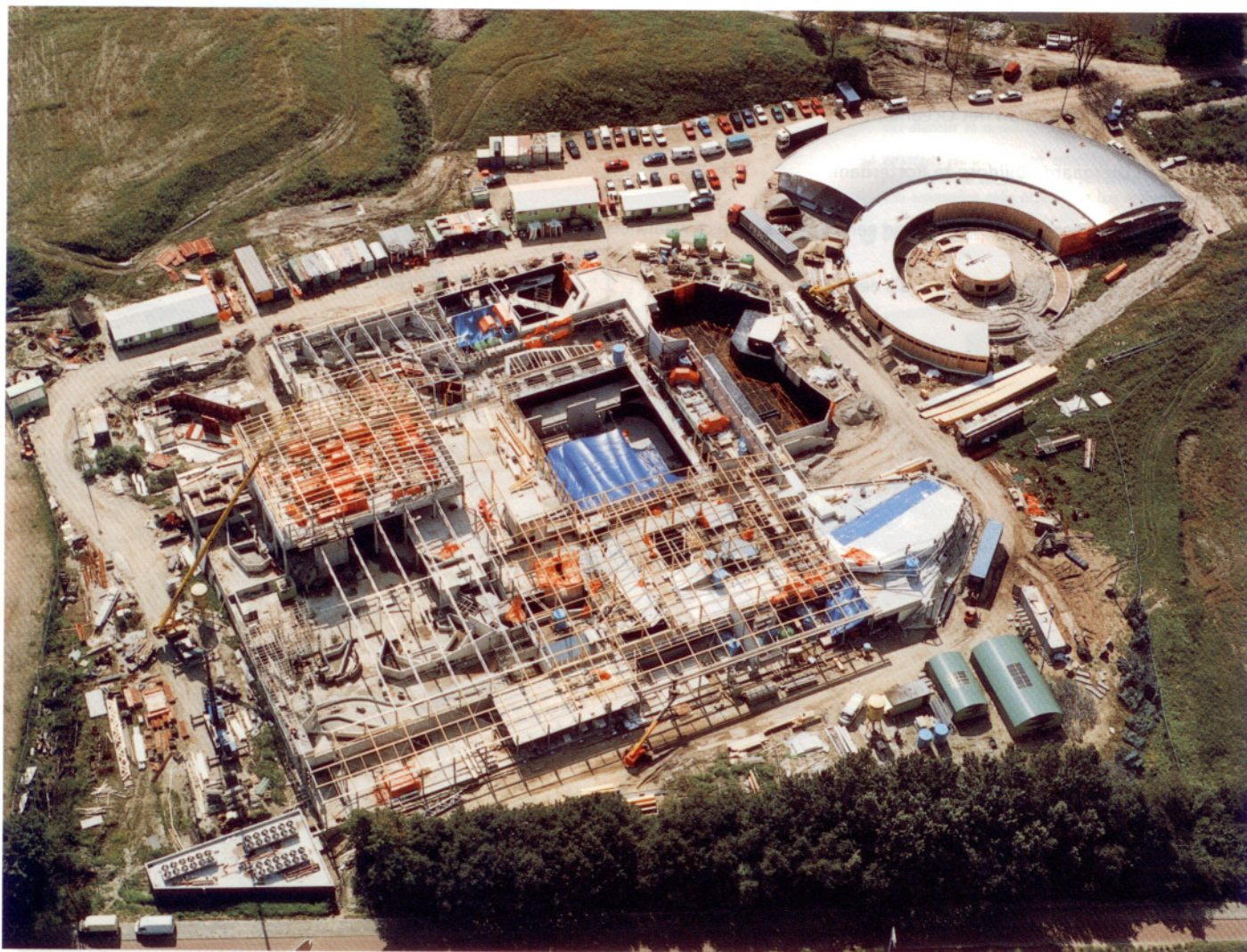


Oceanium Blijdorp Rotterdam

Honderd procent waterdicht!

ir. J.A. Ketel, CAE Nederland, Rotterdam



1 | Betonwerk voor het Oceanium is gereed. In het midden het grote haaienbassin met aan de bovenzijde horizontale steunranden ('spatrand')
foto: Aeroview Dick Sellenraad

Het Oceanium omvat een groot aantal zeewaterbassins van zeer verschillende afmetingen. De afmetingen variëren van $1 \times 1 \text{ m}^2$ tot $25 \times 30 \text{ m}^2$, de waterhoogte loopt uiteen van enkele decimeters tot zeven meter. Alle aquaria zijn uitgevoerd in ter plaatse gestort beton. Door de opdrachtgever, Diergaarde Blijdorp, werden uitgangspunten vastgelegd die van wezenlijke invloed waren op het ontwerp. Deze betroffen de waterdichtheid, de kwaliteit en de levensduur van de bassins, het schoon beton en het behoud van de kwaliteit van het zeewater in de bassins.

Waterdichtheid

Ontwerp, detaillering en uitvoering van de betonnen bassins moesten zodanig zijn dat een absolute garantie voor waterdichtheid kon worden gegeven. Dit voor de hand liggende basis-uitgangspunt werd door de op-

drachtgever nader aangescherpt met het gegeven dat elk aquarium onderdeel is van een groter geheel van waterbiotopen en watercirculatiesystemen. De kans dat een aquarium van enige omvang of van grote biologische waarde zou moeten worden leeg-

gepompt vanwege een calamiteit, moest tot vrijwel nihil worden gereduceerd.

Hieruit volgde de eis dat de waterdichtheid volledig door het ontwerp van de betonconstructies moest worden gegarandeerd en niet mocht worden bereikt met additionele maatregelen aan de waterzijde van de bassins in de vorm van waterdichte coatings. Afgezien van de niet geringe kosten van coatingsystemen, konden bij de technische meerwaarde ervan voor de bijzondere omstandigheden zoals bij het Oceanium, kritische kanttekenin-

gen worden geplaatst. Een monoliete betonconstructie kan reeds een zodanige kwaliteit bezitten, dat het aanbrengen van een coating op het contactvlak beton-water voor de waterdichtheid geen toegevoegde waarde heeft. Het aanbrengen van een coating als bescherming van het beton tegen zeewater is slechts van belang wanneer de betonkwaliteit en de porositeit van het oppervlak te wensen overlaten. Tegelijkertijd worden de kwaliteit en de hechting van de coating kritische succesfactoren, gezien het gevaar voor waterindringing achter de coating en loslaten van de coating door dampspanning in het beton. De biologische en logistieke bezwaren tegen leegpompen en reparaties legden zeer duidelijk de nadruk op de waterdichtheid van de betonconstructies zelf.

