

betonkoeling?

Zin en onzin van betonkoeling

De “noodzaak” van betonkoeling wordt vaak veroorzaakt door een te eenzijdig ontwerpproces. Ten aanzien van de problematiek van hydratatie-warmte zouden naast de constructeur ook de betontechnoloog en uitvoerende partijen al in de ontwerpfase bij een project betrokken moeten zijn.

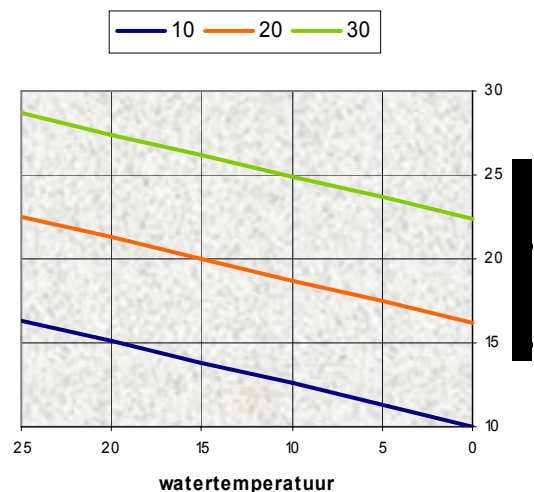
Er wordt bij het ontwerp door de constructeur voornamelijk naar de sterkte-eigenschappen en milieu-klasse van het beton gekeken. De effecten hiervan op de betonsamenstelling en meer specifiek op de warmte-ontwikkeling, worden in beperktere mate bekeken.

Soms wordt er wel onderkend dat warmteontwikkeling mogelijk een probleem vormt, maar wordt dit middels een bestekseis bij de uitvoerende partij gelegd. Dit is in de optiek van ABT een te simpele benadering. Door overleg tussen constructeur, betontechnoloog en uitvoerende partij kan hier in de ontwerpfase sturing aan worden gegeven, waardoor de “kachel lager kan worden gezet” en dure koeling kan worden voorkomen. Daarbij spelen primair de volgende vragen een rol:

- Is die sterkte-eis werkelijk al relevant na 28 dagen verharding of mag dit ook 90 dagen zijn of misschien wel een halfjaar?
- In welk milieu moet de constructie functioneren, zodat zaken als duurzaamheid en levensduur structureel in de ontwerpfase worden meegenomen?
- Wat is effectiviteit van de wapening in de jonge fase van het beton?



betonkoeling?



figuur 1: horizontaal is de watertemperatuur van het aanmaakwater uitgezet. Verticaal is de temperatuur van de specie uitgezet. De lijnen zijn isothermen van gelijke toeslagtemperatuur. Bijvoorbeeld de combinatie van een toeslag van 30 graden en een watertemperatuur van 20 graden levert een specietemperatuur van 27 graden op. Om de specie 4 graden in temperatuur te laten dalen dient men dus of het toeslagmateriaal circa 10 graden te laten dalen of het water ca. 15 graden te laten dalen (of een combinatie hiervan). (temperaturen in graden Celsius).

betonsamenstelling

Het bestellen van beton is gebaseerd op 2 parameters: de gewenste druksterkte na 28 dagen verharding en de gewenste duurzaamheid (vertaald in een milieuklasse). Het lijkt nu dus of men de beschikking heeft over twee onafhankelijke parameters. Dit is echter niet het geval! Bij keuze voor één van de lagere sterkteklassen wordt de verkregen sterkte bepaald door de waterbindmiddelfactor, dus de keuze van de milieuklasse. Bij het kiezen voor sterktes boven de B45 is de milieuklasse een afgeleide. Dan bepaalt de gewenste sterkteklasse immers altijd een lage waterbindmiddelfactor.

De betonsamenstelling heeft dus maar één keuze parameter: de waterbindmiddelfactor

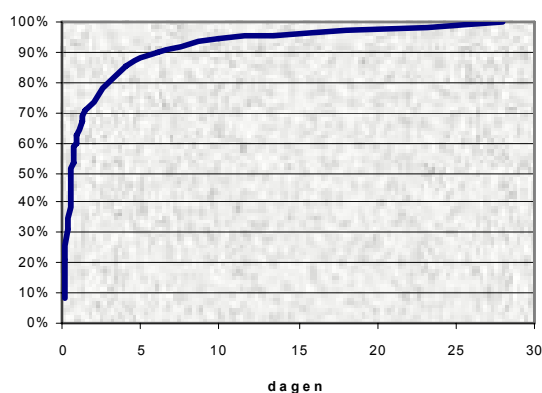
Nu is in de regelgeving ten aanzien van de samenstelling van beton de duurzaamheid geregeld op basis van een waterbindmiddelfactor, onafhankelijk van het gekozen bindmiddel. Dit heeft tot gevolg dat het voordeel van een sterke reductie van de chloridemigratie, door het toepassen van hoogovencement, niet beloond wordt door het toelaten van hogere waterbindmiddelfactoren. Met als gevolg dat het, door de keuze van een zeer starre waterbindmiddelfactor, niet mogelijk is om cementshoeveelheden in een betonmengsel zeer structureel te verlagen. De keuze voor een milieuklasse, onafhankelijk van het toe te passen cement, heeft tot gevolg dat er vaak onnodig veel cement wordt gebruikt. Terwijl door het doen van bijvoorbeeld onderzoek naar chloride-

