

**Met dank aan**

Behalve van de genoemde literatuur is bij de totstandkoming van dit artikel gebruikgemaakt van de input van Rob van Berkel, Jeannette van den Bos, Johan Bolhuis, Hans Galjaard, Jan de Goede en Dick Hordijk.

*Het ontwerp van een waterdichte constructie voor bijvoorbeeld een kelder of onderdoorgang kan nog zo goed zijn doordacht, waterdichtheid is nooit een vanzelfsprekendheid. Vooral bij verbindingen en aansluitingen tussen verschillende bouwdelen blijkt de praktijk vaak weerbarstig. In het bewustzijn van wat mogelijk kritieke punten zijn, ligt vaak al een deel van de oplossing.*

Voorbeelden van kritische details bij waterdichte constructies

# Aandachtspunten waterdichtheid

Betonconstructies worden nooit in één keer gerealiseerd. Zelfs als het beton ter plaatse wordt gestort, bevinden zich in de constructie diverse verbindingen. En het zijn juist die verbindingen die in de praktijk nog wel eens voor problemen zorgen als het gaat om waterdichtheid. Dat geldt ook voor aansluitingen, zoals die aan onderwaterbetonvloeren en damwanden. Onderstaand wordt een aantal kritieke punten beschreven die in het ontwerp of in de uitvoering extra aandacht behoeven. Het gaat daarbij vooral om het signaleren van de potentiële risico's, niet om het geven van kant-en-klare oplossingen.

## Stortnaden

Betonconstructies worden vaak in delen gerealiseerd. Dat leidt dus vanzelfsprekend tot stortnaden in het beton. Bij waterdichte constructies moeten ook deze stortnaden waterdicht zijn. Dit houdt in dat er ter plaatse van de stortnaad geen water door de constructie mag doordringen. Bij een zorgvuldige uitvoering zal dat niet snel het geval zijn en is de stortnaad net zo waterdicht als de constructie. Er zijn hierbij echter wel de nodige aandachtspunten.

Het is belangrijk dat het nieuwe beton zich goed kan hechten aan het oude beton. Dit begint met het opruwen van het reeds gestorte beton. Hierbij wordt de cementhuid verwijderd waardoor het oppervlak van de grindkorrels komt bloot te liggen (foto 2). Dit kan met een lage- of hogedrukwaterstraal, afhankelijk van hoe ver de verharding van het beton is gevorderd. Het is mogelijk een oppervlaktevertrager op de stortnaad aan te brengen, waardoor er meer tijd is om de cementhuid te verwijderen. Als het beton al is verhard wanneer het wordt opgeruwd, kunnen zwaardere middelen worden ingeschakeld als gritstralen of hogedrukwaterstralen.

Voor een goede hechting is het ook van belang de ondergrond nat te maken voor het storten van het aansluitende beton of voor het aanstorten. Dit luistert erg nauw: is de ondergrond te droog, dan zal het water uit de verse betonspecie worden onttrokken. Hierdoor kan deze specie onvoldoende reageren, wat leidt tot een slechte kwaliteit van het beton en een verminderde aanhechting. Is de ondergrond te nat (waterplassen), dan wordt extra water aan de betonspecie toegevoegd. Ook dit leidt tot een mindere aanhechting. De kunst is het oppervlak wat wordt genoemd *Saturated Surface Dry* te krijgen: verzadigd met een droog oppervlak.

Naast goede hechting is een manier om de constructie waterdicht te krijgen, het verlengen van de lekweg van het water door de constructie. Het eerdergenoemde opruwen van de stortnaad draagt daaraan bij: in plaats van rechtdoor moet het water via bochten door het beton heen dringen. Om dit effect te versterken, wordt nog wel eens een kimklik ingestort. Daar-

- 1 Kimlekkage bij de aansluiting van de wand aan de vloer van een kelder  
foto: BV Frank Betonreparatie en vochtwering
- 2 Opperuwd oppervlak voor een later aan te storten betonwand

naast wordt ook wel een zwelband of injectieslang op de stortnaad aangebracht. De functie van de zwelband is om bij lekkage te zwellen waardoor alsnog de lekweg wordt afgesloten. Via de injectieslang kan later worden geïnjecteerd, waarmee eventuele holten in de stortnaad worden gevuld.

Bij het voorschrijven van dergelijke hulpmiddelen moet wel worden bedacht dat uit de aanwezigheid van deze middelen weinig tot geen vertrouwen spreekt in het vakmanschap van de mensen in de uitvoering.

