



Surfpool in hartje Rotterdam

Bijzondere bouwtechnieken voor Rotterdamse surfgracht RiF010



PROJECTGEGEVENS

project
 RiFO10
opdrachtgever
 Stichting RiFO10
contractvorm
 D&B
architect
 Morfis Architecture &
 Urbanism
hoofdaannemer
 Mobilis
constructeur
 Mobilis, WSP
ontwerp surfpool
 Surfloch
**installaties (incl.
 golfinstallatie)**
 Hellebrekers
leverancier(s)
 Bekaert,
 Dyckerhoff Basal
opleverdatum
 juli 2024

Rotterdam heeft een wereldprimeur: een outdoor surflocatie midden in de stad. Het project RiFO10 is een surfpool in een ongebruikt deel van de Steigersgracht tussen de Koopgoot en de Markthal. Het was de winnende inbreng van het stadsinitiatief in 2014. Mede door de complexiteit midden in het centrum heeft de uitvoering even op zich laten wachten, maar de bouw nadert nu zijn einde. Voor de realisatie van het project zijn een aantal bijzondere bouwtechnieken toegepast.

De surfpool wordt 130 m lang en 21 m breed en wordt gerealiseerd in de bestaande Steigersgracht.

In de gracht wordt een bassin gecreëerd dat de surfpool scheidt van de gracht zelf. Het bassin loopt van een diepe zijde naar een ondiepe zijde en eindigt in een strand. Aan de andere zijde worden vanuit een golfkelder golven tot 1,5 m opgewekt. In de surfpool worden zogenoemde riffen aangelegd ten behoeve van het breken van de golven, zodat er kan worden gesurft. Deze riffen, met lokaal steile hellingen, worden gevormd door een profileringsvloer. Naast de pool en de kelder omvat het project ook een onderkelderd paviljoen (fig. 2). Daarop wordt in dit artikel niet ingegaan.

Monumentale kademuren

De Steigersgracht wordt omringd door monumentale metselwerk kademuren. Deze kades (gebouwd in 1942) zijn gefundeerd op houten palen, waarvan de helft met een schoorstand van maar liefst 3:1. De kademu- ren en funderingspalen moeten tijdens de bouw intact blijven en mogen geen deel uit- maken van de definitieve constructie. Ook de golven mogen geen direct effect hebben

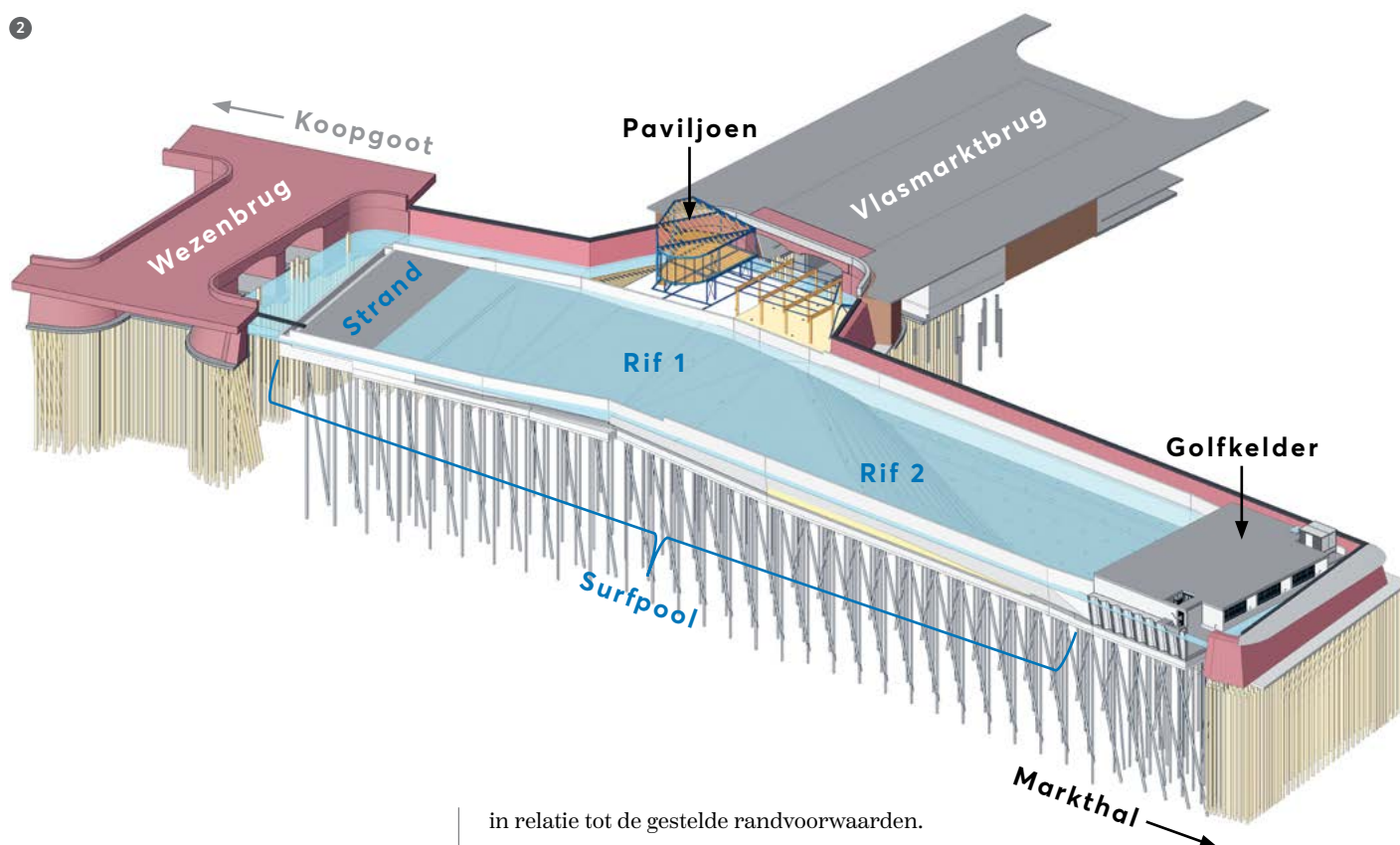
op de kades. Daarnaast is in de waterver- gunning gesteld dat het waterpeil in de surf- pool afzonderlijk regelbaar moet zijn ten be- hoeve van compensatie van waterbuffering. Er is dus een omhullende constructie nodig om de surfpool af te schermen van de gracht en kades.

