

# Evaluatietechnieken voor de evaluatie van brandschade aan betonconstructies

Pieter Vandenberghe

Begeleiders: prof. dr. ir. Luc Taerwe, ir.-arch. Emmanuel Annerel

**Abstract—** Het doel van deze scriptie bestaat erin een inzicht te bieden in het gedrag van beton, dat blootgesteld werd aan brand. Hiervoor werd de wijziging in kleur, porositeit en druksterkte aan de hand van verschillende beproevingsmethodes en betonsamenstellingen onderzocht.

**Kernwoorden:** brand, beton, druksterkte, colorimetrie, porositeit, ultrasoongolven

## I. INLEIDING

In het algemeen kent beton goede brandeigenschappen. Naast een goede brandweerstand is beton ook onbrandbaar. Bovendien is een betonconstructie na brand nog vrij intact, met andere woorden het stort zelden in. Daardoor dient het zelden afgebroken en herbouwd te worden. Afhankelijk van de residuele sterkte, kan de constructie vrij eenvoudig hersteld worden, wat een belangrijk economisch voordeel met zich meebrengt. Maar de hoofdvraag is hoe groot de residuele sterkte na brand bedraagt. Door het bestuderen van de verandering in kleur en porositeit van het beton, die beiden afhankelijk zijn van de temperatuur, kan er een link gelegd worden met de druksterkte die eveneens functie is van de temperatuur. Om dit gedrag te onderzoeken zal gebruik gemaakt worden van de voor België representatieve betonsamenstellingen: traditioneel beton al dan niet met kalksteenhoudende granulaten (TC en TCK), zelfverdichtende beton (SCC) en hogesterktebeton (HPC).

## II. RESIDUELE STERKTE

Om de residuele sterkte na opwarming van het beton te bestuderen werden kubussen in HPC en TC (hoogte 150mm) en cilinders in SCC (hoogte 70mm, diameter 80mm) opgewarmd tot 350°C of 550°C. Tijdens de 3 weken vóór het testen, worden de proefstukken in een oven op 70°C tot constante massa gedroogd. Bij elke proefmethode worden twee kubussen verwarmd gedurende 1050 minuten. Bovendien werden sommige kubussen in HPC tijdens de opwarming belast met 354kN of 746 kN. Na de opwarming ondergaan de kubussen ofwel een langzame koeling aan de lucht ofwel een snelle koeling in water. De bepaling van de druksterkte gebeurt onmiddellijk na afkoeling tot de omgevingstemperatuur (0 dagen) of na een bewaring gedurende 28 dagen in water of in een ruimte met een omgevingstemperatuur van 20°C ± 1 en een R.V. groter dan 60%.

Bij de cilinders werden per betonmengsel telkens twee proefstukken gedurende 240 minuten verwarmd. De koeling gebeurde aan de omgevingslucht en de proefstukken werden na 28 dagen bewaring in een geconditioneerde ruimte beproefd.

Er werd vastgesteld dat de druksterkte afnam bij een stijgende opwarmingstemperatuur. Verder kan er opgemerkt worden dat de belasting een geringe of zelfs een positieve invloed uitoefent op de residuele sterkte. De beste resultaten worden bij een beproefing op 0 dagen bekomen door een langzame koeling aan de lucht. Bij beproefing na 28 dagen

geven een waterkoeling en bewaring in lucht het beste resultaat. In vergelijking met SCC en TC bezit HPC de hoogste druksterkte.

## III. COLORIMETRIE

Beton, dat opgewarmd wordt, verandert van kleur. De kleur wijzigt van grijs (20°C) naar rood (300°C) over witgrijs (700°C) tot zeemkleurig (1100°C) [1], [2].