Bij de huidige stand van de bouwtechniek is het maken van waterdichte en zeewaterbestendige betonconstructies geen wezenlijk probleem. Er gelden algemene regels, die een absolute garantie voor waterdichtheid bieden. Zonder diep op de materie in te gaan moet in het algemeen worden gelet op de drie volgende aspecten:

Beperken of geheel voorkomen van scheurvorming

Scheurvorming in de onbelaste constructie kan diverse oorzaken hebben: verhardingskrimp, uitzettingskrimp en warmteontwikkeling tijdens het verhardingsproces. Scheurvorming in de belaste constructie kan worden veroorzaakt door trekspanningen en temperatuurspanningen.

Scheurvorming kan adequaat worden ondervangen door gebruik van cement met een lage bindingswarmte, het voldoende lang nat houden van de constructie na het ontkisten, het toepassen van voldoende en fijnmazig verdeelde wapening of het gedeeltelijk of geheel voorspannen van de constructie. In het algemeen levert een beperkte scheurvorming kleiner dan 0,1 mm geen problemen op.

Voorkomen van porositeit van het beton

Dit aspect wordt ondervangen door het toepassen van betonspecie met een zodanige consistentie en korrelafmeting, dat de specie tijdens het storten de bekisting volledig vult en de wapening en instortvoorzieningen volledig omhult. De consistentie van de specie wordt bepaald door de

cementsoort, de korrelverdeling van de toeslagmaterialen, de water-cementfactor en de toevoeging van een plastificeerder of andere hulpstoffen. Het toepassen van voldoende dekking op de wapening geeft een goede doorstroming van de specie. Het vakkundig trillen en verdichten tijdens het storten is van invloed op de dichtheid en de oppervlakestructuur van het beton.

Voorkomen van lekkages bij aansluitingen

In het algemeen wordt de waterdichtheid van betonconstructies niet bepaald door de gesloten betonvlakken, maar door de onderbrekingen bij aansluitingen van verschillende constructieonderdelen. Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de detaillering en uitvoering van aansluitingen van wanden en vloeren en van wanden onderling. Het meest kritieke punt is de aansluiting vloer-wand (kim).

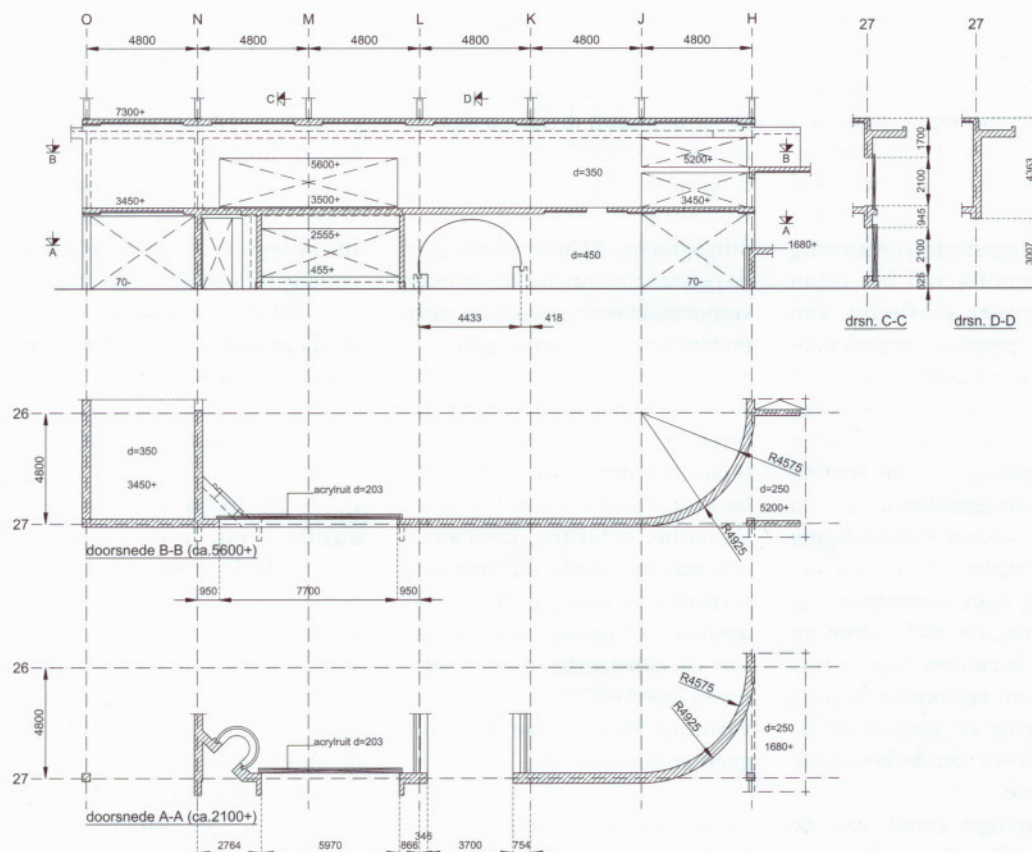
Door het achterwege laten van opstortingen voor de wandkist, het toepassen van naadloos gelaste stalen kimplaten en het instorten van (preventieve) mortelinjectieslangen is een waterdichte aansluiting volledig verzekerd.



2 | Tunnel onder het haaienbassin, uitkomend in de 'grote-gatenwand'. Deze wand gaf aanleiding tot het uiteindelijk groot-schalige gebruik van zelfverdichtend beton

foto: Henk van der Veen

3 | Aanzicht en enkele



Kwaliteit en levensduur

Kwaliteit en levensduur van de betonconstructies moesten zijn afgestemd op permanente belasting door zeewater. Het ontwerp diende zodanig te zijn dat de chemische resistentie van het beton tegen zeewater, zowel bij het permanent onder water gelegen beton als bij het beton op het grensvlak lucht-water, was gegarandeerd. Ook bij deze eis speelde het argument dat de kans op reparaties tot het absolute minimum moest worden beperkt.