Voor een goede surfervaring is het van belang om de maximale breedte binnen de gracht te benutten. Bovendien is er, vanuit architectonisch oogpunt, de wens om het te doen lijken alsof de golven 'door de gracht rollen' met een waterpeil gelijk aan het grachtpeil (NAP -1,0 m). De constructie moet dus onopvallend zijn.

In het diepe deel van de surfpool wordt een waterdiepte van 3 m gevraagd. Dit resulteert in een ontgravingsdiepte tot circa 2 m onder de vloer van de metselwerk kades. Naast bescherming van de kades spelen ook het voorkomen van omgevingshinder en bescherming van kastanjebomen op de kade een belangrijke rol in de keuze van de toege- paste bouwtechnieken.

Bouwkuip

Voor de 110 m lange bouwkuip zijn meerdere mogelijke bouwmethodieken afgewogen →



auteurs



**IR. RUUD
ARKESTEIJN**

Specialist Ondergronds
Bouwen
Mobilis TBI & TU/e



**IR. FROUWKO
WISMAN**

Constructeur
Mobilis TBI¹⁾

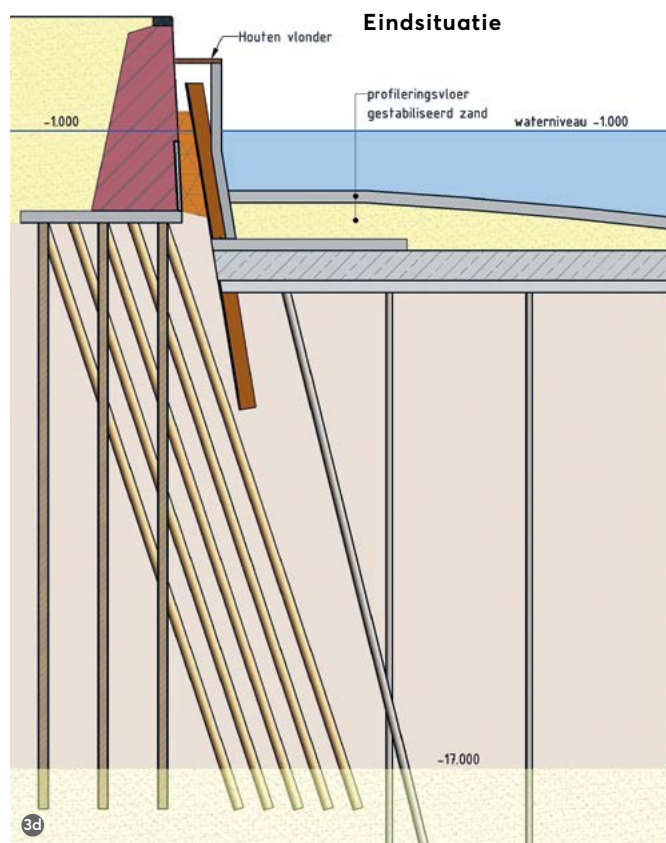
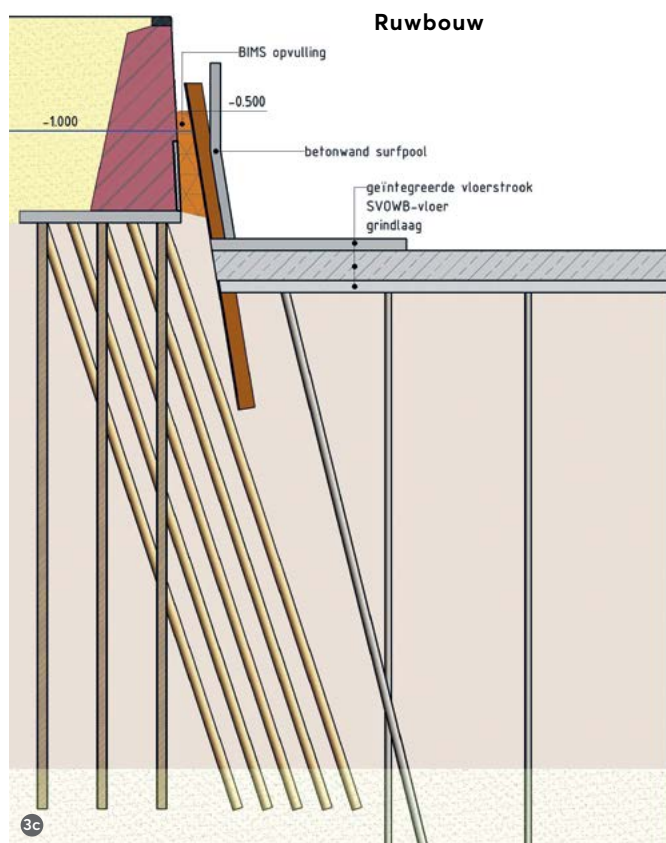
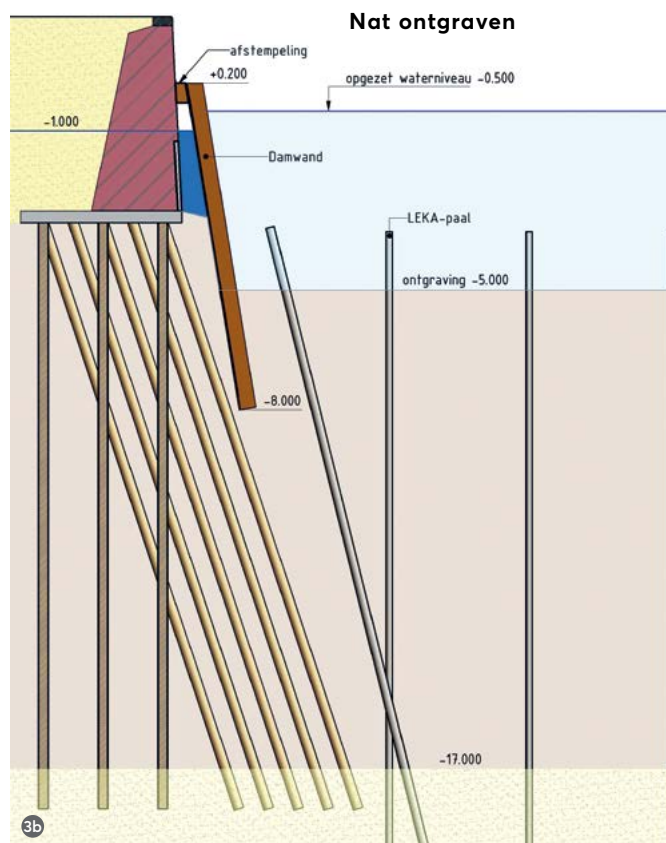
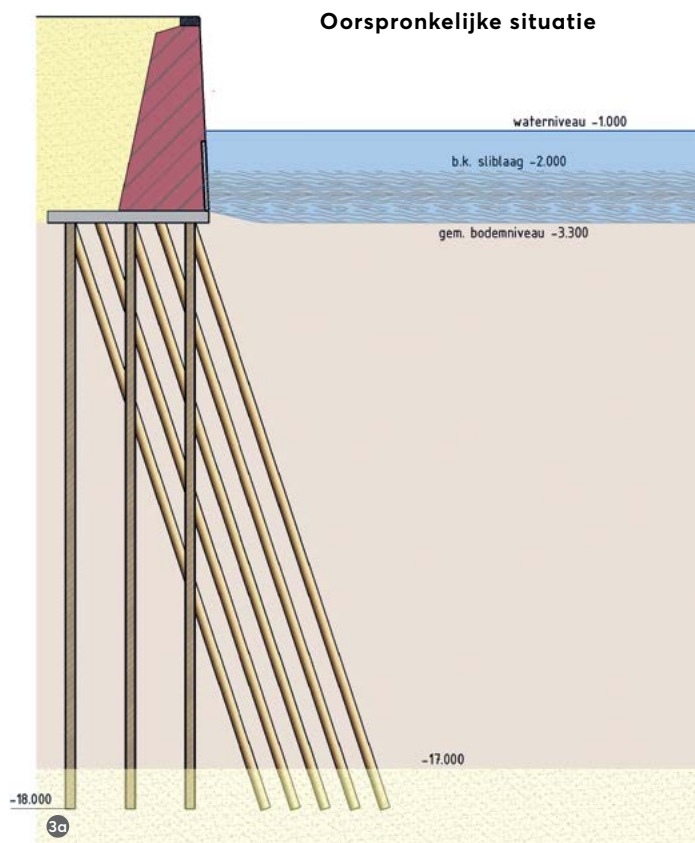
¹⁾ Frouwko Wisman werkt
sinds april 2024 bij Deloitte