De kleurwijziging werd onderzocht voor de betonsamenstelling SCC, HPC, TCK, beton met vliegslag (FA) en hoogovenslak (S). Voor SCC, HPC en TCK werden 2 kernen geboord uit een kubus met zijde 150mm. Vervolgens werden deze kernen in 10 schijven gezaagd met een diameter van 80mm en een dikte van 15mm. De monsters uit HPC en TCK werden daarna nog gepolijst. De proefstukken met vliegslag en hoogovenslak werden zodanig gezaagd uit een kubus met zijde 150mm dat een stuk met afmeting 100x20x50mm bekomen werd. De stukken bevatten een zijoppervlak van de kubus. Dit oppervlak wordt vervolgens gefreesd. Op die manier worden een paar millimeters van het beton verwijderd (cfr. roetverwijdering). Alvorens de proefstukken op te warmen werden ze gedurende 1 week in een oven op 70°C gedroogd tot constante massa. De opwarming gebeurde stapsgewijze tot een maximale temperatuur van 1000°C voor HPC en TCK en 600°C voor SCC, FA en S bereikt werd. Voor elke temperatuurstap werden 2 monsters per betonsamenstelling opgewarmd. Voor HPC en TCK bedroeg de opwarmingstijd 60min, voor SCC 120min en voor FA en S 30 minuten. De proefstukken voor HPC en TCK ondergingen een langzame koeling in de oven, terwijl de andere proefstukken aan de omgevingslucht afkoelden. Onmiddellijk na het afkoelen werd de kleur van de schijven met de X-Rite SP60 Spectrofotometer opgemeten. Dit gebeurde volgens de "CIE Lab-colourspace", waarbij zoveel mogelijk de kleur van de cementmatrix opgemeten werd. Om de invloed van de kleurrijke granulaten bij HPC en TCK te beperken, werden ze met zwarte inkt ingekleurd. Figuur 1 toont de relatie tussen  $a^*$  en  $b^*$ .

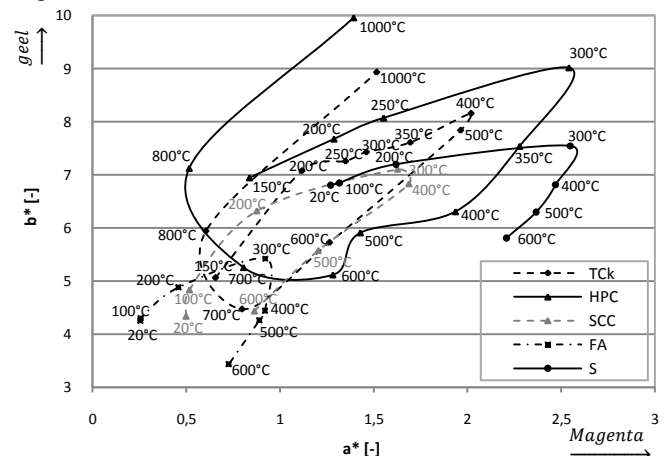


Fig. 1: Relatie tussen  $a^*$  and  $b^*$  bij toenemende temperatuur

Gedurende het opwarmingsproces beschrijft de kleur van de verschillende betonsamenstellingen een elliptisch pad in de a\*b\*-colour space. Bij 300°C treedt er een piekwaarde op waarbij er een rode en gele tint waarneembaar is. Alle curves zijn onderling gelijkaardig, met uitzondering van deze voor S en FA waarvoor de kleurverzadiging respectievelijk sterker en zwakker is.

#### IV. POROSITEIT

Ten gevolge van de stijgende temperatuur ontstaan er extra scheuren en holtes in het beton. Dit is te wijten aan het verschil in uitzetting tussen de cementmatrix en de granulaten. De bepaling van de porositeit gebeurde op 2 manieren namelijk via bariumsulfaat (BaSO<sub>4</sub>) en via wateropslorping onder vacuüm. De methode met bariumsulfaat bepaalt de porositeit aan het oppervlak terwijl via de wateropslorping de porositeit in de massa bekomen wordt.

De wateropslorping werd toegepast voor HPC, TCk en SCC bariumsulfaat enkel voor HPC en TCk. De proefstukken zijn dezelfde als deze gebruikt bij de kleurbeoordeling. De opwarmingsvoorwaarden werden reeds besproken in paragraaf III. Bij de methode met de bariumsulfaat worden de schijven eerst zwart gekleurd waarna ze met bariumsulfaat behandeld worden. De porositeit werd met behulp van de software Image Tool berekend. Vooraleer de wateropslorping toe te passen werd eerst de bariumsulfaat met perslucht verwijderd. De resultaten worden, samen met deze uit de literatuur [2], [3], weergegeven in Figuur 2.