Schoon beton

Alle bassinwanden moesten in schoon beton worden uitgevoerd, aangezien veel wanden niet achter decoratie zouden verdwijnen maar, voorzien van een dunne kleurcoating, in het zicht zouden blijven. Voor de vlakheid en het uiterlijk van de betonoppervlakken werd zeer uitdagend oppervlakteklasse 1A gesteld.

Zeewaterkwaliteit

De biologische zeewaterkwaliteit

mocht op geen enkele wijze worden verstoord door het vrijkomen van stoffen uit de constructies, met name vrije kalk en metaalionen. De biologische waterkwaliteit is voor Blijdorp letterlijk van levensbelang en om die reden is de betontechnologische c.q. chemische eis gesteld dat op het scheidingsvlak beton-zeewater geen enkele uitwisseling mocht plaatshebben van stoffen die de waterkwaliteit en de zuurgraad (pH zeewater = 8,2) van het water konden beïnvloeden.

Over de invloed van beton op de biologische waterkwaliteit waren geen gegevens voorhanden waarmee deze eis nader kon worden gekwantificeerd. Het werd daarom noodzakelijk geacht met proeven de invloed van de diverse stoffen in en op het betonoppervlak op de waterkwaliteit vast te stellen. Hiertoe werden in een proefopstelling betonkubussen met verschillende samenstelling en eigenschappen in bakken met

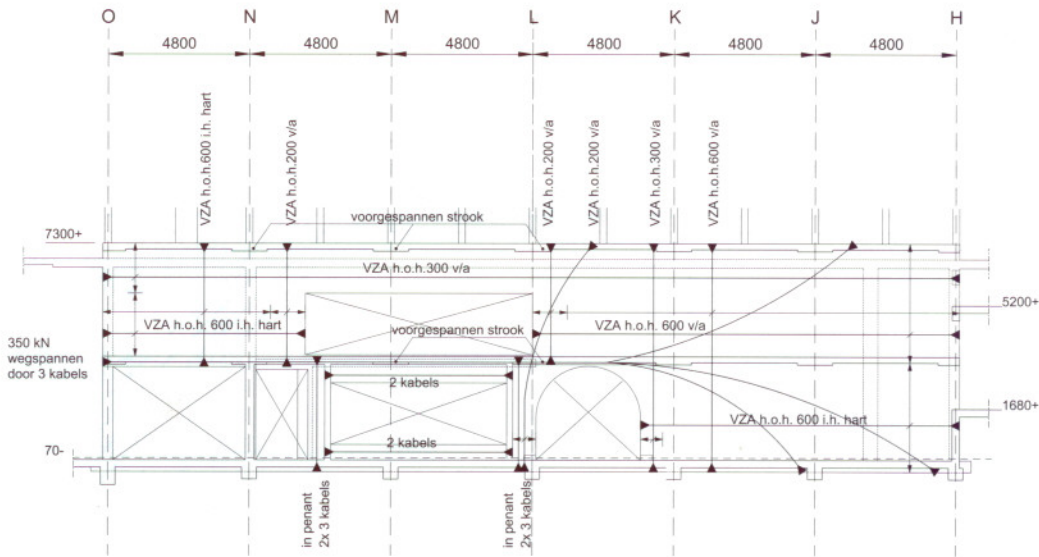
stromend zeewater geplaatst en werden de concentraties van in het water opgeloste stoffen in het verloop van de tijd gemeten. De stoffen waarom het ging waren: vrije kalk, diverse kalkbindende toeslagstoffen, plastificeers en ontkistingsmiddelen. Om een realistisch beeld van de concentraties te verkrijgen, werd het ontwikkeld oppervlak van de betonkubussen in verhouding gebracht met de waterhoeveelheid in de proefbak conform de meest voorkomende bassinafmetingen in het Oceanium. Na verloop van twee maanden kon worden vastgesteld dat 'normaal' beton B 35 zonder bijzondere toeslagstoffen na een korte periode van uitlogen van vrije kalk, geen enkele negatieve invloed had op de pH van het zeewater en dat van andere schadelijke stoffen geen sprake was. Bevolking van de bakken met 'gevoelige' vissen leverde geen andere conclusie op en daarmee werd normaal beton geschikt verklaard voor deze toepassing.

Constructief ontwerp

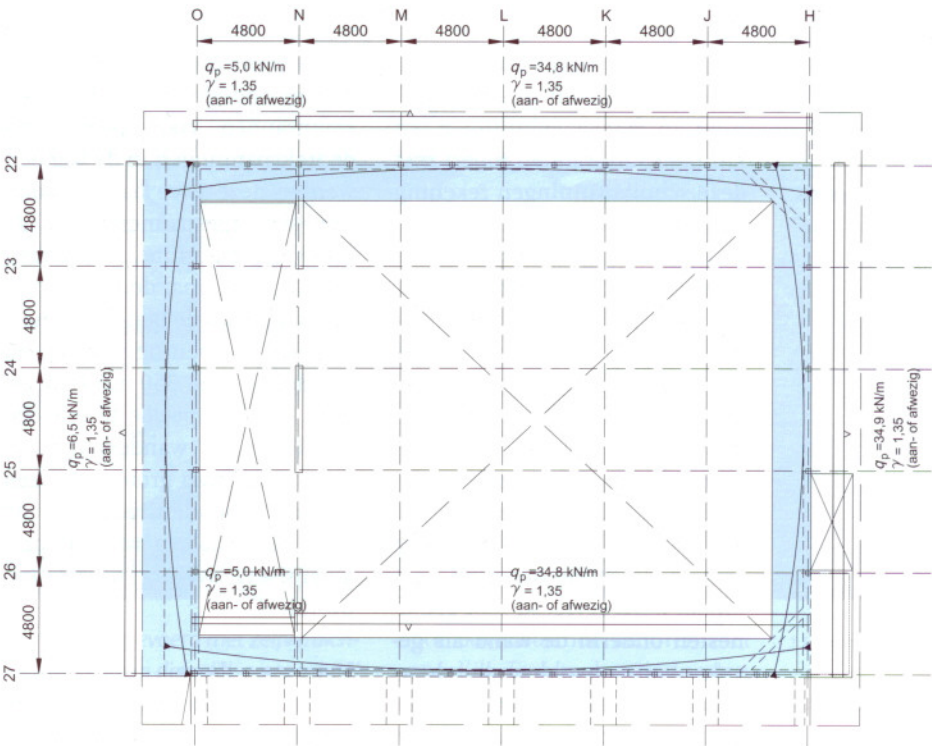
Bij het ontwerpen van grote waterbassins moet rekening worden gehouden met een aantal algemene uitgangspunten die hun oorsprong vinden in de hydrostatische eigenschappen van water. De druk die water uitoefent op de bassinwanden neemt lineair toe met de diepte en deze druk is alzijdig. Wanneer de vorm van een bassin niet is voorgeschreven, kunnen op basis van deze eigenschappen sterk tot de verbeelding sprekende, meestal ronde of rotatiesymmetrische vormen worden ontworpen. Wanneer echter de vorm van een bassin vastligt en afwijkt van de 'ideale' vorm, zijn de hydrostatische eigenschappen bepalend voor het maken van een goed ontwerp.