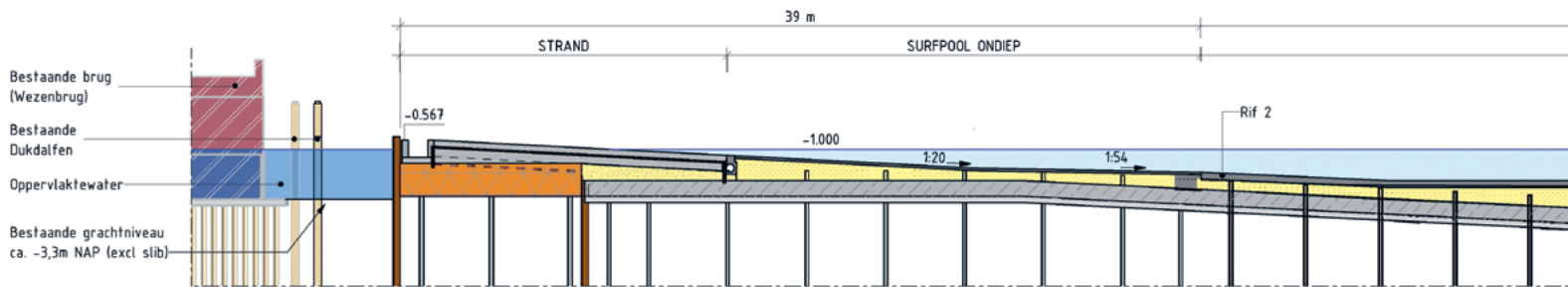
in relatie tot de gestelde randvoorwaarden. Beschouwd zijn onder meer toepassing van prefab L-wanden, een afzinkkelder en een gesloten U-bak met stalen damwanden. Die laatste bleek de enige beheersbare bouwtechniek.

De grootste uitdaging in het verdere bouwkuipontwerp lag in het verwezenlijken van de benodigde ontgravingsdiepte om de constructie veilig te kunnen maken. Uitvoering in een 'droge bouwkuip' zou door het benodigde grondwerk en bemaling leiden tot onacceptabele vervorming van kades en achterliggende constructies. Toepassing van een voorgespannen stempelraam bleek daarbij niet voldoende. Voor beheersing van de vervorming zouden de damwandplanken tot in de stabiele zandlaag vanaf NAP -16 m moeten reiken. Er zou dan echter een raakvlak met houten schoorpalen van de kademuren ontstaan. De damwanden zouden daarom verder van de kade en onder grotere schoorstand moeten worden aangebracht, resulterend in een aanzienlijke versmalling van de surfpool. Doordat de damwand niet meer kan worden getrokken na de bouw, is dit ook geen kostenefficiënte en duurzame oplossing.

