



De praktijk van onderwaterbeton voor ontwerp, uitvoering en technologie

Balanceren voor gevorderden

Het klinkt simpel, het maken van een bouwput met een vloer van ongewapend onderwaterbeton (owb). De praktijk is echter niet zo eenvoudig, niet in de laatste plaats vanwege de vele disciplines die erbij betrokken zijn: de ontwerper, de beton-technoloog, de uitvoerder, het duikbedrijf, het

betonpompbedrijf. De onderwaterbetonvloer is bovendien ook nog eens een van de weinige betonconstructies die vanaf dag één (het moment dat de put wordt drooggepompt) maximaal wordt belast en dus qua verhardingstijd op het kritieke pad ligt.

- 1 Traditionele onderwaterbetonvloer met prefab betonpalen met ribbels in betonkwaliteit B25; in de vloer is de aftekening van de schotel tijdens het storten zichtbaar (Tweede Beneluxtunnel, Rotterdam)
- 2 Proces maken bouwkuip met onderwaterbeton

Bij het bouwen van beneden het maaiveld of beter gezegd onder het grondwater gelegen constructies of constructiedelen wordt vaak gebruikgemaakt van een bouwkuip. Deze wordt aan de zijkant afgesloten door een bouwkuipwand, bijvoorbeeld een damwand, combiwand, schroefpalenwand of diepwand. Aan de onderzijde bevindt zich een onderwaterbetonvloer. De term onderwaterbeton wordt gebruikt omdat het beton onder water wordt gestort.

De vloer moet sterk genoeg zijn om de opwaartse druk van het water of van het zwellen van de ondergrond te kunnen opnemen. Het verticale evenwicht wordt verzorgd door het eigen gewicht, meestal in combinatie met trekelementen die in de vloer zijn verankerd als heipalen of trekankers met een schotelverbinding. Deze trekelementen dragen de belasting via kleef/wrijving af naar de dieper gelegen ondergrond.

Voor het realiseren van de bouwkuip wordt meestal als volgt gewerkt (fig. 2):

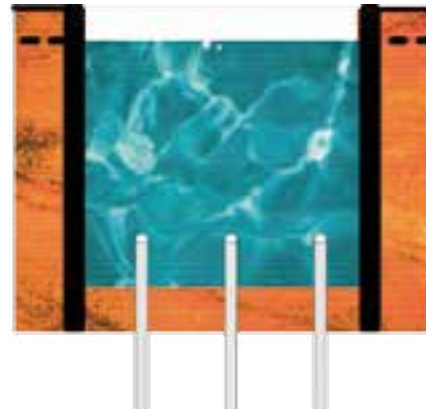
- a. vervaardigen van een waterkerende, verticale bouwkuipwand;
- b. ontgraven van de bouwkuip wanneer deze nog onder water staat;
- c. indien noodzakelijk aanbrengen van trekelementen (in sommige gevallen worden eerst de trekelementen aangebracht en wordt daarna pas ontgraven);
- d. afdichten van de bouwkuipbodem door middel van een onderwaterbetonvloer;
- e. leegpompen van de bouwkuip zonder dat het grondwaterpeil in de omgeving wordt beïnvloed;
- f. bouwen van de constructie (inclusief constructieve vloer) in de drooggelegde bouwkuip.