Bij het constructief ontwerp van de bassinwanden moest rekening worden gehouden met momenten in horizontale en verticale richting en met horizontale trekspanningen. Van belang was dat de wanden overwegend loodrecht op het wandvlak worden belast en slechts in zeer beperkte mate verticaal. Gezocht werd naar starre ondersteuningslijnen voor elke wand in de vorm van loodrecht aansluitende wanden en vloeren, opdat elke wand zoveel mogelijk vierzijdig werd ondersteund en een gelijkmatige wapeningsverdeling kon worden verkregen. Enkele bassins, waarbij geen horizontale steunlijn aanwezig was in de vorm van een achterliggende vloer, werden voorzien van een horizontale steunrand. De verhouding lengte-hoogte werd afgestemd op de optredende buig- en trekspanningen.

Naast trekspanningen in de wanden uit de alzijdige horizontale waterdruk moest tevens rekening worden gehouden met krimpspanningen die bij wandlengtes tot 30 m aanzienlijk kunnen zijn. Als wanddikte werd



4 | Toepassing van voorspanning in het verticale vlak



5 | Belasting op de wanden van het haaienbassin, met globale ligging van de voorspanning in de spatrand

voor de kleine en middelgrote bassins 250 mm en voor de grote bassins 350 mm gekozen. Om de scheurwijdte te beperken en daarmee de waterdichtheid en oppervlakedichtheid te vergroten, werd gekozen voor een fijn verdeelde wapening van niet te grote kenmiddellijn (Ø10 tot Ø16 mm). Bijzondere aandacht werd

gegeven aan de aansluiting van wanden onderling en van de wanden op de funderingsvloer. Bij deze aansluitingen speelt, naast de normale overdracht van buig- en trekspanningen, mede vanwege het ontbreken van hoge verticale drukspanningen in de wanden, de overdracht van schuifspanningen loodrecht op



Enkele zeer grote aquaria, zoals het haaienbassin van $25 \times 30 \text{ m}^2$ met een waterhoogte van 6,50 m en het kelpbassin van $5 \times 10 \text{ m}^2$

Vanwege de eis oppervlakteklasse 1A was in het bestek aangegeven dat alle wanden gestort moesten worden zonder horizontale stortnaden en dat verticale stortnaden zoveel mogelijk beperkt moesten blijven tot hoekaansluitingen. De combinatie van grote sparingen, grote wapeningsconcentraties van FeB 500 met VZA en de voorgeschreven stortnaden maakten sommige wanden tot ware hoogstandjes van uitvoeringstechniek.

De acrylruiten werden aan de binnenzijde van de bassins tegen de vlakke wand geplaatst met rondom een overmaat van 150 mm ten opzichte van de raamsparing. Naast acrylruiten zijn ook ruiten van gelamineerd glas toegepast, die in sponningen in de betonwanden moesten worden geplaatst. Vanwege het gevaar van delamineren door indringing van zeewater moesten de glazen ruiten aan de zijken volledig in kit zijn ingebed. Aan de aansluitvlakken voor de acrylruiten en de sponningen voor de glazen ruiten werden hoge eisen gesteld wat betreft vlakheid, met een tolerantie ten opzichte van een theoretisch vlak van 1 mm per m ruitmaat over de diagonaal gemeten, met een maximum van 10 mm. Deze geringe tolerantie stelde hoge eisen aan de maatvastheid en vormvastheid van de wandbekistingen. Aan deze eis is bij alle wanden voldaan. Ook de aansluiting van de acryltunnels op de bodems en wanden van de bassins vroeg bijzondere aandacht, aangezien deze tunnels moesten worden geplaatst in vooraf ter plaatse gestorte sponningen in betonopstanden op de bassinbodems. Het feit dat de tunnels in twee richtingen gekanteld moesten liggen ten opzichte van het horizontale vlak, maakte de aansluitingen extra gecompliceerd. ■

Oceanium Blijdorp Rotterdam

Geslaagd experiment met zelfverdichtend beton

ir. P.J. Heijboer, J.P. van Eesteren, Rotterdam

J. van Eldik, Mebin Rotterdam



De wanden van de bassins van het Oceanium zijn uitgevoerd met zelfverdichtend beton. Nog niet eerder was deze betonsoort op een dergelijk grote schaal in Nederland op de bouwplaats toegepast. Het ontwerp zat dermate complex in elkaar, dat vrij spoedig door alle betrokkenen tot deze keuze werd besloten. Het ontwikkelingsproces leverde nogal wat bruikbare ervaringen op.