Ondanks de beperkte ontgravingsdiepte is gekozen voor een 'natte bouwkuip' met behulp van onderwaterbeton, gefundeerd op LEKA-palen. De vervorming van de damwanden tijdens het nat ontgraven wordt beheerst door de waterstand in de bouwkuip tijdelijk te verhogen (eerste bouwfase in fig. 3). Het opzetten van water met slechts 0,5 m bleek rekenkundig voldoende om te kunnen garanderen dat de damwanden (en daarmee ook de kades) niet naar binnen zouden vervormen. Als gevolg van het opzetten van water drukken de damwanden tijdelijk naar buiten. Een lichte afstempeling tussen de bovenzijde van de damwanden en de kades was voldoende om de damwanden te steunen. Na de stort en het uitharden van de onderwaterbetonvloer fungeert deze als stempelconstructie. Tijdens het leegpompen en de ruwbouwfase houdt deze de damwanden en achterliggende grond met palen op hun plek. De stabiliteit van de kades en houten palen is daarmee in alle fasen gewaarborgd.

→





4

VLOEISTOFDYNAMICA OPPERVLAKTEGOLVEN

De voortplantingssnelheid van de golf is afhankelijk van de diepte van het bad. De golfsnelheid (voor ondiepe golven) wordt hierbij beschreven door:

$$v = \sqrt{g \cdot d}$$

waarin:

v = voortplantingsnelheid golf [m/s]

g = zwaartekrachtsversnelling [m/s²]

d = waterdiepte [m]

In deze relatie is zichtbaar dat de voortplantingssnelheid terugloopt naarmate de waterdiepte afneemt. De golflengte wordt daarmee ook korter en de golf wordt hoger (*shoaling*). Tegelijkertijd neemt de golfsteilheid en de orbitale snelheid van de waterdeeltjes toe. Op een gegeven moment wordt de orbitale snelheid zo groot ten opzichte van de voortplantingsnelheid dat de waterdeeltjes 'uit de golf' treden. Dat wordt het breken van de golf genoemd [1].

Door deze uitgekiende bouwkuipfasering kon worden volstaan met een zeer slank damwandprofiel (ZZ12-700) met een damwandlengte van slechts 8 m. Vanwege deze korte damwandlengte, en door een beperking van de schoorstand van de damwanden, kon de breedte van de surfpool worden geoptimaliseerd (fig. 3).

Profileringsvloer

De vorm van de surfpool (ontworpen door Surfloch) is doorslaggevend in het creëren van de juiste golf. De riffen hebben hierdoor een variabele benodigde diepte (fig. 4) met lokaal steile hellingen. Deze hellingen en vorm zijn, binnen de gestelde toleranties, niet realiseerbaar met onderwaterbeton. Om de benodigde vorm van de riffen te krijgen wordt daarom, in den droge, een profileringsvloer aangebracht. Deze profileringsvloer ligt in het diepe en vlakke deel direct op de onderwaterbetonvloer. Bij de riffen ligt deze op een uitvullaag van zand. De profileringsvloer maakt geen deel uit van de hoofdconstructie. Wel moet deze grond dicht en erosiebestendig zijn. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de profileringsvloer uit te voeren met een gewapende betonvloer. Om trekspanningen ten gevolge van krimp en interactie met de betonwanden te beperken, is deze rondom gedilateerd.

Opwekken van golven in golfkelder

De lopende golf wordt gegenereerd in de golfkelder (fig. 5). Deze bestaat bouwkundig uit een installatieruimte en acht golfslagkamers. De installatieruimte is een droge technische ruimte waarin de blowers staan

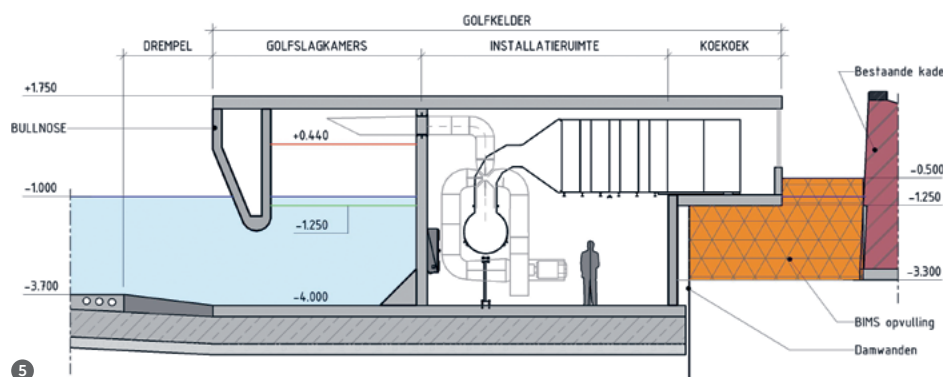
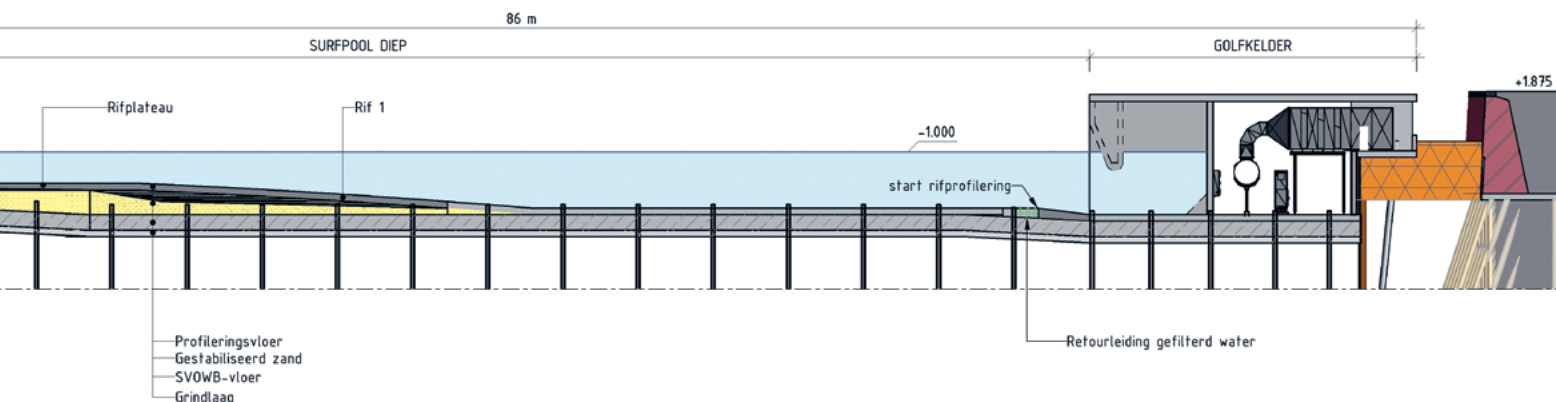
opgesteld. Tussen deze installatieruimte en de surfpool bevinden zich de gecompartmenteerde golfslagkamers. Deze kamers hebben een luchtdoorvoer naar de blowers, die lucht af-/aanvoeren in de golfslagkamers. Hierdoor kan zowel onder- als overdruk worden gegenereerd. Gevolg hiervan is dat het waterpeil in de golfslagkamers zal stijgen of dalen. Het ontstaan van één golf, kent meerdere fasen in de golfslagkamer:

- Fase 0. Rust, waterstand NAP -1 m, atmosferische druk
- Fase 1. Water opzetten, onderdruk maximaal 15 kPa, waterstand stijgt tot NAP +0,44 m
- Fase 2. Water neerduwen, overdruk maximaal 7,2 kPa, waterstand daalt tot NAP -1,25 m

De vorm van de *bullnose* en de drempel aan de voorzijde van de golfkelder zorgen ervoor dat de gewenste golfhoogte ontstaat en dat de golf zich horizontaal gaat verplaatsen.

De golf wordt beschreven met een zogenoemd cnoïdale golf functie (fig. 6). De golven worden met een minimale tussentijd van 7,5 seconden gegenereerd (meer over de golven staat in het kader 'Vloeistofdynamica oppervlaktegolven').

De maatgevende belastingsituatie in de golfslagkamers doet zich voor tijdens de afwisseling van fasen. Bij minimale waterstand ontstaat de maximale onderdruk en vice versa. Het dak van de golfslagkamers heeft mede daarom een dikte van 300 mm. Het eigen gewicht van dit dak zorgt voor voortdurende normaaldruk in de wanden van de golfslagkamer. Daarnaast zorgt deze massa voor demping van het geluid dat door de blowers wordt gegenereerd. Door de



compartimentering ontstaat een brede regelmogelijkheid om de gewenste golf te kunnen opwekken. Er wordt rekening gehouden met belastingsituaties waarin aanliggende compartimenten in verschillende fasen zijn.

De golven lopen parallel aan de wand. De belastingen werken zowel op de vloer als op de wanden. Verderop is beschreven hoe

deze golfbelasting is gemodelleerd in het constructieve rekenmodel.

Onderwaterbeton

Zoals eerder toegelicht is de toepassing van onderwaterbeton primair voortgekomen uit de stempelfunctie ten behoeve van een stabiele bouwkuip met korte damwanden →

Een gesloten U-bak met onderwaterbeton en stalen damwanden bleek de enige beheersbare bouwtechniek voor de bouwkuip

CROW-COMMISSIE 'DEFINITIEVE SVOWB- VLOEREN'

Sinds 2020 wordt toepassing van staalvezelversterkt onderwaterbeton als permanente vloerconstructie onderzocht binnen de CROW-commissie 'Definitieve SVOWB-vloeren'. De commissie vloeit voort uit de CUR-commissie die de herziene CUR77 [6] heeft gepubliceerd in 2014. Een haalbaarheidsstudie, toen nog vanuit SBRCURnet, is in 2016 positief afgerond met speciale aandacht voor krimp en waterdichtheid. Om die risicofactoren te beheersen, en tegelijkertijd een alternatief te bieden voor bewerkelijke traditioneel gewapende OWB-vloeren, ligt de focus op gebruik van staalvezelbeton. De werkzaamheden bevinden zich inmiddels in de afrondende fase. De commissie hoopt in de loop van 2025 een ontwerprichtlijn te publiceren.

en een maximale breedte. De opwaartse druk (waterdruk en/of opbarstdruk) is beperkt; een slanke vloer van slechts 750 mm bleek hierdoor voldoende. Voor een kelder-vloer in combinatie met onderwaterbeton zijn er in de basis drie principes die kunnen worden toegepast (zie [2] en [3] voor meer achtergrondinformatie). De randvoorwaarden en afwegingen per bouwdeel hebben bij RiFo10 geleid tot de keuze voor een combinatie van deze drie principes.

→ **Traditionele bouwwijze:** een tijdelijke (vaak ongewapende) OWB-vloer met daarboven een traditioneel gewapende vloer als definitieve constructie.

Bij RiFo10 is dit toegepast onder het paviljoen. Vanwege de beperkte afmetingen en bovenbelasting is de meerwaarde van een definitieve functie van het OWB beperkt.

→ **Geïntegreerde vloer:** een staalvezelversterkte OWB-vloer (SVOWB) voor de bouw-fase die ten behoeve van de eindfase wordt gekoppeld met een op te storten vloer; deze twee vloerdelen werken samen. Dit principe is eerder toegepast bij onder meer Onderdoorgang Zevenaar, Albert Cuyppgarage, Droogdok Royal van Lent en Singelgrachtgarage-Marnix [4].

Bij RiFo10 is dit principe toegepast in de pompkelder, golfslagkamers en in het diepste deel van de surfpool. De keuze komt voort uit het beperken van de maximale ontgravingsdiepte in combinatie met waterdichtheidseisen en bijzondere (dynamische) belastingen vanuit de bovenbouw en golfslagkamers.