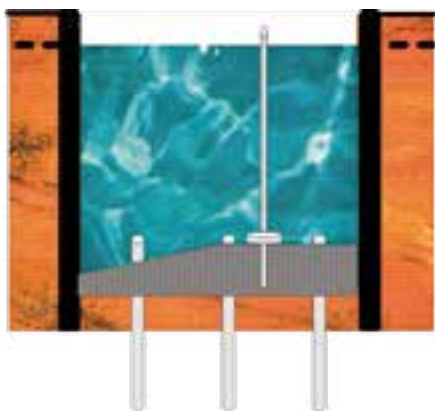
2a grond voorzien van bouwkuipwanden



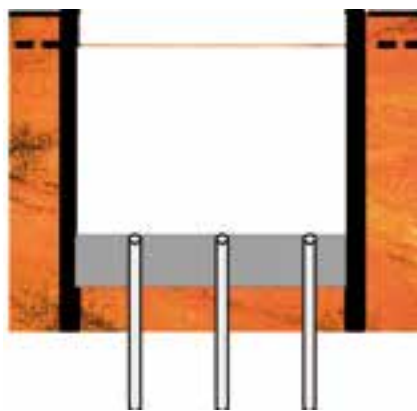
2b ontgraven bouwkuip



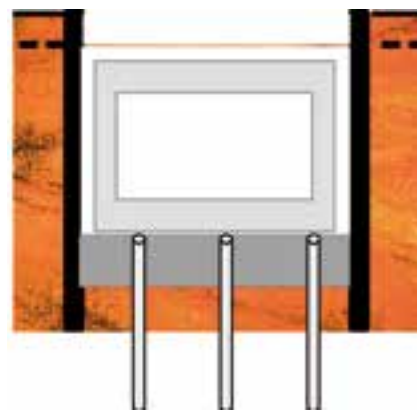
2c aanbrengen trekelementen



2d storten onderwaterbeton



2e leegpompen bouwkuip



2f betonconstructie in bouwkuip

Betrokkenen

Bij het ontwerp en de realisatie van een onderwaterbetonvloer zijn, zoals gezegd, verschillende partijen betrokken. De (geotechnisch) ontwerper is betrokken bij het ontwerp van de onderwaterbetonvloer, het dam-/diepwandontwerp en de mogelijke verankering daarvan, alsmede de verankering van de onderwaterbetonvloer zelf. Voor de realisatie van het onderwaterbeton worden nog meer disciplines ingeschakeld: de betontechnoloog voor het maken van het mengselontwerp, de uitvoerder voor de logistiek, het duikbedrijf voor het storten onder water en het betonpompbedrijf voor het aanbrengen van de betonspecie.

Deze partijen hebben bovendien soms tegenstrijdige belangen. Per discipline zullen deze belangen worden beschreven.

Ontwerp

Het uitgangspunt voor het ontwerp is in principe het op zo goedkoop mogelijke wijze realiseren van een betrouwbare bouwput. De beperking van de ontgravingsdiepte door het toepassen van een zo dun mogelijke onderwaterbetonvloer is hierbij van groot belang. Dit leidt niet alleen tot beperking van de hoeveelheid onderwaterbeton, maar ook tot beperking van de hoeveelheid te ontgraven grond. Verder kan bij een beperkte ontgravingsdiepte regelmatig worden bespaard op damwand door verkleining van de inheidiepte, soms in combinatie met een lichtere damwand en/of lichter stempelraam/verankeringsconstructie.

De samenwerking tussen de verankeringsconstructie en de damwand/diepwand bepaalt de dikte van de onderwaterbetonvloer. Bedacht moet worden dat het bezwijken van de onderwaterbetonvloer leidt tot een brosse breuk: het betreft immers ongewapend beton.

De onderwaterbetonvloer heeft ook een aanzienlijke invloed in de daarop gestorte constructievloer. Niet alleen door de vermindering van de verkorting van de constructievloer waardoor hydratatie en krimpscheuren in die vloer ontstaan, maar bijvoorbeeld ook door de samenwerking tussen de twee in de weerstand tegen buiging. Dit laatste lijkt op het eerste gezicht gunstig, maar kan in de praktijk betekenen dat de constructievloer aan een aanzienlijk hogere trekbelasting wordt blootge-



steld dan waarop hij is ontworpen. Verklaring daarvan is dat de gecombineerde vloer een veel hogere stijfheid heeft dan de constructievloer alleen, en daardoor ook veel hogere belastingen kan 'aantrekken'.

Uitvoering

Qua uitvoering lijkt onderwaterbeton simpel: zonder wapening een vlakke vloer storten. Toch zijn er een aantal punten die de uitvoering speciaal maken.