De bassinwanden van het Oceanium zijn 5 tot 7 m hoog, 250 tot 350 mm dik en zeer complex van vorm (foto 1). De wanden hebben grote wapeningshoeveelheden en zijn plaatselijk voorzien van verschillende lagen voorspanning. Vanwege de diverse vloerniveaus moesten ook nog

veel stekkenbakken worden ingestort. Grote sparingen voor de panoramavensters, soms verschillende boven elkaar geplaatst en slechts door lage borstweringen gescheiden, bepaalden mede de complexiteit van de bekisting en de storttechniek.

Het gebruik van trilnaalden was

door bovenstaande factoren niet mogelijk. Eventuele grindnesten zouden in verband met de aanwezige voorspanning niet uit te hakken en te repareren zijn. En juist in dit project waren de volgende aspecten expliciet aan de orde: het leveren van een waterdichte constructie, het zoveel mogelijk voorkomen van stortnaden, het realiseren van een zo glad mogelijk oppervlak en het bereiken van de vereiste dichtheid van het oppervlak.

Daarom is door de aannemer, in

1 | Het bouwproces in volle gang

foto: Aeroview Dick Sellenraad

nauwe samenwerking met constructeur en betonleverancier, gezocht naar een betonspecie die voldoet aan de gestelde technische eigenschappen en die tevens uitvoeringstechnisch toepasbaar is.

Een betontechnologische uitdaging

Uitgangspunt was dat de ontwerpeisen uit het bestek onveranderd dienden te blijven: sterkteklasse B 35, milieuklasse 5d. Als eerste voorstel is gekozen voor een verwerkbaarheid in consistentiegebied 4 en korrelgradeingsgebied AB 16 mm, in feite een 'gewone' mortel. Uiteraard waren deze mengsels voorzien van een ruime hoeveelheid fijn materiaal < 250 µm.

In vervolgesprekken groeide echter de twijfel of de gekozen oplossing wel het antwoord was op alle te verwachten moeilijkheden, reden waarom de aannemer de betonleverancier verzocht na te gaan of er een betonspecie was samen te stellen die (bijna) niet verdicht behoefde te worden. De betonspecie moest blijven voldoen aan de gestelde technische eigenschappen uit het bestek en

uitvoeringstechnisch toe te passen zijn.

Overeengekomen is na te gaan of het toepassen van zelfverdichtend beton (ZVB) een mogelijkheid zou kunnen zijn. Deze betonsoort was destijds in Nederland nog niet eerder op dergelijk grote schaal toegepast voor in het werk gestort beton. ZVB is een betonspecie waaraan werkelijk geen enkele vorm van verdichtingsenergie behoeft te worden toegevoegd. Het mengsel is zo vloeibaar, dat het vloeigedrag niet meer in zetmaat of schudmaat is uit te drukken. De vloeimaat is vaak groter dan 700 mm en daarmee onvergelijkbaar met gewone betonspecie. De specie is bij deze hoge vloeibaarheid zeer stabiel. Ontmenging en/of bleeding treden niet op. De unieke eigenschappen worden verkregen dankzij een speciaal voor dit beton ontwikkelde ontwerp-methode voor de betonsamenstelling en een aangepast productieproces.

Van laboratorium naar praktijk

Op het moment van de voorbereiding van het project Oceanium

(1998) was er in Nederland weinig (praktijk)ervaring met het ontwerpen, produceren en verwerken van ZVB. Mebin ontbeerde de praktische ervaring, maar had al wel, door haar Afdeling Technologische Adviezen, de noodzakelijke kennis in huis. Toepassing van ZVB zou daarom, bij gemis aan praktijkervaring, in goed overleg met aannemer en constructeur moeten plaatshebben.

Voor Mebin betekende dit dat binnen een kort tijdsbestek de laboratoriumervaringen met het ontwerpen en produceren van ZVB moesten worden opgeschaald naar de praktijk. De ontwerpmethodiek voor ZVB, bekend geworden onder de naam 'Japanse methode', wijkt nogal af van de in Nederland gebruikte methode voor het ontwerpen van betonsamenstellingen. Deze methode komt er in het kort op neer dat eerst de gewenste cement/vulstofcombinatie en daarna de theoretisch minimale waterbehoefte van deze poeders wordt vastgesteld. Vervolgens wordt via een zand/cement-mortelproef met behulp van een speciale superplastificeerder de gewenste

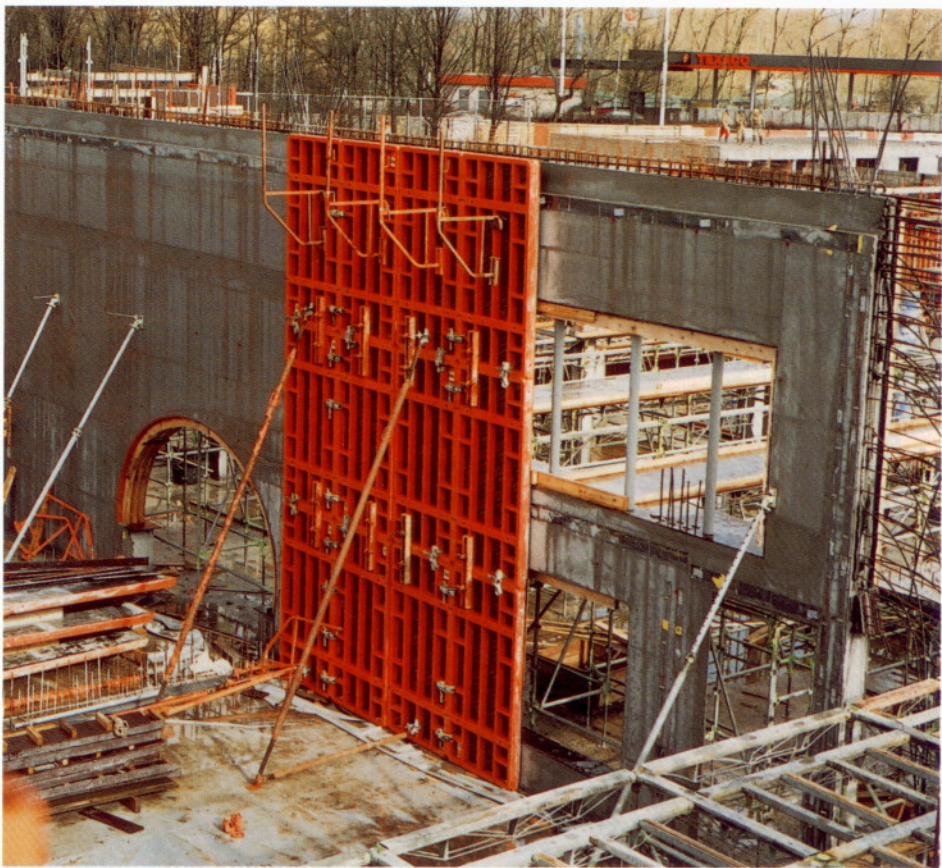
2 | Bekisting van de 'grote-gatenwand' van het haaienbassin. De betondoorsnede is blauw gerasterd