Tot slot misschien wel een open deur maar wel heel belangrijk: voordat het beton wordt aangestort, moet de stortnaad schoon zijn. Alle vervuiling, zoals zand, grond, zaagsel, bekistingolie, binddraad (en wat te denken van de plastic koffiebekertjes!) moet worden verwijderd.

Speciaal geval zijn de verticale stortnaden met een stortafzetting, zoals haringraatstaal. Dit leidt tot verminderde aanhechting waardoor de stortnaad niet meer waterdicht is. Praktische oplossing is het wegvouwen van haringraatstaal in de dekking, zodat daar het beton wel goed kan hechten.

Zoals gezegd: bij een goede uitvoering zijn stortnaden meestal net zo waterdicht als het beton.

### ● LITERATUUR

- 1 *Betoniek* 12/15 De perfecte stortnaad, 2002.
- 2 CIRIA Rapport 146 Design and constructions of joints in concrete structures, 1995.





### Wand-vloeraansluiting

Een al langer bekende oorzaak van lekkages bij beoogde waterdichte constructies, is doorgaande scheurvorming ter plaatse van de wand-vloeraansluiting waarbij een wand op een verharde vloer is gestort. In 1978 is hierover al een uitgebreid CUR-rapport verschenen [3] en in 1992 is er in een *Cement*-artikel [4] aandacht aan besteed (in het kader van 'Bouwschade ter lering'). Ondanks deze kennis komen in de dagelijkse bouwpraktijk lekkages door scheurvorming als gevolg van dergelijke aansluitingen nog altijd veel voor.

Na het storten van beton treedt vervorming op in de constructie als gevolg van temperatuurverschillen (door hydratatie) en krimp (uitdrogingskrimp en autogene krimp). Als de kelderwand wordt gestort op een al eerder gestorte keldervloer, zal vanaf dat moment de krimpverkortings die in de wand wil optreden, veel groter zijn dan die van de keldervloer. Die laatste heeft immers al een groot deel van de krimp achter de rug. Er is dan dus sprake van verhinderde vervorming van de wand. Dit leidt tot trekspanningen en bij trekspanningen groter dan de treksterkte tot scheurvorming in de vorm van doorgaande scheuren. Bij aanwezigheid van water aan de buitenzijde leiden deze scheuren in veel gevallen tot lekkage. Het gaat hierbij om verticale scheuren die niet vanaf de stortnaad maar pas vanaf enige hoogte naar boven lopen. Dat deze scheuren op enige hoogte starten, heeft te maken met de aanwezigheid van de vloer die als een soort wapening optreedt en, bij verharding, met de temperatuurovergang tussen wand en vloer.

Meer over dit fenomeen staat in het artikel 'Wanneer is beton waterdicht?', elders in dit nummer. Zoals in dat artikel is aangegeven, kan deze lekkage worden beperkt door het toepassen van voldoende horizontale wapening. Daarmee wordt niet het optreden van scheuren voorkomen, maar wel de scheurwijdte beperkt. Meer wapening betekent meestal een aanzienlijke kostenpost,

omdat voor de krachtswerking vaak zou kunnen worden volstaan met minimumwapening. Andere opties zijn het voorspannen of koelen van de constructie, waardoor scheurvorming wordt voorkomen en ook dat leidt tot extra kosten. Er kan ook worden gekozen de scheurvorming te laten optreden en deze later te dichteren door te injecteren. Dit is vanuit technisch en esthetisch oogpunt echter lang niet altijd wenselijk of toegestaan. Door Stufib/Stutech-commissie 12 'Massieve (zware) betonconstructies' is met betrekking tot een aantal aspecten rond dit fenomeen aangegeven hoe er in de praktijk mee kan worden omgegaan [6].

#### ● LITERATUUR

- 3 CUR-rapport 85, Scheurvorming door krimp en temperatuurwisseling in wanden, SBRCURnet, 1978.
- 4 Stoffers, H., Wubs, A.J., Bouwschade ter lering (V); Scheurvorming in kelderwanden. *Cement* 1992/12.
- 5 Waarde, F. van, Wanneer is beton waterdicht?. *Cement* 2016/1.
- 6 Stufib Rapport 16 Massieve (zware) betonconstructies. Ontwerp, technologie en uitvoering, 2014.
- 7 Vries, P. de, Galjaard, J.C., Massabeton, neem het niet te licht. *Betoniek Vakblad* 2014/4.

### Constructievloeren op onderwaterbeton

Een onderwaterbetonvloer fungeert als horizontale afsluiting van een bouwkuip. Ten behoeve van de definitieve constructie wordt op deze onderwaterbetonvloer, na het leegpompen van de bouwkuip, een constructievloer gestort. Vaak zorgt de interactie tussen de constructievloer en de onderwaterbetonvloer voor de nodige problemen: bij een groot aantal projecten met constructievloeren op onderwaterbeton zijn na enige tijd doorgaande en lekkende scheuren in de constructievloer geconstateerd.



