



Waterdichtheid afhankelijk van materiaaleigenschappen, scheuren en voegen

De technologie van waterdicht beton

Is beton waterdicht? In de praktijk wel, zo bewijzen vele woonarken met betonnen casco in Nederland (foto 1 en 2). Mensen wonen er jarenlang zonder zich zorgen te maken over lekkage. We kennen echter ook de betonnen kelderwanden en vloeren in bijvoorbeeld parkeergarages die helaas niet altijd waterdicht zijn. Oorzaak van de lekkages zijn meestal de aanwezige scheuren of voegen. Zelden komt het water door het beton zelf naar binnen. Toch blijkt ook de samenstelling van het beton invloed te hebben op de waterdichtheid.

De definitie van waterdicht beton is gegeven in NEN-EN 1992-3 (deel 3 van Eurocode 2, [1]). Hieruit blijkt dat zelfs bij de strengste eisen beton waterdicht is zolang er geen scheuren in zitten. In de NEN-EN 1992-3 worden echter wel opmerkingen gemaakt over betonmengsels met lagere water-cementfactoren voor constructies dunner dan 120 mm in dichtheidsklasse 0, waar lekkage toegestaan is, of 150 mm in de overige dichtheidsklassen, waar lekkage wordt gelimiteerd. Exacte getallen voor deze water-cementfactor worden niet gegeven. Verder wordt geadviseerd naar de maximale korrelafmeting van het toeslagmateriaal te kijken. Veel houvast geeft de norm verder niet maar het materiaal lijkt dus van invloed te zijn op de waterdichtheid. In dit artikel wordt inzichtelijk gemaakt in welke mate de waterdichtheid van het beton effect heeft op de waterdichtheid van de constructie.

In poreuze materialen vindt transport van vocht plaats zodra er een droge en een natte kant is. Als het beton echter dicht genoeg is, is dit transport van water zo langzaam dat het beton waterdicht wordt genoemd. De 'betonnen constructie' is waterdicht als aan de volgende drie basisvoorwaarden wordt voldaan:

- het 'materiaal beton' is waterdicht;
- er zijn geen doorgaande scheuren;
- de voegen zijn goed aangebracht en lekken niet.

De eerste is duidelijk primair afhankelijk van de materiaaleigenschappen van het beton. De andere twee zijn constructief van aard, maar zoals vaak met constructieve aspecten is daar altijd een relatie met de betontechnologie.

Waterdicht beton

Beton is een poreus materiaal dat zelfs als het goed verdicht is voor 10 tot 15% uit poriën bestaat [2]. Poreus betekent echter niet meteen dat een materiaal dan ook water doorlaat. Voordat het beton ook daadwerkelijk water doorlaat, moet aan twee voorwaarden worden voldaan (fig. 3).

Ten eerste moeten de poriën met elkaar in contact staan. Op die manier is er een netwerk van kanaaltjes waardoor het water van het ene oppervlak van het beton naar het andere kan gaan. De tweede voorwaarde is dat de poriën groot genoeg zijn. Er worden twee klassen van poriën onderscheiden. De eerste zijn de gelporiën: dit zijn de poriën die kleiner zijn dan 10 nm. In deze poriën is het water sterk geabsorbeerd aan het cementsteen en zal daardoor niet gemakkelijk bewegen. Deze poriën zijn te klein en transport van water zal door deze poriën dan ook niet plaatsvinden. De tweede klasse van poriën zijn de capillaire poriën met een grote vanaf 10 nm. Hierin kan het water zich vrij bewegen.

De mate waarin water door een materiaal stroomt, is afhankelijk van de dikte, de waterdruk en de permeabiliteit (fig. 4). De wet van Darcy beschrijft de stroming door poreuze media met de volgende formule:

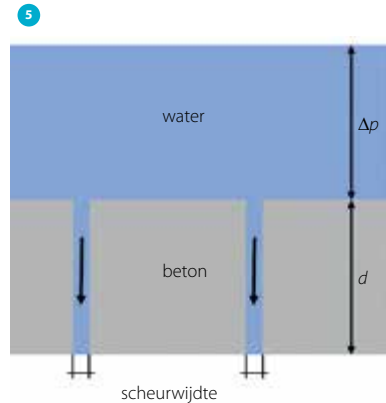
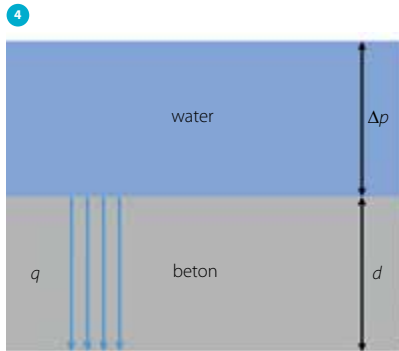
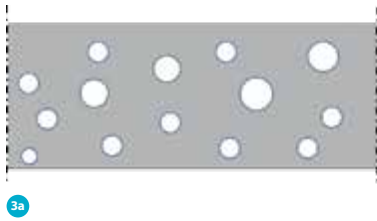
$$q = kA \frac{\Delta p}{d}$$

waarin:

- q stroomsnelheid in m³/s
- A oppervlakte in m²
- Δp drukverschil in m
- d dikte van de constructie in m
- k permeabiliteit (materiaaleigenschap) in m/s

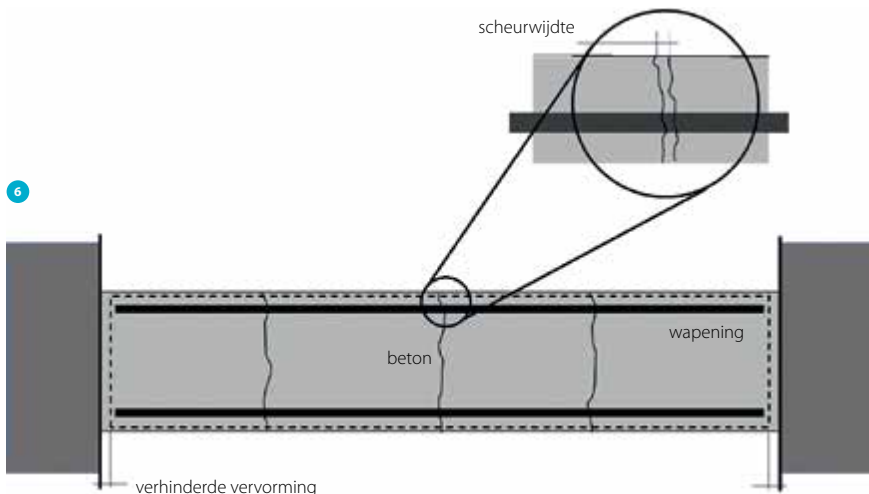


- 3 (a) Poreus maar niet-permeabel beton en (b) beton met een laag porievolume dat wel permeabel is
- 4 Strooming van water door een poreus medium
- 5 Transport van water door scheuren in het beton
- 6 Scheurwijdte en verhinderde vervorming in de betonconstructie



De stroomsnelheid door beton is te bepalen door op een schijfje beton een waterdruk te zetten en dan te meten hoeveel water er per tijdseenheid doorheen stroomt [3]. Dit is echter geen genormaliseerde beproeving en wordt in de praktijk weinig gevraagd. De proef geeft wel inzicht van het stroomgedrag van water door beton.

De permeabiliteit k varieert tussen de 10^{-11} tot 10^{-12} m/s. Dit is een indicatieve waarde die onder andere afhankelijk is van de water-cementfactor, de hydratatiegraad, type cement, soort en hoeveelheid toeslagmateriaal, gebruikte vulstoffen, mate van verdichting en de nabehandeling.



Met de volgende vuistregels wordt betontechnologisch gezien een waterdicht beton verkregen [4]:

- een goede korrelverdeling van het toeslagmateriaal;
- voldoende fijn materiaal in het mengsel;
- water-cementfactor die niet hoger is dan 0,55.

Worden er echter strengere eisen gesteld, bijvoorbeeld bij vloei-stofdichte voorzieningen [5], dan worden deze eisen aangescherpt met bijvoorbeeld een water-cementfactor die niet hoger mag zijn dan 0,5, eisen aan de korrelgraderingen en het bepalen van de indringingsdiepte van de vloeistof in het beton volgens de EN 12390-8, Beproeving van verhard beton – Deel 8: Indringdiepte van water onder druk [6].

Voorbeeld

Als voorbeeld wordt de stroomsnelheid bepaald voor een constructie van 20 cm dik [3]. Er is een beton gebruikt met een permeabiliteit van 10^{-11} m/s. Uitwerking van de formule levert bij 1 m waterdruk en een oppervlak van 1 m^2 :

$$q = 10^{-11} \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,20} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 0,0016 \text{ m}^3 / \text{jaar}$$

Dit betekent dus dat er 1,6 mm per m^2 per jaar door deze betonconstructie komt. Als je hierbij bedenkt dat het water bijvoorbeeld met 1 mm per m^2 per dag verdampt, dan is duidelijk dat de constructie er aan de zijde waar het beton verdampt volledig droog uitziet.