migratie er andere keuzes gemaakt kunnen worden, met als gevolg een structureel lager gehalte aan cement. Dit is ondermeer wel uitgevoerd bij onderdelen van de HSL lijn waar op basis van het toepassen van vliegglas is gerekend met een k-factor van 1 voor de duurzaamheid. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat in een kubieke meter betonmortel tenminste 165 liter water nodig is om voldoende verwerkbaarheid te kunnen realiseren door het doseren van plastificeerders. Bij het formuleren van duurzaamheidseisen zou eigenlijk de keuze moeten worden gemaakt op basis van laboratoriumonderzoek en het gebruik van het Duracrete model. Op basis van het bovenstaande is het, zeker in relatie tot kunstwerken met veelal een waterbindmiddel-factor kleiner of gelijk aan 0.45, mogelijk om "de kachel uit te doen voordat men het raam openzet". Met andere woorden: de reductie van cement dan wel de vervanging van cement door bijvoorbeeld hoogovenslak doet de verwarming minder hard branden en vraagt dus minder koeling, terwijl dit geen of slechts een geringe invloed heeft op zaken als de indringing van chloride.

wapening

Het functioneren van de wapening voor de scheurwijdte-beheersing houdt gelijke tred met de ontwikkeling van de treksterkte van het beton. We kunnen stellen dat de wapening na circa 2 dagen goed functioneert en de scheurwijdte afdoende kan beheersen. Koeling heeft tot doel om te zorgen dat de kans op wilde scheurvorming in de fase dat de wapening nog geen scheurverdelende werking heeft, te beperken. In een normale situatie heeft, tegen de tijd dat de kans op scheurvorming het grootst is, de wapening eigenlijk al vrijwel volledig zijn functie. In de praktijk zien we hier verschillende voorbeelden van terug, waarbij het gelijkmatige scheurpatroon met scheuren met een zeer geringe wijdte duidt op een goed functionerende wapening.