Ten eerste speelt de realisatie zich af onder water: er is niets direct zichtbaar of meetbaar. Voor het schoonmaken van de damwandkassen en de trekpalen vóór het storten, zijn duikers nodig die te maken hebben met beperkt zicht onder water. Het beperkte zicht komt ook naar voren tijdens het storten zelf. De controle op het vullen van de damwandkassen en het stortfront met eventuele insluitingen is niet altijd zo eenvoudig als boven water. Het resultaat is dan ook niet gemakkelijk te controleren, maar kan wel gevolgen hebben voor de waterdichtheid en de constructieve werking.

Daarnaast leidt het werken onder water tot speciale eisen voor het storten. Hoewel beton eenmaal aangebracht onder water goed kan verhard, kan het storten in het water niet zomaar plaatsvinden. Zeker bij een grote afstand zal het transport c.q. het vallen van betonspecie door het water leiden tot uitspoeling



3 Bouwkuip gereed voor het storten van onderwaterbeton tussen het definitieve stempelraam en de onder water aanwezige trekpalen (A4 Burgerveen-Leiden)

van het cement. Dit vraagt om een speciaal mengsel (colloïdaal beton) of een aangepaste stortmethode, waarbij het contact met water wordt beperkt. Voor het maken van onderwaterbetonvloeren wordt voornamelijk de aangepaste stortmethode gebruikt. Hiervan zijn diverse vormen, zoals met een hopdobber of met een stortventiel. Die vormen zijn allen terug te voeren op het gebruik van een buis, waardoor de betonspecie door het water wordt getransporteerd tot in de eerder gestorte beton-specie. Vaak is aan de onderzijde van de buis een schotel aangebracht om te zorgen dat de buis drijft en het uiteinde van de buis in de verse betonspecie blijft steken. De bovenzijde wordt op deze manier gevlakt en de verse specie komt niet direct met water in aanraking.

Een laatste aandachtspunt gerelateerd aan het werken onder water betreft de toleranties van de vloer. In het ontwerp wordt gerekend met een dikte voor de onderwaterbetonvloer. Voor het realiseren van deze dikte zijn de tolerantie aan onder- en bovenzijde van belang. De tolerantie aan de onderzijde is gerelateerd aan ontgraven. Hoe vlakker er ontgraven wordt, hoe kleiner de tolerantie aan de onderzijde. De tolerantie aan de bovenzijde wordt bij het storten deels bepaald door de stortwijze (hopdobber, stortventiel, schotel) in samenhang met de consistentie van de betonspecie. Aangezien er geen verdichting of afwerking plaatsvindt, wordt de vlakheid tijdens het storten bepaald, waarbij door de aanwezigheid van stempels, gordin-

gen en palen de betonspecie vaak over enkele meters moet uitvloeien. Het uiteindelijke resultaat is een vlakke vloer als de tolerantie +/- 75 mm bedraagt.

Een ander punt is, dat het bij onderwaterbeton door de afmetingen vaak om veel m³ gaat. De onderwaterbetonstorten kunnen tot wel duizenden m³ bedragen. Hoewel de stortsnellheid vaak hoog ligt van 70 tot 200 m³/uur, zal door de grote hoeveelheid de stortduur toch nog aanzienlijk zijn (24 tot 96 uur komt met regelmaat voor). Het is daarbij ook een continue stort: eenmaal begonnen, moet het storten doorgaan. Onderbrekingen kunnen leiden tot problemen met de waterdichtheid van de bouwput. Dit speelt bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van een stempelraam: het opnieuw opstarten aan de andere zijde van het stempelraam is een onderbreking van het continue proces en kan bij onvoldoende aandacht en onzorgvuldigheid leiden tot een zwakke zone.

Als laatste punt bij de uitvoering het feit dat onderwaterbeton vaak op het kritieke pad ligt in een project. Vooral de tijd tussen het storten en het moment waarop de sterkte voldoende is om het afpompen te starten, is 'verloren' tijd: zolang het onderwaterbeton niet op sterkte is en de bouwput leeggepompt kan worden, is het niet mogelijk op die locatie te bouwen.

Tot slot een overweging. Onderwaterbeton laat geen fouten toe: door de locatie onder water is het vrijwel onmogelijk fouten te herstellen en is slopen van beton onder water niet eenvoudig.