combinatie van stabiliteit en vloeibaarheid gezocht. In het ontwerp van ZVB kunnen de traditionele Nederlandse cementen worden toegepast en poederkoolvliegias als vulstof. Een belangrijke rol is weggelegd voor de plastificeermiddelen. De conventionele plastificeers zijn onvoldoende om de gewenste combinatie van hoogvloeibaar en stabiel te realiseren. Voor ZVB zijn speciaal ontwikkelde plastificeers op de markt gebracht. Voor toepassing van ZVB bij het Oceanium zijn de ontwerpisen voor sterkteklasse en duurzaamheid onveranderd gebleven. Het ontwerp van ZVB is aan deze eisen getoetst; aan de criteria B 35, milieuklasse 5d, kon zonder meer worden voldaan.

Proefstort

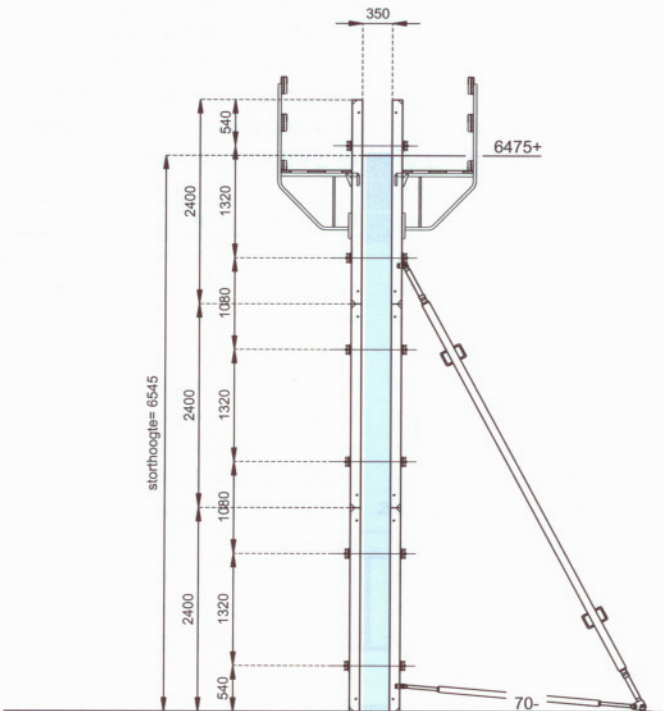
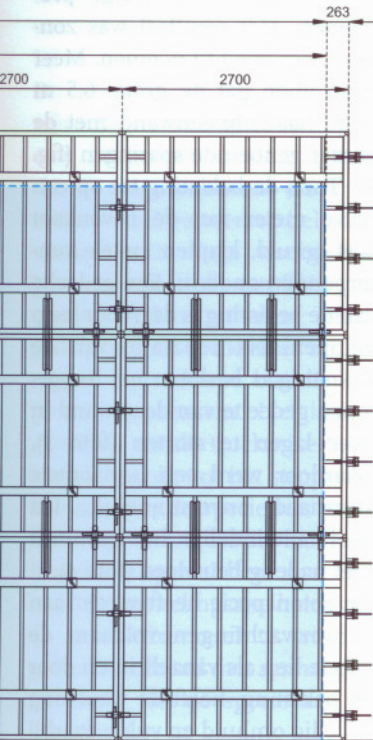
Na het ontwerpen van de betonsamenstelling is circa 20 m³ in een fundering verwerkt. De aanmaak van de betonspecie had plaats op de centrale Waalhaven in een vrije-valmenger met een inhoud van 6 m³. Tijdens deze eerste productie van ZVB in Rotterdam is het productieproces geoptimaliseerd ten aanzien



van volgorde en tijdstip van instromen van materialen in de menger, tijdstip van doseren van plastificeermiddelen en mengtijd. De betonspecie is daarna getransporteerd en vanaf één los-

opstelling rechtstreeks uit de mixer, via de uitlosgoot, in de fundering gestort. Hierbij heeft geen verdichting plaatsgehad. Toch kon het balkenframe volledig worden gevuld. Dit was spec-

3 | Een gedeelte van de grote-gatenwand moest noodgedwongen in twee fasen worden gestort





4 | Het resultaat na ontkisten: afwerkingsklasse 1A!

taculair om waar te nemen. Het resultaat na ontkisten was zo mogelijk nog spectaculairder: een betonoppervlak volledig dicht, glad en strak, tot stand gekomen zonder enige vorm van verdichting.

De resultaten van dit proefstort zijn besproken met de aannemer. De keuze van de aannemer om tot ZVB over te gaan hing af van twee risico's, te weten krimp en kruip. In overleg met de opdrachtgever is toen besloten een kleine wand op het werk te storten met ZVB. De indicatoren ten aanzien van de warmteontwikkeling in de wanden gaven geen aanleiding voor enig risico inzake krimp. De risico's aangaande kruipvervormingen zijn niet groot, omdat het scheurwijdtecriterium maatgevend is. Bovendien werden de bassins pas na een lange verhardingsperiode belast met water. Voorts zijn krimp en kruip niet te verwachten door de permanente hoge

relatieve vochtigheid in het complex. Om de kruip van ZVB te onderzoeken zijn in het Stevin-laboratorium lange-duurkruipproeven gedaan. De positieve resultaten van de proefwand, afgewogen tegen genoemde risico-analyse, hebben geleid tot het besluit alle moeilijke wanden van de waterbassins van het Oceanium in ZVB uit te voeren.