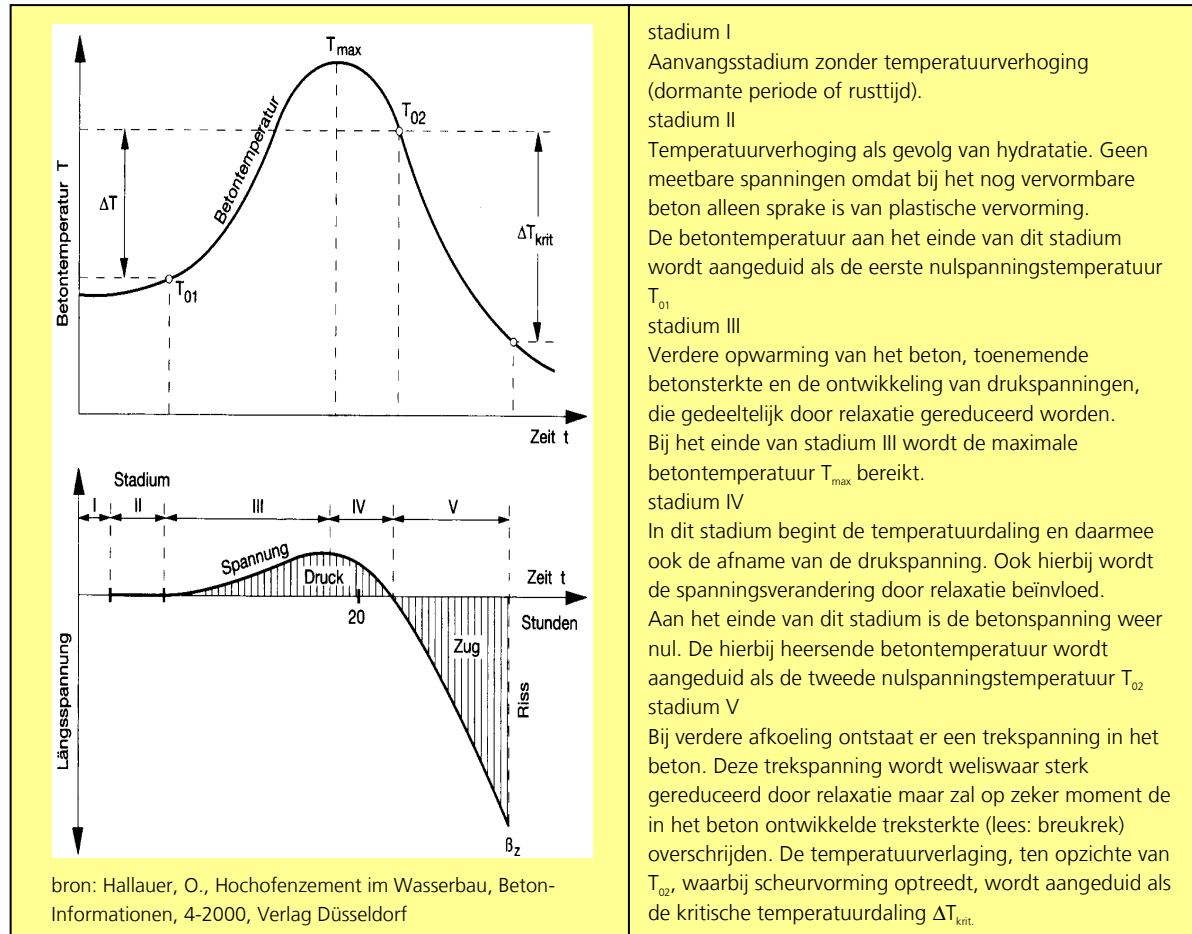
effectiviteit wapening



figuur 2: effectiviteit van wapening in relatie tot de ouderdom van het beton

De wapening is in de eerste dagen van de verharding wel effectief

betonkoeling?



figuur 3: de spanningsopbouw en reductie tijdens de verharding

beoordeling effecten warmteontwikkeling

Bij het beoordelen van de effecten van de warmteontwikkeling worden verschillende parameters gehanteerd. Het meest zien we in bestekken de eis dat het temperatuurverschil tussen kern van de betonconstructie en de buitenzijde een bepaalde maximum waarde niet mag overschrijden. Een gecompliceerdere parameter is de scheurkans, die vaak wordt uitgedrukt in de verhouding tussen optredende trekspanning en trekcapaciteit van het beton op een bepaald tijdstip, waarbij wordt gesteld dat de betonconstructie ongescheurd moet blijven. Het ontwerpen van scheurvrije constructies is echter een utopie. Het normale betonontwerp gaat er immers van uit dat een gewapende betonnen constructie gescheurd zal zijn. Een eis dat de betonconstructie ongescheurd moet blijven is daarom geen reële eis.

Deze parameters maken alleen een beoordeling op symptomen mogelijk en niet een beoordeling van het probleem zelf: scheurvorming. De meest zuivere beoordelingsparameter is de mate van scheurvorming.

stadium I

Aanvangsstadium zonder temperatuurverhoging (dormante periode of rusttijd).

stadium II

Temperatuurverhoging als gevolg van hydratatie. Geen meetbare spanningen omdat bij het nog vervormbare beton alleen sprake is van plastische vervorming. De betontemperatuur aan het einde van dit stadium wordt aangeduid als de eerste nulspanningstemperatuur T_{01} .

stadium III

Verdere opwarming van het beton, toenemende betonsterkte en de ontwikkeling van drukspanningen, die gedeeltelijk door relaxatie gereduceerd worden. Bij het einde van stadium III wordt de maximale betontemperatuur T_{max} bereikt.

stadium IV

In dit stadium begint de temperatuurdaling en daarmee ook de afname van de drukspanning. Ook hierbij wordt de spanningsverandering door relaxatie beïnvloed. Aan het einde van dit stadium is de betonspanning weer nul. De hierbij heersende betontemperatuur wordt aangeduid als de tweede nulspanningstemperatuur T_{02} .