Conclusie waterdicht beton

De conclusie is dat beton waterdicht is en dat pas bij hoge waterdrukken naar de waterdichtheid van het beton zelf hoeft te worden gekeken. Om te kijken of de betonnen constructie waterdicht is, blijft het belangrijk te weten wat de waterdichtheidseigenschappen van het materiaal zelf zijn. Als deze al niet afdoende zijn, is de vraag of er scheuren in het beton zitten of dat er voegen zijn die watervoerend zijn, al helemaal niet van belang.

Waterdichte scheuren en voegen

Een scheur die door een constructie heengaat, leidt tot een zeer waterdoorlatende betonconstructie (fig. 5). Als vuistregel wordt aangehouden dat er circa 10 000 keer zo veel water door gescheurd beton gaat vergeleken met het niet-gescheurde beton [2]. Met de resultaten van het eerdergenoemde voorbeeld van het niet-gescheurde beton, zou dit leiden tot een lekkage van 1600 mm per jaar oftewel ruim 4 mm per dag. Dit is meer dan de aangenomen 1 mm verdamping per dag. Het water zal waarschijnlijk dus zichtbaar worden aan de 'droge' kant van de constructie.

In de praktijk zien we echter veel constructies die wel zijn gescheurd maar toch niet lekken. Blijkbaar is de gevolgde redenering iets te eenvoudig en is het ook mogelijk met gescheurd beton een waterdichte constructie te maken. Dit is wel afhankelijk van de mate van scheurvorming. Belangrijke parameters hiervoor zijn:

- *Scheurwijdte*: naarmate de scheur verder openstaat, zal het water makkelijker door de scheur kunnen stromen en neemt de waterdichtheid van de constructie verder af. Door scheuren kleiner dan 0,05 mm komt bijna geen water en is de waterdichtheid gelijk aan die van een niet-gescheurde betonconstructie. In kleine scheuren kan water niet vrij stromen en de kans is klein dat deze scheuren doorlopen over de hele dikte van de constructie.
- *Aantal scheuren*: als er meer scheuren in het beton zitten, kunnen de lekkages door al deze scheuren bij elkaar worden opgeteld om de totale lekkage te bepalen.
- *Diepte van de scheur*: zolang er een niet-gescheurde zone is met beton dat weinig permeabel is, zal de betonconstructie niet lekken. De drukzone moet volgens EN 1992-3 minimaal 50 mm zijn of 20% van de dikte van de constructie.
- *Selfhealing*: dit is het dichtslibben van de scheuren in de loop van de tijd onder meer doordat ongehydrateerd cement reageert met water. Hiervoor moeten de scheuren echter wel klein blijven [7]. Boven de 0,2 mm is selfhealing uitgesloten, behalve als er speciale modificaties aan het beton zijn gedaan.

Samengevat zal een constructie met kleine scheuren geen extra lekkage veroorzaken. Worden de scheuren groter en lopen ze door de constructie heen, dan neemt de lekkage toe.

Oorzaken scheurvorming

De scheuren in het beton kunnen ontstaan door de belastingen die op de constructie staan. Bij watertanks en kelders zijn de waterdrukken groot en kunnen trekspanningen scheuren in het beton veroorzaken. Daarnaast kunnen de scheuren ook ontstaan door verhinderde vervormingen (fig. 6). Deze vervormingen kunnen ontstaan door verschillende vormen van krimp van het beton zoals:

- *Thermische krimp* door het afkoelen van het beton. Dit speelt niet alleen bij het verharde beton maar ook in de jonge fase. Vooral bij dikke constructies kan de binnenkant van het beton warm worden door de reactie tussen cement en water. Bij het afkoelen kunnen bijkomende vervormingen – als zij verhinderd zijn – leiden tot scheuren. Deze scheuren zijn te voorkomen door koeling of door het mengsel zo samen te stellen dat de temperatuur laag blijft.
- *Verhardingskrimp* speelt vooral in de eerste fase een rol wanneer chemische krimp en interne uitdroging als gevolg van voortgaande hydratatie het beton doen krimpen. De mate van de verhardingskrimp is afhankelijk van het type



7

cement dat is gebruikt. Beton met hoogovencement heeft bijvoorbeeld meer verhardingskrimp dan beton met portlandcement. Daarentegen zijn de thermische vervormingen van beton met hoogovencement kleiner dan bij portlandcementbeton. Of scheurvorming optreedt, zal vooral afhangen van de mate van verhindering van de vervormingen.