Beperkingen

Met dit besluit waren evenwel nog niet alle problemen de wereld uit. ZVB kent namelijk ook beperkingen. Het beton is dermate 'stroperig', dat dit een begrenzing oplevert bij het uitstromen van de specie. Om dezelfde reden leidt het gebruik van stortkokers tot vertraging bij de verwerking. De toepassing van haringgraatstaal bij stornaden is uitgesloten, omdat de bekisting op alle punten goed dicht moet zijn. Alle stornaden moeten goed worden afgezet, bijvoor-

beeld met houten latten en zwelband. Hoogteverschillen in stortniveaus zijn pas na een lange stortpauze te verwezenlijken. De speciedrukken in de bekisting zijn hoog en geven een bijna hydrostatisch verloop. De gemeten sterkteontwikkeling kent de eerste 24 tot 36 uur een tragere start.

Bekisting

Voorafgaand aan de feitelijke aanmaak van de specie moest allereerst een proevencyclus in de centrale worden uitgevoerd alvorens de juiste samenstelling te kunnen bepalen. Daardoor kon niet eerder dan negen uur, half tien 's morgens specie worden geleverd. Aangezien uit rijpheidsmetingen tevens was gebleken dat de sterkteontwikkeling in de eerste uren aanzienlijk traag verliep, werd het besluit genomen de bekisting een dag te laten 'overstaan'.

Vanwege de grote hoeveelheid en complexiteit is gekozen voor een groot-paneelbekisting van Peri, die gemakkelijk in diverse vormen is aan te passen. De eerste haaienbassinwand, zonder springen, werd in rustig tempo gestort. Het ontkisten verliep zonder noemenswaardige problemen. Het resultaat was zonder meer goed te noemen. Meer problemen gaf de grote, 6,5 m hoge haaienbassinwand met de eerder genoemde springen (fig. 2). Toen de bekisting tot op een halve meter van de bovenkant was gevuld, klapten enkele centerpennen onderin. Een gedeelte van de bekisting is daardoor leeggelopen. Na reparatie van de bekisting is besloten het leeggelopen gedeelte van deze wand in twee lagen te storten (foto 3). Daardoor werd een horizontale stortnaad onvermijdelijk. Dit heeft uiteindelijk het resultaat niet nadelig beïnvloed (foto 4).

De betonspecie heeft verder aan de verwachtingen voldaan: de specie liep als vanzelf in en door de bekisting, heeft de wapening volledig omhuld en vulde daarbij

alle hoekjes en gaatjes, ook bij grote wapeningshoeveelheden en sparingen. Ontmenging en bleeding traden niet op. Kim-aansluitingen zijn perfect uit te voeren want er is geen ontmenging door weglappend cementwater. Grindnesten komen niet voor en er zijn betrekkelijk weinig krimp-scheurtjes te bekennen. Het betonoppervlak is van zeer hoge kwaliteit, vertoont nauwelijks luchtbellen en behoefde niet verder afgewerkt te worden. Het gebruik van trilnaalden was volledig overbodig. Een resultaat dat gegeven de problematiek van deze opgave, niet met andere methodieken en materialen behaald had kunnen worden.

Productie en transport van ZVB

De productie van ZVB is met een juiste mengprocedure, afhankelijk van de beschikbare menginstallatie, zeer goed mogelijk. De gewenste, extreme, vloeieigenschappen zijn goed reproduceerbaar. Wel vergt elke leverantie een grondige voorbereiding en een intensieve procesbewaking van de betonmortelproducent. Van groot belang is tevens de mengtijd; deze is, afhankelijk van het type menger, aanmerkelijk langer. Bij transporteren van ZVB moet rekening worden gehouden met een aangepaste vullingsgraad van de truckmixerketel (90%) in verband met morsen op hellende vlakken. Het hoge vloeigedrag (als een 'vloeistof') van ZVB kan tevens leiden tot een ander gedrag van de truckmixer bij het nemen van scherpe bochten en plotseling remmen. Het lossen van ZVB uit de truckmixerketel kan als gevolg van het stroperige karakter van de specie iets meer tijd vragen. De laatste hoeveelheid betonspecie dient met een lage omwentelingssnelheid van de truckmixerketel te worden gelost in verband met aanhangen (plakken) van de specie aan de ketelwand.

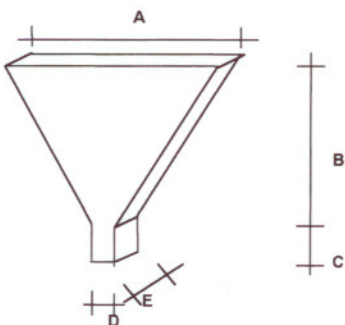
Controle op eigenschappen van ZVB

Controle op de eigenschappen van het verharde beton, de karakteristieke kubusdruksterkte en de water-bindmiddelfactor, geschieden zoals gebruikelijk. Echter controle op de eigenschappen van de betonspecie, met name het rheologisch gedrag, hebben op geheel andere wijze plaats. Een probleem is dat de verwerkbaarheid van ZVB zich niet laat plaatsen binnen de in Nederland gebruikelijke consistentiegebieden. De zetmaat is ruim boven 200 mm en bij bepaling van de schudmaat loopt de specie van de

schudtafel af. Bovendien is het bepalen van de zetmaat een overwegend statische proef die weinig zegt over het rheologisch gedrag van de betonspecie. Hoe bepalen we nu de specie-eigenschappen van ZVB? Aangezien de ontwerpmethode van ZVB zijn oorsprong vindt in Japan, wordt eveneens gebruikgemaakt van de daar gehanteerde methoden van meten. Hierbij zijn de bij ons overbekende zetmaatkegel en schudtafel vervangen door apparaten als V-funnel, Boxtest en Vessel-test.