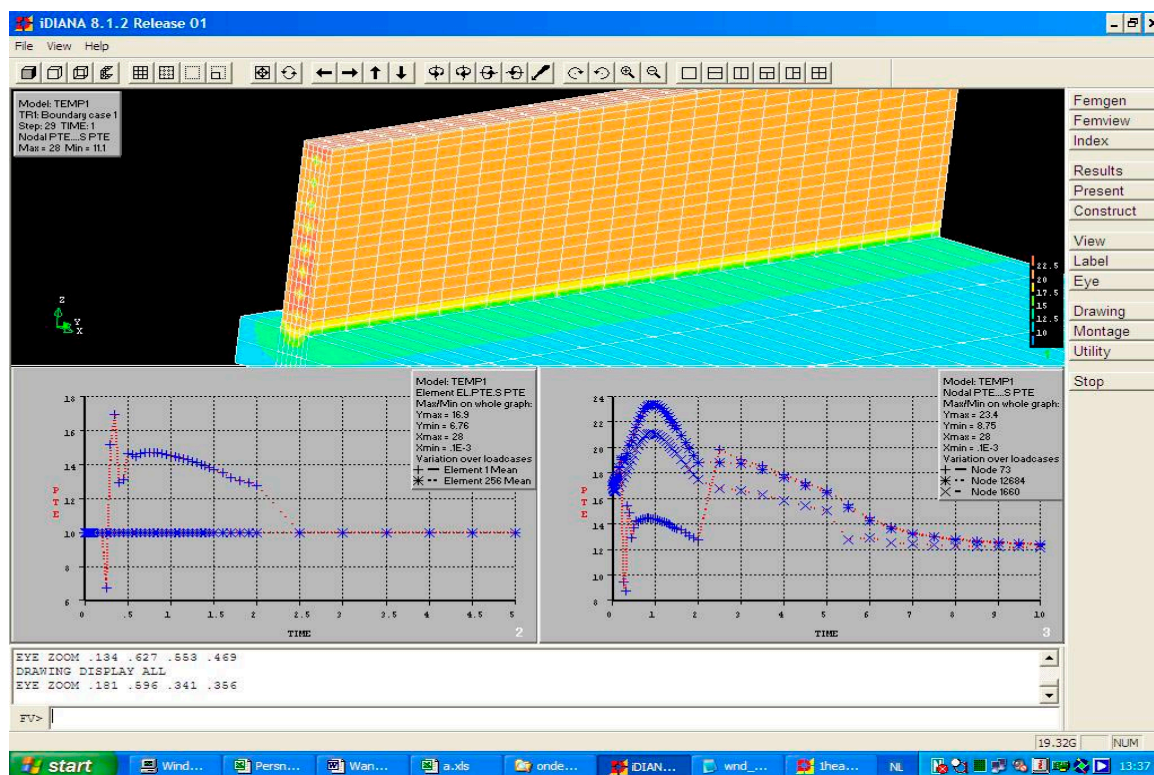
stadium V

Bij verdere afkoeling ontstaat er een trekspanning in het beton. Deze trekspanning wordt weliswaar sterk gereduceerd door relaxatie maar zal op zeker moment de in het beton ontwikkelde treksterkte (lees: breukrek) overschrijden. De temperatuurverlaging, ten opzichte van T_{02} , waarbij scheurvorming optreedt, wordt aangeduid als de kritische temperatuurdaling ΔT_{krit} .

Bij de vaststelling van deze scheurwijdte-eis zijn duurzaamheid en bijvoorbeeld waterdichtheid van belang. Door deze beoordelingsparameter te hanteren is het tevens mogelijk de effecten van de aanwezige wapening mee te nemen en kan een meer waarheidsgetrouwe beoordeling worden gedaan.

Voor het berekenen van de warmteontwikkeling van een betonconstructie en het daaruit volgende scheurrisico zijn verschillende computerprogramma's beschikbaar. Binnen ABT worden deze berekeningen echter met het voor meerdere toepassingen geschikte eindige elementen rekenprogramma DIANA uitgevoerd. Voordeel is dat hierin het 3-dimensionale gedrag van de constructie en eventueel benodigde koelsystemen beter kunnen worden gemodelleerd.

betonkoeling?



figuur 4: voorbeeld van resultaat DIANA berekening van een wand met koelsysteem

ten slotte

Het wel of niet nodig zijn van het toepassen van betonkoeling hangt af van een aantal factoren, maar de belangrijkste is wel dat er in een vroeg stadium overleg wordt gepleegd over de randvoorwaarden met de deskundigen die de volgende disciplines beheersen:

- constructief draagvermogen
- betontechnologie
- duurzaamheidsaspecten
- uitvoeringsmethodiek

Dit overleg opent namelijk de weg om de meest effectieve en kostenefficiënte methode van scheurbeheersing toe te passen. Bij deze methode van werken is het wel zo dat de ontwerper meer verantwoordelijkheden heeft dan alleen maar sterkte en stijfheid van de constructie.

Meer informatie? Neem dan contact op met adviesgroep civiele techniek
telefoon +31 (0)26 368 35 00
e-mail m.grob@abt.eu

ABT bv
Arnhemsestraatweg 358, Velp
postbus 82, 6800 AB Arnhem
telefoon +31 (0)26 368 31 11

Delftechpark 12, Delft
postbus 458, 2600 AL Delft
telefoon +31 (0)15 270 36 11

Kammenstraat 18
2000 Antwerpen
telefoon +32 (0)3 205 37 11

Artikelen mogen met bronvermelding worden overgenomen, na toestemming van ABT

internet
www.abt.eu