- *Uitdrogingskrimp* komt in het geval van een waterbelasting minder voor. Alleen aan de droge kant zal het beton kunnen krimpen. Door het poreuze karakter van beton is er meestal genoeg aanvoer van water om totale uitdroging van de constructie te voorkomen.
- *Carbonatatiekrimp* vindt vooral aan het oppervlakte van de droge kant van de constructie plaats. Dit proces duurt jaren en zal in deze situatie meestal niet leiden tot doorgaande scheuren.
- *Plastische krimp* vindt vooral plaats in de eerste uren na het storten als het beton nog plastisch is. Scheuren door plastische krimp bevinden zich meestal aan het oppervlakte maar kunnen ook scheuren veroorzaken tot enkele decimeters diep.

Naast de belastingen en vervormingen wordt de scheurwijdte van een betonconstructie bepaald door de mate waarop het beton reageert op deze belastingen. Hierbij zijn de volgende eigenschappen van de betonconstructie van belang:

- elasticiteitsmodulus van het beton;
- treksterkte van beton;
- hechtsterkte van het beton met de wapeningsstaal;
- wapeningspercentage en wapeningsconfiguratie;
- elasticiteitsmodulus van het staal.



8 Het aanbrengen van voegband als afdichting kan vervormingen en scheuren, en daarmee lekkage voorkomen

foto: Sika Nederland B.V.

Uit de formules voor het bepalen van scheurwijdten [8] blijkt dat de scheurwijdte toeneemt bij een toenemende sterkte van het beton. Het beton scheurt pas bij een hogere spanning, maar als het dan scheurt zal ook een grotere scheurwijdte ontstaan. De scheurwijdte kan weer worden gereduceerd door meer wapeningsstaal toe te passen.

Voorkomen scheuren

Scheuren beperken met wapening is een methode om de waterdichtheid te regelen. Indien scheuren echter niet zijn toegestaan, dan moeten ze worden voorkomen. Door vervormingen niet meer te verhinderen, zullen er geen spanningen in het beton ontstaan en zal de kans op doorgaande scheurvorming aanzienlijk worden gereduceerd. Een methode hiervoor is het aanbrengen van voegen met afdichtingen (foto 8). Deze moeten de vervormingen kunnen opnemen en waterdicht zijn, anders is de oplossing erger dan de kwaal. Lekkende voegen vergroten de waterdoorvoering ten opzichte van het ongescheurde beton met een factor 10 [2]. Er is geen som nodig om uit te leggen dat we het dan niet meer hebben over een waterdichte betonconstructie. Het water heeft bij een voeg twee plaatsen waardoor het kan stromen. Ten eerste door beschadigingen in de voeg. Indien er scheuren of gaten in deze afdichting zitten, zullen deze tot lekkage leiden. Ten tweede door een slechte aansluiting tussen de voeg en het beton. Bij de aansluiting is het van belang dat het beton goed is verdicht. Dit kan bijvoorbeeld met wapening worden bemoeilijkt. Een juiste korrelgradering en verwerkbaarheid van de betonmortel zijn dan belangrijk.

Conclusie

Betontechnologisch is het van belang de juiste keuzen te maken om een waterdicht beton te krijgen. Enerzijds wordt een dicht beton gevraagd. Dit is te verkrijgen door bijvoorbeeld de watercementfactor te verlagen. Anderzijds betekent het ook dat de sterkte omhooggaat. Als er dan scheuren ontstaan, zullen die groter zijn dan bij een lagere sterkte. Hierdoor neemt de permeabiliteit weer sterk af. De praktijk heeft echter bewezen dat als deze keuzen goed worden gemaakt, de betonconstructie waterdicht is. ☒

● LITERATUUR

- 1 NEN-EN 1992-3:2006/NB:2011 Nationale bijlage bij NEN-EN 1992-3 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 3: Constructies voor kernen en opslaan van stoffen.
- 2 Breugel, K., van, Self Healing en vloeistofdichtheid. *Cement* 2003/7.
- 3 *Betoniek* 6/6 Permeabiliteit, 1983.
- 4 *Betoniek* 1/11 Waterdicht beton, 1971.
- 5 CUR-Aanbeveling 65, Ontwerp, aanleg en herstel van vloeistofdichte voorzieningen van beton. SBRCURnet, 2005.
- 6 NEN-EN 12390-8:2000 Beproeving van verhard beton – Deel 8: Indringdiepte van water onder druk.
- 7 Wegen, G.J.L., van der, Waterdichtheid van beton: de theorie. *Cement* 2005/6.
- 8 *Betoniek* 12/24 De B van Beton, 2003.