- 5 Door te storten tegen stromend water in, kunnen kanaaltjes in het beton en daardoor lekkages ontstaan
- 6 Op een lekkende verbinding tussen een onderwaterbetonvloer en een damwand is een drainagelaag en een drainagemat aangebracht

In de constructievloer ontstaan tijdens de verharding en door klimatologische invloeden (als seizoenswisselingen) temperatuur- en krimpvervormingen, zoals ook bij het vorige punt beschreven. Deze vervormingen worden over het hele oppervlak verhinderd door de onderliggende onderwaterbetonvloer en door de funderingspalen indien die door het onderwaterbeton in de constructievloer steken. Hierdoor ontstaan trekspanningen in de vloer, die doorgaande scheuren kunnen veroorzaken. Doorgaande scheuren kunnen watervoerend zijn en leiden tot lekkages. Deze scheuren komen vaak pas aan het licht tijdens of na het opkomen van het grondwater, of zelfs pas na een koude periode in de winter.

Een veel gehanteerde oplossing is het aanbrengen van voldoende wapening om de scheurwijdte te beheersen. In de praktijk zijn er echter enkele bezwaren tegen deze schijnbaar eenvoudige oplossing. Zo kunnen de benodigde wapenings-percentages flink oplopen. Ook het koelen van beton levert lang niet altijd het gewenste effect. Dat geldt ook voor het injecteren: na het injecteren kunnen zich na een koude periode weer nieuwe scheuren vormen.

Het probleem is bijzonder complex en van veel factoren afhankelijk. Om die reden is in 2002 een CUR-commissie VC71 'Constructievloeren op onderwaterbeton' gestart. Deze commissie concludeerde dat een aantal parameters een aanzienlijke invloed heeft op scheurvorming, terwijl ze nog onvoldoende bekend zijn. De temperatuur in de ondergrond, de onderwaterbetonvloer en de constructievloer op langere termijn werd als een van de belangrijkste te valideren parameters aangemerkt. Van invloed zijn ook de dikte van de constructievloer en onderwaterbetonvloer, wel of geen tussenlaag en het type (trek)palen. De commissie kwam in 2007 tot de conclusie dat er nog te veel onzekerheid bestaat over de parameters om tot een verantwoorde CUR-Aanbeveling te komen.

#### ● LITERATUUR

- 8 Galjaard, J.C., Constructievloeren op onderwaterbeton. *Cement* 2007/6.
- 9 Woerd, W.H. van der, Bouwmeester – Van den Bos, W.J., Constructievloeren op onderwaterbeton. *Cement* 2011/1.
- 10 VC71 Interim-rapport, Scheurgedrag en berekening van constructievloeren van gewapend beton op onderwaterbetonvloeren.

### Stromend water en betonstorten

Waterdichte constructies worden vaak gemaakt in tijdelijke constructies ten behoeve van een (relatief) droge werkplek. Deze tijdelijke constructies hoeven niet volledig waterdicht te zijn. Het doel is slechts het water buiten houden om vervolgens een waterdichte constructie te kunnen bouwen. Lekkages in deze tijdelijke constructies zijn dan ook meestal geen probleem. Anders is het wanneer tegen deze lekkages wordt aangestort.



5

Dat kan leiden tot grote problemen. In die gevallen zou het lekkende water namelijk een grote druk opbouwen tegen de verse betonspecie. Als de specie deze druk niet kan weerstaan, zoekt het water zich een weg door deze specie heen. Het creëert daarbij kanaaltjes waardoor het water kan blijven stromen, terwijl het beton verhardt. Het resultaat is dat de vloer of wand na verharding niet waterdicht is, maar op diverse plaatsen water doorlaat (foto 5). Reparatie in de vorm van injectie is in die gevallen vrijwel onmogelijk, omdat de kanaaltjes niet met elkaar in verbinding staan. Vaak resteert alleen sloop van het aangetaste deel als oplossing.

Voorkomen is veelal simpel: stort geen beton tegen stromend water. Dit kan bijvoorbeeld door het maken van een drainage bij een lekkage, waardoor het water zijdelings of naar boven wordt afgevoerd. Een dergelijke drainage kan bestaan uit drainerend zand bij een lekkage in een onderwaterbetonvloer (foto 6), of een drainagemat die over de lekkage wordt gelegd. Door de afvoer van het water wordt de opbouw van waterdruk onder de verse betonspecie voorkomen, waardoor het realiseren van een waterdichte constructie mogelijk is.



