange sit eget volumen af vand, kan gelen udøve et stort tryk på den omgivende cementpasta, og overstiger trykket pastaens trækstyrke, vil den fortsatte geldannelse kunne medføre omfattende revnedannelse.

Et tegn på, at revnerne virkelig er frembragt af den fremtrængende gel, og at det ikke blot er gelen, der har udfyldt allerede eksisterende revner, ses i de meget tætte homogene zoner, der ofte findes i cementpastaen tæt ved revnerne. Her er gel/cemetpasta-reaktionen nemlig gentaget: Den letflydende alkali-rige gel er presset ud i cementpastaen og er ved ionbytning omdannet til en sej gel.



Figur 4. Pergola-bjælker med revner dannet ved alkali-kisel-reaktioner og senere udvidelse ved frysning.



Figur 5. (til venstre). Billedfelt 4.7 x 6.8 mm. Kalkholdig opal omgivet af portlanditfri zone i cementpastaen. Krydsede polarisationsfiltre.

Figur 6. (til højre). Billedfelt 0.75 x 1.08 mm. Revner stråler ud fra kalkopal-partikel. De mørke partier omkring revnerne skyldes reaktioner mellem alkali-kisel-gel og cementpasta.

Brand

Brandteknisk er beton et godt materiale, for den kan ikke brænde, den afgiver ikke giftige dampe, den leder varmen dårligt, og den har en stor varmekapacitet, det vil sige, at den er svær at varme op. Men da beton består af flere komponenter, der reagerer forskelligt, kan langvarige høje varmegrader få betydning.

Armeringen i beton består af forskellige ståltyper. Almindeligt varmvalset stål har et styrketab, der er proportionalt med temperaturen, mens kold-deformeret stål hurtigere mister styrke - endog ved lavere temperaturer - og den kold-deformerede ståltype genvinder ikke fuld styrke efter brandskade. Det er derfor vigtigt at kende ståltype samt hvor høj temperaturen har været, for at styrketabet kan vurderes.

Tilslagsmaterialerne, d.v.s. sand, grus og sten udvider sig ved opvarmning, men ved høje temperaturer sker der også omdannelser af almindeligt forekommende mineraler som f.eks. kvarts, der omdannes fra en type til en anden ved 573°C samtidig med en forøgelse af rumfanget, der forårsager revnedannelse i den omgivende cementpasta. Når flint opvarmes til høje temperaturer 'calcinerer' den, det vil sige, at den ændrer farve til hvid eller grå idet vand presses ud, og denne vandafgivelse har tit revnedannelse til følge. Temperaturen, hvorved dette sker, er dog ikke særlig godt kendt.

Cementpastaen består af uhydratiserede klinker, C-S-H-geler og CH (se Varv 1986/3, side 103). Ved opvarmning vil cementpastaen først udvide sig, men når temperaturen når op over 100°C , begynder den at krympe, fordi C-S-H-gelerne gradvis fraspalter vand (H). Bindemiddelstrukturen i betonen ødelægges langsomt ved denne temperatur. Ved temperaturer omkring $450-550^{\circ}\text{C}$ begynder også portlandit at ændres og miste sammenhængskraften. Nøje studier af brandskadedet beton skulle derfor gøre det muligt, at afsløre hvilke temperaturintervaller bestemte dele af betonen har været udsat for, og som nævnt har det også en indflydelse på den berørte armerings egenskaber.

Alt i alt er der mange muligheder for at afsløre, hvad der er sket i en skadesramt beton, og det synes som om, at det i høj grad er et spørgsmål om at udvælge de rigtige mikrostrukturer og så selvfølgelig at tolke deres dannelse rigtigt. Heldigvis er det et område, hvor det er muligt at udføre kontrollerede forsøg, så de kommende år vil forhåbentlig bringe os et stort skridt videre, men bedst ville det være, om undersøgelsesresultater kunne overføres direkte på primærmaterialerne: cement og tilslagsmaterialer og deres indbyrdes reaktioner, så skaderne helt kunne undgås.