Voor het bepalen van de viscositeit wordt gebruikgemaakt van de V-funnel test. Meting geschiedt met een aan de onderzijde afsluitbare V-vormige trechter (fig. 5). Deze wordt gevuld met specie, waarna men de afsluiter opent en de doorstroomtijd meet. Criterium hierbij is dat de doorstroomtijd moet liggen tussen 10 en 20 seconden.

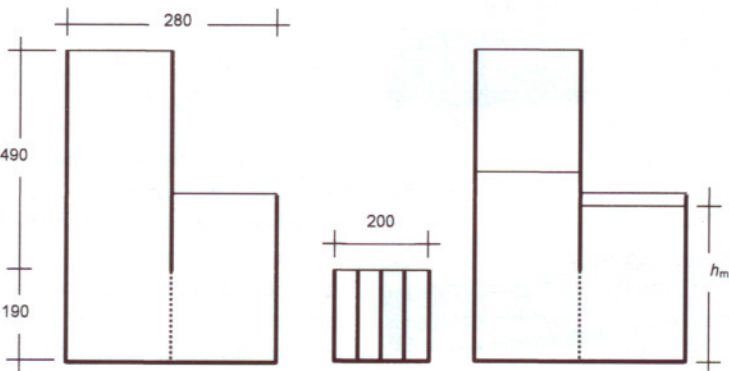
Voor het meten van de zelfverdichtendheid wordt gebruikgemaakt van de L-vormige boxtest (fig. 6). Deze wordt aan de hoge



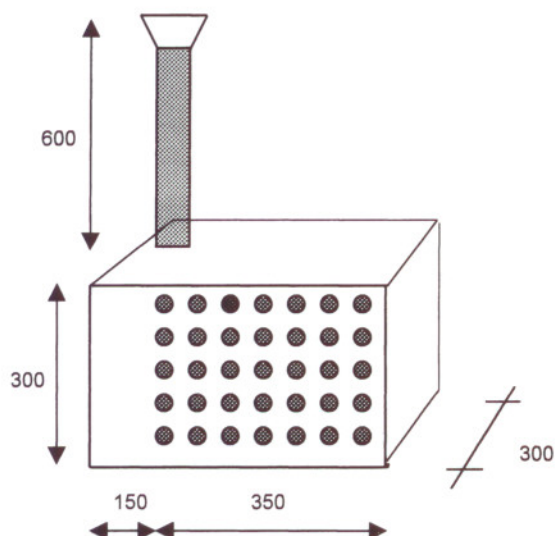
5 | V-funnel, ter bepaling van de gemiddelde uitstroomtijd en de stabiliteit van de betonspecie

tabel bij fig. 5

trechterafm. in mm	korrelgroep			
	0-4	0-8	0-16	0-32
A	270	390	515	600
B	240	350	450	515
C	60	105	150	195
D	30	40	65	85
E	30	40	75	95
inhoud (liters)	21,13	3,27	10,51	18,30



6 | BOX-test, ter bepaling van de zelfverdichtendheid van betonspecie



7.8 | Vessel-test, eveneens ter bepaling van de zelfverdichtendheid van betonspecie



9 | Bepalen van de uitvloeimaat

foto's: Henk van der Veen

zijde gevuld met specie, waarna een schuif tussen de twee compartimenten wordt geopend. De specie stroomt het lage compartiment binnen en men meet de tijd die dit vergt en het uiteindelijke niveauverschil. Criteria hierbij zijn voor de tijd < 20 seconden en voor het uiteindelijke hoogteverschil maximaal 20 mm.

Voor het meten van het zelfverdichtend en ruimtevullend vermogen wordt gebruikgemaakt van de Vessel-test (fig. 7, foto 8). Men vult de box, via een 500 mm hoge pijp voorzien van een trechter van 100 mm hoog, met een snelheid van circa 1 liter per seconde tot het niveau aan de vulzijde de bovenzijde van de bovenste rij PVC-pijpjes heeft bereikt. Men meet het hoogteverschil tussen het specieniveau aan de vulzijde en aan de tegenoverliggende zijde. Criteria hierbij zijn het hoogteverschil, maximaal 50 mm, en er mogen geen luchtblazen tegen de boxwand (transparant) of holle ruimten zichtbaar zijn.

Toch is er nog een rol weggelegd voor de zetmaatkegel (foto 9). Voor het bepalen van de uitvloeimaat van betonspecie wordt de zetmaatkegel centraal op een uitvloeitafel van 1000 x 1000 mm² geplaatst, gevuld met betonspecie, waarna de kegel in een vloeiende beweging wordt opgetrokken en de betonspecie over de tafel uitvloeit. Criterium hierbij is een uitvloeimaat van 700 mm ± 50 mm.

Het mengsel en de regelgeving

Op dit moment is het mogelijk om naast de eerder genoemde ervaringen een aantal conclusies te trekken inzake het mengsel. De aanmaak van ZVB in een vrije-valmenger is met een juiste mengprocedure zeer goed mogelijk. De gewenste extreme vloeieigenschappen zijn met het ontwerpen volgens de 'Japanse

methode' goed reproduceerbaar. Wel vergt het product een zeer intensieve procesbewaking bij de betonleverancier. Het voldoen aan de in NEN 5950 (VBT 1995) gestelde criteria met betrekking tot sterkteklasse en milieuklasse is geen probleem.

Voor zowel de constructeur, de aannemer als de betontechnoloog zijn er evenwel nog wat vragen te beantwoorden. Hoe zit het met materiaaleigenschappen als krimp en kruip? Hoeft er echt nooit meer getrild te worden? Kan het afgewerkt worden als normaal beton? Op dit moment wordt door verschillende partijen uitgebreid onderzoek gedaan naar de technologie en de toepassingsmogelijkheden van ZVB, waaruit hopelijk antwoord op deze vragen zal komen.

Aangezien de regelgeving (VBC, VBT en VBU) op dit moment nog niet is ingesteld op de toepassing van ZVB, moeten bij praktijktoepassingen goede afspraken worden gemaakt tussen alle partijen. Er wordt overigens door CUR-commissie B79 gewerkt aan het opstellen van regelgeving. Vanaf het moment dat dit is gerealiseerd staat niets een succesvolle, gerichte, toepassing van ZVB in de weg. ■