Technologie

Dat onderwaterbeton leidt tot compromissen is al zichtbaar in de eisen aan de betonsamenstelling. In het mengselontwerp moeten een aantal tegenstrijdige eisen worden verenigd. Voor een goede uitvloeit van de betonspecie onder water, waarbij damwandkassen worden gevuld en trekelementen omhuld, is een hoge verwerkbaarheid noodzakelijk. Door stortmethode komt de betonspecie zo min mogelijk met water in aanraking. Toch kan dat contact met water niet worden voorkomen. Om uitspoeling te voorkomen/beperken, wordt gebruikgemaakt van een mengselsamenstelling met voldoende samenhang. Echter bij voldoende samenhang is de uitvloeit van de betonspecie minder. Een evenwicht tussen deze twee eisen moet worden gevonden.



4

De grote afmetingen van de vloer (dikte ca. 1 m) leiden tijdens de verharding tot hoge temperaturen met als gevolg een risico op scheurvorming. Wanneer dit doorgaande scheuren zijn, is lekkage het gevolg. Dit is niet gewenst vanwege de waterdichtheid, maar ook om vervolgschade in de definitieve vloer te voorkomen. Om het risico op scheurvorming te reduceren, is beperking van het cementgehalte gewenst. Echter de verharding van het onderwaterbeton ligt veelal op het kritieke pad, waardoor een snelle sterkteontwikkeling is gewenst. Zeker in

de winter, wanneer het onderwaterbeton in het koude water wordt gestort, kan de ontwikkeling van de sterkte meer tijd in beslag nemen dan vooraf in de planning is voorzien. In dat geval is een hoger cementgehalte gewenst. Een weloverwogen keuze tussen deze twee aspecten is gewenst.

Afstemming disciplines

Men dient zich bewust te zijn dat een onderwaterbetonvloer – of eigenlijk een veilige, droge omgeving waarin een betonconstructie kan worden gebouwd – ontstaat door samenwerking tussen partijen. Partijen met elk hun eigen eisen en wensen met betrekking tot de onderwaterbetonvloer. Zo zal de ontwerper willen uitgaan van een bepaalde gemiddelde dikte, terwijl de uitvoering naderhand zo min mogelijk wil weghakken en daarom zal kiezen voor een vloer die liever iets te laag dan te hoog ligt. De uitvoerder zal van de duiker vragen de vloer zo vlak mogelijk af te werken. Deze op zijn beurt zal daarom een hoge vloeibaarheid van het betonmengsel voor de onderwaterbetonvloer eisen. Dit kan onbedoeld leiden tot mengsels die relatief veel cement bevatten, waardoor weer veel scheuren ontstaan enzovoort.

Bij de uitvoering willen ook nog wel eens verkeerde verwachtingen leven ten aanzien van het moment dat de put kan worden leeggepompt, of in de woorden van de ontwerper, aan zijn maximale belasting kan worden blootgesteld. Regelmatig wordt de verwachting uitgesproken dat de put met 14 dagen wel kan worden leeggepompt, terwijl dat in de winter met traag reagerende mengsels ook rustig een paar maanden kan duren. Door circulatie in de bouwkuip wordt het opwarmende water boven de onderwaterbetonvloer steeds ververst, waardoor het onderwaterbeton wordt gekoeld. Daarbij speelt ook het begrip betonsterkte een rol: de constructeur heeft het over de karakteristieke sterkte, terwijl de uitvoerder in de praktijk alleen een aanwezig gemiddelde druksterkte kan meten – dit verschil van 7 à 8 MPa betekent al snel een week langer wachten.

Ontwikkelingen

In de loop van de jaren is er behoorlijk wat veranderd in de aanpak van onderwaterbetonvloeren. Door het streven van beperking van de overlast voor de omgeving en sneller bouwen, wordt voor de trekelementen steeds vaker gekozen voor Gewi-palen. Deze geven niet alleen minder geluidsoverlast bij het aanbrengen, ook ligt de snelheid van aanbrengen hoger. Hierdoor is de periode van overlast korter. De Gewi-palen hebben echter een slapper gedrag, waardoor grotere vervormingen bij het leegpompen van de bouwput zijn te verwachten. Dit heeft gevolgen voor het ontwerp, wat voor een klein deel kan worden gecompenseerd met een hogere sterkteklasse. Echter een punt

van aandacht bij de toepassing blijft de aansluiting met de damwand of diepwand. Moet het onderwaterbeton kunnen slippen ten opzichte van de damwand wanneer zeer slappe ankers (t.o.v. de damwand) worden toegepast? Een andere, terugkerende vraag is hoe kan worden gezorgd voor een waterdichte aansluiting tussen damwand en onderwaterbetonvloer.