→ **Definitieve SVOWB-vloer:** SVOWB-vloer die zowel in de bouw-fase als in de eindfase

de constructieve vloer vormt. Dit is nog niet eerder toegepast (wel met traditionele wapening, bijvoorbeeld in de Rottmerentunnel). Vooruitlopend op de beoogde CROW-CUR Aanbeveling (zie kader) is dit vloerprincipe binnen RiFo10 toegepast in het merendeel van de surfpool. Dit was mogelijk doordat hier geen waterdichtheidseis geldt voor de gebruiksfase. De profileringvloer en damwanden hebben geen constructieve functie. De hoofd-draagconstructie wordt in de eind-fase gevormd door een op palen gefundeerde 'U-bak', bestaande uit de SVOWB-vloer en betonwanden.

In figuur 7 staat een schematische weergave van de vloerprincipes voor RiFo10. De weergave voor de surfpool betreft vooral het ondiepe deel. In het diepe deel is een strook van circa 4 m (tot over de randpalenrij) geïntegreerd uitgevoerd, om te voorkomen dat een randkorf nodig was die onder water zou moeten worden geplaatst (fig. 9).

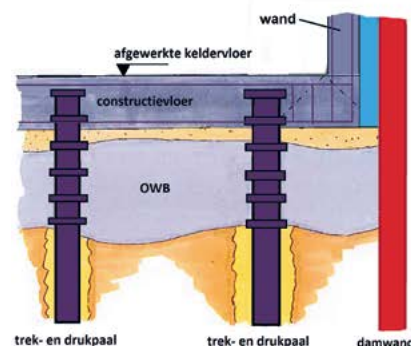
Uitwerking SVOWB-vloer

De voornaamste uitdaging binnen het ontwerp van de definitieve SVOWB-vloer lag in het beheersen van het risico op doorgaande krimp-scheurvorming en de toetsing op vermoeiing ten gevolge van de dynamische golfbelasting. Hierbij is gebruikgemaakt van de conceptuele ontwerpaanpak vanuit de eerder genoemde CROW-commissie.

Naast het beperken van bouw-tijd en -kosten heeft de definitieve SVOWB-vloer geresulteerd in een duurzamer ontwerp. Uit [3] valt af te leiden dat de milieu-impact van

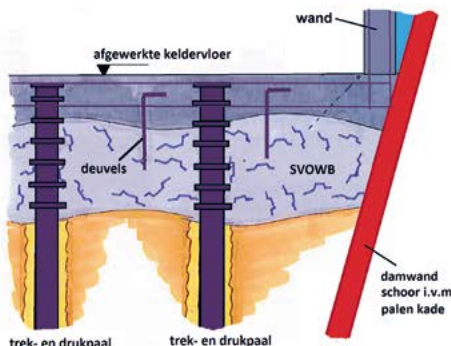
Paviljoen

Traditionele bouwwijze met OWB



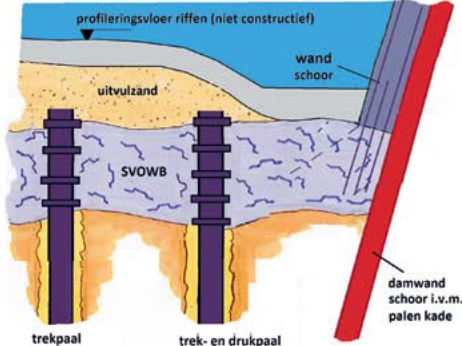
Golfkelder

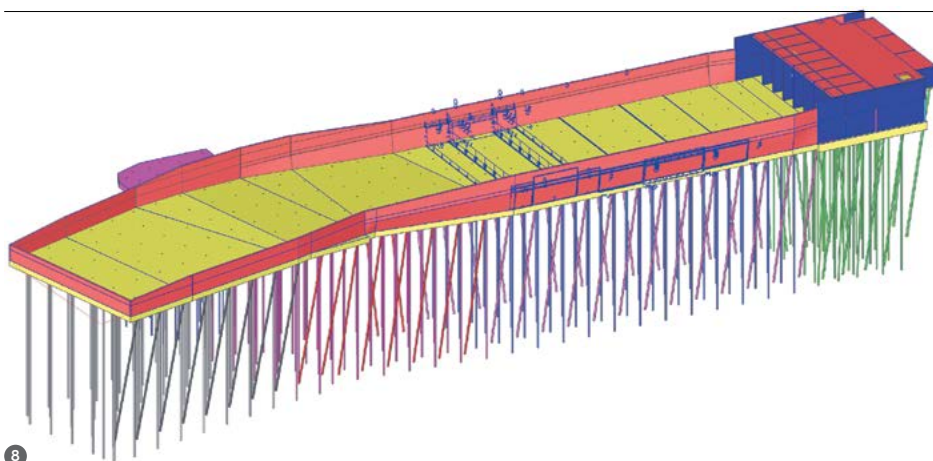
Geïntegreerde keldervloer



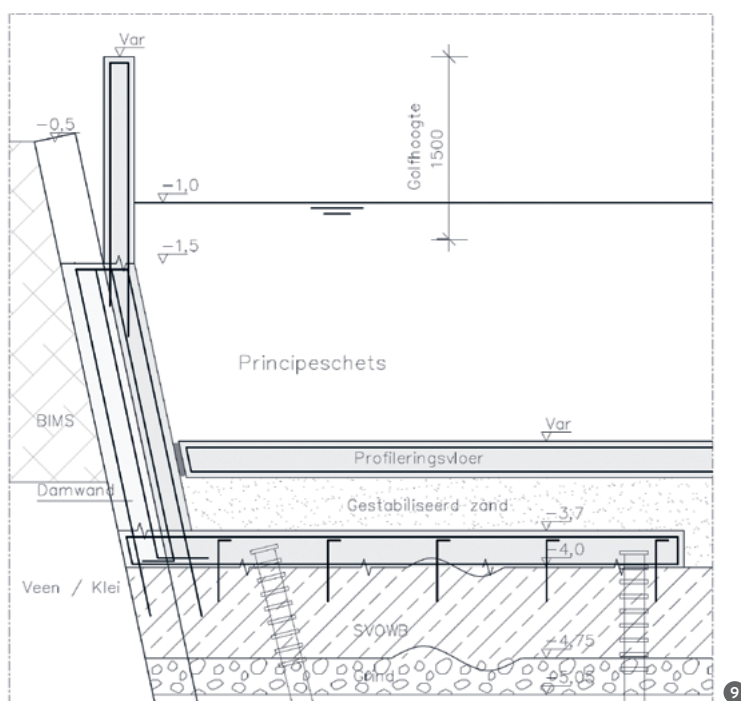
Surfpool

Definitieve SVOWB-vloer





De maatgevende belastingsituatie in de golfslagkamers doet zich voor tijdens de afwisseling van fasen



een 750 mm dikke SVOWB-vloer lager is dan de impact van een gewapende keldervloer van 400 mm zonder onderwaterbeton (in een 'droge bouwkuip'). Voor RiFo10 geldt bovendien het gunstige effect op de dimensionering van damwanden en palen.