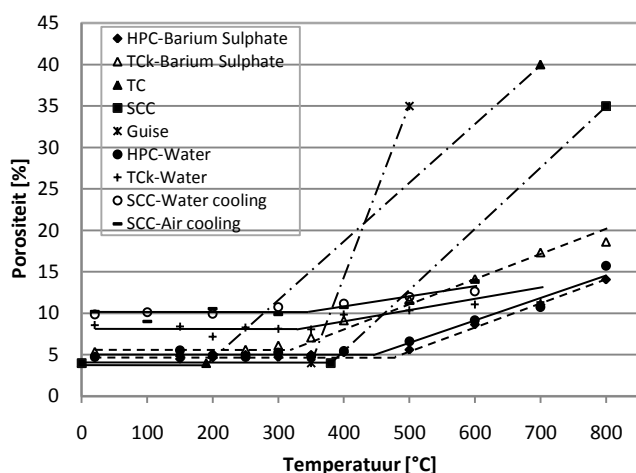


Fig. 2. Relatie tussen de temperatuur en de totale porositeit

Alle curves kennen een gelijkaardig verloop in functie van de temperatuur. De porositeit blijft aanvankelijk constant tot een bepaalde overgangstemperatuur, waarna het lineair toeneemt. Dit verloop werd eveneens teruggevonden in [2] voor SCC en TC en in [3] voor beton met Thames Valley granulaten. Het verschil in helling met [2] is te wijten aan het verschil in instelling van de scanner. De overgangstemperatuur verschilt voor iedere betonsamenstelling.

#### V. ULTRASONIE METINGEN

Meestal worden ultrasone golven gebruikt om de kwaliteit van beton te bepalen. Daarnaast kan het ook gebruikt worden om de elasticiteitsmodulus van Young te bepalen. Hier werd geprobeerd een link te leggen tussen de ultrasoonsnelheid en de druksterkte. Hiervoor werden de cilinders uit paragraaf I beproefd met ultrasone golven met een frequentie van 50000Hz. De cilinders werden een eerste maal getest juist voor opwarming en een tweede maal juist voor de drukproef

na 28 dagen bewaring in een ruimte met een temperatuur van 20±1°C en een R.V.>60%. De opwarmings- en beproevingsvoorwaarden werden reeds aangehaald in paragraaf I. In Figuur 3 wordt de relatie tussen de ultrasoonsnelheid en de druksterkte in functie van de temperatuur afgebeeld voor verschillende betonmengsels SCC.

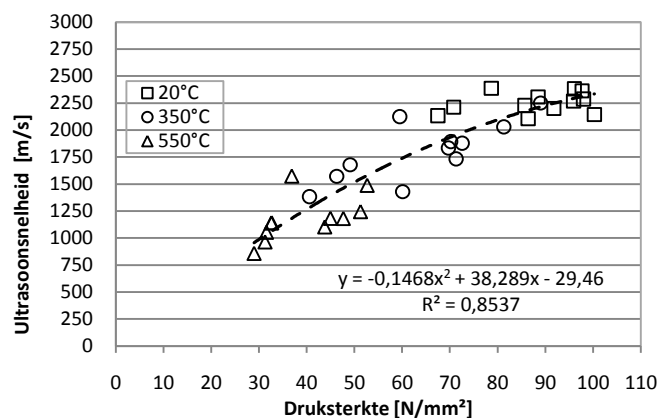


Fig. 3. Relatie tussen de ultrasoonsnelheid en de druksterkte in functie van de opwarmingstemperatuur

De relatie tussen beide grootheden is een tweedegraadsfunctie met vergelijking:

$$y = -0,15 x^2 + 38x - 29,5 \quad (R^2 = 0,8537) \quad (1)$$

#### VI. CONCLUSIES

Beton dat blootgesteld werd aan hoge temperatuur, ondergaat een kleurverandering. Voor de verschillende beproefde betonmengelingen doorloopt de kleur een elliptisch pad bij toenemende temperatuur. Beton met vliegaskent een meer verzadigde kleur, terwijl beton met hoogovenslak minder verzadigd is. Rond 300°C wordt er een rode tint vastgesteld. Deze kleur is te wijten aan de ontbinding van de ijzeroxiden.

De totale porositeit in functie van de stijgende temperatuur toont dat de porositeit constant verloopt tot een overgangstemperatuur, waarna ze lineair toeneemt.

Via ultrasone golven kan een link gelegd worden met de druksterkte. Het verband tussen de ultrasoonsnelheid en de druksterkte is een kwadratische functie. Deze methode is veel belovend omwille van zijn eenvoud en beperkte voorbereiding van het proefmonster. De metingen kunnen ter plaatse uitgevoerd worden zodat het boren van kernen overbodig wordt.

#### DANKWOORD

De auteur wenst prof. dr. ir. Luc Taerwe en ir.-arch. Emmanuel Annerel te danken voor de begeleiding en raadgevingen tijdens het onderzoek en het opstellen van deze thesis.

#### REFERENCES

- [1] DENOËL J.F. *Brandveiligheid en betonconstructies* Febelcem, 2007
- [2] ANNEREL E., TAERWE L. *Approaches for the assessment of the residual strength of concrete exposed to fire* Ghent University
- [3] GUISE S., PURKISS J., SHORT N. *Assessment of fire damaged concrete using colour image analysis* Aston University, 20 August 2000