Op technologiegebied zijn er voor het onderwaterbeton positieve ontwikkelingen te melden. Met de nieuwe hulpstoffen is het mogelijk betonspecie te ontwerpen met meer vloeibaarheid in combinatie met samenhang. De uitdaging ligt in het vinden van de goede verhouding tussen deze twee. Daarnaast geven deze hulpstoffen mogelijkheden om de sterkteklasse te verhogen ten opzichte van de gebruikelijke C20/25. Ook hierbij geldt

- 4 Leegpompen bouwkuip, de trekpalen die door het onderwaterbeton steken zijn reeds zichtbaar (Tweede Julianasluis, Gouda)
- 5 Het onderwaterbeton is boven water gekomen, de vloer wordt ingemeten (Tweede Julianasluis, Gouda)

dat de nodige voorzichtigheid is gewenst om andere eigenschappen die nodig zijn tijdens de uitvoering van het onderwaterbeton niet te veel te verstoren.

Bij het ontwerp van onderwaterbetonvloeren wordt men regelmatig geconfronteerd met beperkingen in de normen en regelgeving. Enkele decennia geleden was het nog gebruikelijk uit te gaan van een vrij lage sterkteklasse van C20/25 verankerd met betonpalen met ribbels. Op deze ervaringen is de regelgeving gebaseerd. Tegenwoordig komt ook sterkteklasse C30/37, of soms zelfs C35/45 voor, verankerd met Gewi-ankers. Daardoor is zo langzamerhand de situatie ontstaan dat de regelgeving ook niet meer zo goed aansluit op wat in de praktijk gebruikelijk is. Zo zijn ontwerpen van relatief ondiepe bouwkuipen op basis van CUR-Aanbeveling 77 niet economisch, en wordt hiervoor regelmatig teruggevallen op de oude 'Bouwdienst-methode'. In de zoektocht naar een economische oplossing wordt ook daar regelmatig van afgeweken door variaties op het oorspronkelijke ontwerp toe te passen. Uitbreiding van de regelgeving, zodat deze ook toepasbaar is op relatief ondiepe bouwkuipen, is daarom dringend gewenst.

Ook op andere punten zijn verbeteringen mogelijk, zoals voor onregelmatig gevormde bouwputten, of onregelmatige ankerpatronen. Daarbij zou het vooral handig zijn de ontwerpberekeningen ook gecontroleerd met een eindige-elementenmethode te kunnen uitvoeren. Dan zou bijvoorbeeld ook het afnemen van de stempelkracht met het toenemen van de afstand van de damwand door de horizontale verhindering van de trekelementen kunnen worden gemodelleerd. De scheurvorming bij een aantal projecten in deze vloeren lijkt althans een aanwijzing te zijn dat deze stempelkracht sterker afneemt dan men altijd heeft gedacht.

Wat ook tot de mogelijkheden behoort, is het gebruik van staalvezels in het onderwaterbeton. Het gaat om staalvezels die op de betoncentrale aan de betonspecie worden toegevoegd en daarmee eenvoudig kunnen worden aangebracht. Deze staalvezels kunnen de ductiliteit van de vloer verhogen. Om deze staalvezels op een goede manier te kunnen toepassen, is aandacht en een goede afstemming tussen ontwerp, uitvoering en technologie een vereiste.

Tot slot

Een goede onderwaterbetonvloer vraagt een vroegtijdige afstemming tussen alle betrokken partijen. Hierbij moeten alle raakvlakken tussen de disciplines worden benoemd. In een open, kritische dialoog worden wensen en beperkingen besproken en de juiste afwegingen en keuzen gemaakt. Onderwaterbeton: het is balanceren voor gevorderden.