Scheurvorming Ondanks de bouwkuiplengte van 110 m werd het risico op krimp-scheurvorming op voorhand acceptabel geacht. Dit komt door de volgende aspecten:

→ Vergelijkbare langwerpige bouwkuipen met SVOWB-vloeren hebben geen doorgaande krimp-scheurvorming laten zien.

→ Er worden buigslappe palen (LEKA-palen met buisdiameter Ø168-10 mm) en zeer korte damwanden toegepast. In combinatie met slappe holocene grondlagen zorgt dit voor een beperkte verhinderingsgraad van de vloeren.

→ De relatief dunne vloer met laagsterktebeton (C20/25 voor de bouwfase) in combinatie met 30 kg/m³ 4D-staalvezels. Dit maakt een krimp-arm betonmengsel mogelijk met minimale hydratatie-warmte en (buig)taai scheurgedrag.

→ Het opzetten van water in de natte bouwkuipfase zorgt voor extra stempeldruk in →

PARTIËLE FACTOREN IN RELATIE TOT ARCHIMEDES

Binnen het ontwerpproces van RiF010 zijn sterke vermoedens ontstaan over overmatige veiligheid vanuit partiële factoren ten aanzien van met name de bepaling van neerwaartse drukbelasting. Naar aanleiding hiervan is het Cement-artikel 'Partiële factoren in relatie tot de wet van Archimedes' gepubliceerd, in de rubriek Normbesef, met een toelichting en een simpel rekenvoorbeeld. Doel van het stuk is het starten van een brede discussie ten behoeve van eventuele aanpassing van huidige rekenregels en/of de gangbare ontwerpmethodiek binnen ondergrondse bouwwerken.



AANVULLENDE INFORMATIE BIJ ARTIKEL

Het project RiF010:



Animatie RiF010:



Video plaatsen golfinstallatie :



de vloer vanuit de damwanden tijdens en na het leegpompen. Door vroegtijdig te starten met leegpompen zal de stempeldruk al tijdens het afkoelen en krimpen van de vloer worden gegenereerd.

→ Er geldt geen waterdichtheidseis voor de surfpool. Bovendien zouden doorgaande krimpsecheuren beperkt watervoerend zijn in verband met de waterremmende kleilagen onder de vloer. Hierdoor is het na-injecteren van scheuren goed mogelijk.

Door de extra verhindering vanuit de aansluiting met de bouwkuip voor het paviljoen, die in een eerder stadium werd drooggepompt, werd een lokale piek in trekspanning verwacht. Uit het SCIA-rekenmodel voor de eindfase kwam lokaal een trekbelasting in de SVOWB-vloer naar voren ten gevolge van ongelijkmatige neerwaartse belasting (uit de aanvulling onder de profileringsvloer en golfbelasting) en de schoorstand van de randpalen. Als risicobeheersmaatregel zijn langs de randpalen lokaal extra wapeningsstaven (3xØ16 mm) onderwater aangebracht in de betreffende zones.

Belasting golven De golfhoogte van maximaal 1,5 m in het diepe deel van de surfpool resulteert in een belastingvariatie van circa 15 kN/m². Voor de gebruiksfase is op basis van de golffrequentie en maximale openingsuren over 50 jaar een aantal lastwisselingen $N = 83 \times 10^6$ afgeleid.

Voor de stalen buispalen en de betonwandaansluitingen is vermoeiing getoetst conform de vigerende staal- en betonnormen. Voor de SVOWB-vloer is dit niet eenduidig vastgelegd. Voor staalvezelbeton zijn namelijk beperkte onderzoeksgegevens bekend met betrekking tot vermoeiing. Dit volgt ook uit een literatuurstudie vanuit de eerder genoemde CROW-commissie [5].

Voor **dwarskracht en pons** is de toetsing in het ontwerp afgeleid uit paragraaf 8.6.3. van NEN-EN 1992-1-1 in combinatie met doorsnedecapaciteiten voor ongewapend beton (conform hoofdstuk 12 van NEN-EN 1992-1-1). Zelfs met deze conservatieve benadering, waarin de staalvezels worden verwaarloosd, voldoet de vloer voor een toets op basis van de minimale vloerdikte

($h_{\min}$) conform CUR-Aanbeveling 77 [6].

Belangrijk hierbij is dat er in de meest kritische doorsnedes geen tekenwisseling optreedt; in de gebruiksfase blijven de palen bijvoorbeeld op druk belast in de bruikbaarheidsgrenstoestand.

Voor de toetsing van vermoeiing op **buiging** in de vloer is de bijdrage van staalvezels logischerwijs wel nodig gezien het brosse buigingsgedrag van een ongewapende vloer. De momentcapaciteit is bepaald conform CUR-Aanbeveling 111 (over bedrijfsvloeren op palen [7]). In de meest kritische zones volgt op buiging een kleine tekenwisseling in het SCIA-model ten gevolge van de variabele belastingen. Vanuit literatuur van Singh & Kaushik [8], met extrapolatie van de S-N-curve voor een faalkans $P_f = 0,05$ tot $\log(N) = 7,92$, is een reductiefactor van 0,5 afgeleid voor de momentcapaciteit. Ter vergelijking: een vergelijkbare reductiefactor 0,5 volgt uit extrapolatie van de S-N-curve voor ongewapend beton zonder tekenwisseling.