6

- 7 Lekkage in een vloer die tegen een damwand is aangestort
- 8 Een verbinding met een gewapende opstort op de onderwaterbetonvloer tegen de damwand



7

### Aansluiting onderwaterbetonvloeren op stalen damwanden

In de praktijk blijkt de aansluiting tussen een onderwaterbetonvloer en een stalen damwand niet altijd waterdicht (foto 7). Dit kan verschillende oorzaken hebben. Een daarvan is slibinsluiting tijdens de stort tegen de damwand. Hierdoor ontstaat geen of een slechte aanhechting van de vloer met de wand. Het is daarom belangrijk de damwandkassen ter plaatse van de aansluiting altijd schoon te spuiten en te controleren op de aanwezigheid van slib, voordat de onderwaterbetonvloer wordt gestort. Een andere oorzaak kan zijn een hoekverdraaiing van de damwand gedurende de eerste verharding van de betonspecie. Deze beweging kan worden veroorzaakt door een hoge variabele

bovenbelasting (bouwverkeer) of door grote variatie in (grond) waterstand buiten de kuip en daarmee een hydrostatisch drukverschil, bijvoorbeeld door invloed van getijdeverschillen. De hoekverdraaiing kan ook ontstaan op een later tijdstip door het leegpompen van de bouwkuip. Door het weghalen van de waterdruk aan één zijde van de damwand zal de damwand vervormen, waardoor ruimte ontstaat tussen beton en damwand.

Het gevolg is in elk geval een lekkage met stromend water, die afhankelijk van de definitieve constructie wel of geen aandacht vraagt.

Wanneer de bouwkuip waterdicht moet zijn, is een effectieve oplossing de verbinding tussen vloer en damwand naderhand in den droge te maken met een gewapende opstort op de onderwaterbetonvloer tegen de damwand (foto 8). Voor een goede verankering kunnen ankers aan de damwand worden gelast. Deze opstort vraagt wel ruimte, waarmee bij het ontwerp rekening moet worden gehouden.

Een andere oplossing is een horizontale, doorgaande strip die onder water tegen de damwand wordt aangelast. Hiermee wordt de mogelijke lekweg verlengd waardoor de kans op lekkage ter plaatse van de aansluiting wordt verminderd, ook bij slechte aanhechting van de vloer met de damwand.

Als op de onderwaterbetonvloer een constructievloer wordt aangebracht, kan de waterdichtheid ook in de aansluiting van de constructievloer met de damwand worden bewerkstelligd. Er is speciaal voor deze aansluiting een zwelband ontwikkeld die in de praktijk met wisselend resultaat is toegepast [11]. Bij alle oplossingen blijft het storten van beton waar lekkages aanwezig zijn een aandachtspunt, dat het succes van de oplossing bepaalt (zie vorig punt).

#### LITERATUUR

- 11 Handboek tunnelbouw – Civieltechnisch Ontwerp en Realisatie van Tunnels, COB.

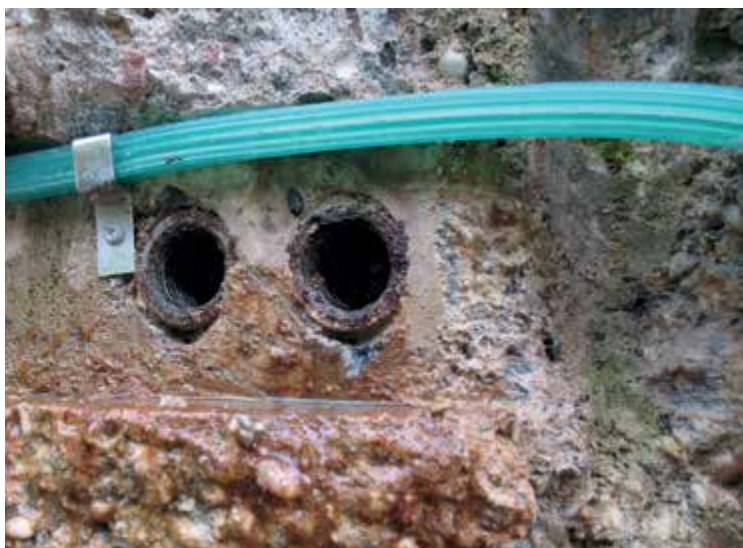
8



### Vloeraansluitingen op diepwanden via stekeinden

Van diepwanden is geaccepteerd dat deze niet 100% waterdicht zijn. Lekkage kan optreden bij bijvoorbeeld voegen tussen de segmenten en door de segmenten van de diepwand zelf [12]. Een specifieke vorm van lekkage bij diepwanden kan plaatsvinden ter plaatse van de stekwapening bij vloeraansluitingen. Zoals in het Handboek Diepwanden [13] is aangegeven, kan onder een stekkenbak en stekwapeningsstaven ruimte ontstaan ten gevolge van het nazakken van beton. Dit kan aanleiding geven tot beperkte lekkages die in de praktijk goed injecteerbaar zouden moeten zijn, zo is in [13] aangegeven. In de praktijk bleek dit bij enkele projecten echter wel gepaard te gaan met zeer omvangrijke injectiewerkzaamheden en daarmee hoge kosten. Het genoemde nazakken treedt volgens Eurocode 2 op onder bovenstaven, waar om die reden met verminderde aanhechting





9



10

moet worden gerekend. Echter, als de dikte van de constructie groter is dan 600 mm, geldt dit alleen voor de bovenste 300 mm. De gedachte hierachter is dat door voldoende speciedruk het beton onder de bovenste 300 mm goed om de wapening vloeit. Voor de zeer hoge diepwanden zou dit betekenen dat nazakken geen effect heeft op de verankering. De in de praktijk waargenomen ruimte onder stekwapening laat zien dat dit, in ieder geval bij diepwanden, anders kan zijn (foto 9 en 10). Het specifieke karakter van diepwanden, waarbij de grond de bekisting vormt van de betonconstructie, speelt daarbij waarschijnlijk een belangrijke factor. Bij vervormbare grondlagen kan het aanbrengen van de betonspecie leiden tot vervormingen van de grond in de tijd en daarmee nazakken van het beton.

Een mogelijke verklaring voor de lekkage ter plaatse van stekwapening is als volgt. In de diepwanden, met daarin over het algemeen veel wapening met grote diameters, zullen door het nazakken van het beton mogelijk kanaaltjes onder horizontale wapeningsstaven aanwezig zijn. Verder is de mengsamenstelling voor diepwanden vaak gevoelig voor bleeding, hetgeen zeker met de hoogte van de diepwanden tot uitstoot van water leidt, dat vaak rond de wapeningsstaven een weg naar boven zoekt. Dit maakt dat ook rond de verticale staven ruimte ontstaat voor water. Kortom, het kan heel goed zo zijn dat in het gewapende middengedeelte, het hart, van de diepwand, zich min of meer een 'gangenstelsel' rond wapeningsstaven bevindt. Omdat zich in de dekking aan de buitenzijde altijd wel ergens een lekweg bevindt, zal dit zijn gevuld met water. Voor alle duidelijkheid, dit is een theorie die – voor zover is bekend – nog niet nader is onderzocht en/of aangetoond. De veelal grote dekking aan weerszijden van de diepwand zorgt ervoor dat de wand nog relatief dicht is. Echter, op plaatsen

waar de stekwapening in de dekking aan de binnenzijde van de diepwand is aangebracht voor de vloeraansluiting, wordt met de holle ruimte onder deze staven een lekweg vanuit het hart van de diepwand gecreëerd. Het water, dat zich in de diepwand bevindt, kan nu eenvoudig onder de stekeinden door zijn weg naar de binnenzijde van de diepwandconstructie vinden.

In de praktijk is waargenomen dat daar waar eerst lekkages optraden bij de stekwapening, na het aanstorten van de vloer de lekkages zich onder of boven de vloer manifesteerden. In die situatie gaat het water klaarblijkelijk zijn weg zoeken door de aangebrachte voeg of het waarschijnlijk enigszins poreuze buitenste gedeelte van de diepwanddekking.

#### ● LITERATUUR

- 12 NEN-EN 1538, Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Diepwanden. September 2010.
- 13 CUR/COB-rapport 231 'Handboek diepwanden – Ontwerp en uitvoering', Stichting CURNET, Gouda, 2010.
- 14 NEN-EN 1992-1-1+C2, Eurocode 2, november 2011.

### Gewaarschuwd mens

Zoals uit bovenstaande blijkt, zijn er niet voor alle gevallen eenduidige oorzaken en oplossingen om de problemen te voorkomen. Het belangrijkste is dat deze fenomenen worden onderkend en dat daarover wordt gecommuniceerd. Hiermee wordt voorkomen dat een opdrachtgever na 1 à 2 jaar wordt verrast door lekkages en advocaten aan het werk worden gezet. Het bouwen van een waterdichte constructie is soms letterlijk een strijd tegen het water. Waarbij ook geldt dat het water niet is te vertrouwen. Maar een gewaarschuwd mens telt voor twee! ☒