Toets vermoeiing op buiging in SVOWB-vloer:

Maximaal optredend moment (BGT):

$$M_{Ek,max} = 80 \text{ [kNm/m]}$$

Momentcapaciteit (BGT):

$$M_{R,FAT} = M_{R,k} \cdot 0,5 = 238 \text{ [kNm/m]} \cdot 0,5 = 119 \text{ [kNm/m]}$$

Unity check:

$$M_{R,FAT} / M_{Ek,max} = 0,67 [-] \rightarrow \text{voldoet}$$

Een golfslagbad in de gracht

De surfpool is ontworpen met een waterpeil gelijk aan het grachtpeil (NAP -1,0 m). In rust is er dus geen netto waterdrukverschil tussen de binnen- en buitenzijde van de U-bak (zie ook kader 'Partiële factoren in relatie tot Archimedes'). De golfbelastingen in de gebruikssituatie vormen hiermee een belangrijk aandeel van de belasting op de SVOWB-vloer en wanden van de surfpool.

De wanden en vloer van de surfpool ondervinden bij het passeren van de golf een toename van de waterdruk (t.p.v. de golfpiek) gevolgd door een beperkte afname (t.p.v. het golfdal). De belastingvariatie is gebaseerd op het in figuur 6 beschreven golfprofiel en is als lopende, statische belasting in SCIA Engi-neer geschematiseerd (zie voorbeeld in fig. 8).

Hydrodynamische effecten (uit bijvoorbeeld tijdsduur en waterstromingen) zijn verwaarloosd. De golfbelasting brengt palen wisselend op trek en druk en variërende buigende momenten, met lokaal ook axiale trekkrachten, in de vloer en betonwanden.

Kritisch in het ontwerp bleken de buigende momenten in de wand-vloerkoppeling. Al snel werd duidelijk dat de betonwanden tot in de kassen moesten worden doorgestort (als verloren bekisting). Uitgaande van een definitieve SVOWB-vloer voor de gehele surfpool zijn er verschillende opties voor dit aansluitdetail beschouwd. Bijvoorbeeld een krachtoverdracht via een (met opgelaste haarspelden of stiftdeuvels) gekoppelde damwand en/of het inboren van stekken in de SVOWB-vloer (na leegpompen). In het ondiepe deel kon worden volstaan met enkel het inboren van stekken in de SVOWB (zie schets in fig. 7), maar deze optie bleek voor

het diepe rif niet haalbaar. Het vooraf afzinken en instorten van een wapeningskorf in de randzone van de SVOWB-vloer was wel mogelijk, maar die was uitvoeringstechnisch niet gewenst. Voor het diepe rif is uiteindelijk een wand-vloerkoppeling ontworpen met een geïntegreerde randzone (over circa 4,0 m) inclusief ingeboorde stekken (fig. 9). Voor het diepe rif is bovendien een beschouwing in Plaxis gemaakt van het horizontaal steunende effect van de bimsvulling tussen de damwanden en de kade. De bims (lichtgewicht vulkanisch puimsteengruis) blijkt door de opsluiting als bedding te fungeren bij uitbuiging van de wand.

Van ontwerp naar realisatie

Tijdens de werkvoorbereiding en de realisatiefase was er speciale aandacht voor het raakvlak met de kastanjabomen en kades, omgevingsmanagement, bouwfaserings, tolerantiebeheer en bouwkuipmonitoring. De omgevingsbeïnvloeding bleek beperkt met metingen ruim binnen de gestelde vervormings- en trillingseisen. De (SV)OWB-vloeren lieten na de stort een temperatuurpiek zien van circa 30 °C en presteren goed in de bouwkuipfase; van doorgaande krimp-scheurvorming of overmatige lekkage is geen sprake.

In aanloop naar de oplevering worden zes weken uitgetrokken voor het testen van de golfinstallaties en eventuele finetuning van de optimale golf. De feestelijke opening is gepland op 6 en 7 juli met een internationaal surftoernooi tijdens de Rotterdam open.

Leerzaam

In een dergelijk project vraagt de unieke projectscope in een binnenstedelijke omgeving om maatwerk met bijzondere bouwtechnieken. Het bouwteamverband is daarin stimulerend om tot een optimale voorziening voor surfers te komen zonder de belangen en risico's van met name omgeving uit het oog te verliezen. Onder andere een doorzicht bouwkuipontwerp en toepassing van definitief onderwaterbeton hebben dit mogelijk gemaakt. Hierbij zijn tegelijk de kosten, tijd, risico's en milieu-impact vanuit de bouw geminimaliseerd. ●

De voornaamste uitdaging voor de SVOWB-vloer lag in het beheersen van het risico op krimp-scheurvorming en de toetsing op vermoeiing

LITERATUUR

- 1 Nortier, I.W., Koning, P. de, Toegepaste vloeistofmechanica: hydraulica voor waterbouwkundigen. Noordhoff, 1998, 7de druk.
- 2 Arkesteijn, R., Definitieve onderwaterbetonvloeren met staalvezels. *Geotechniek* nr. 5 2016, p.46.
- 3 Arkesteijn, R., Duurzaamheid van onderop. *Vloer Technisch Magazine* nr. 1 2018, p. 7-9.
- 4 Poels, A., Ros, J., Laagland, A., Ontwerp Singelgrachtgarage - Marnix. *Cement* 2022/7, p.18-27.
- 5 Haalbaarheidsstudie Definitieve onderwaterbetonvloeren, SBRCURnet, 2016.
- 6 CUR 077:2014 – Rekenregels voor ongewapende onderwaterbetonvloeren.
- 7 CUR 111:2018 – Staalvezelbeton bedrijfsvloeren op palen – Dimensionering en uitvoering.
- 8 Singh, S.P., Kaushik, S.K., Flexural Fatigue Life Distributions and Failure Probability of Steel Fibrous Concrete. *ACI Materials Journal* Volume 97, Issue Number 6, 2001.

