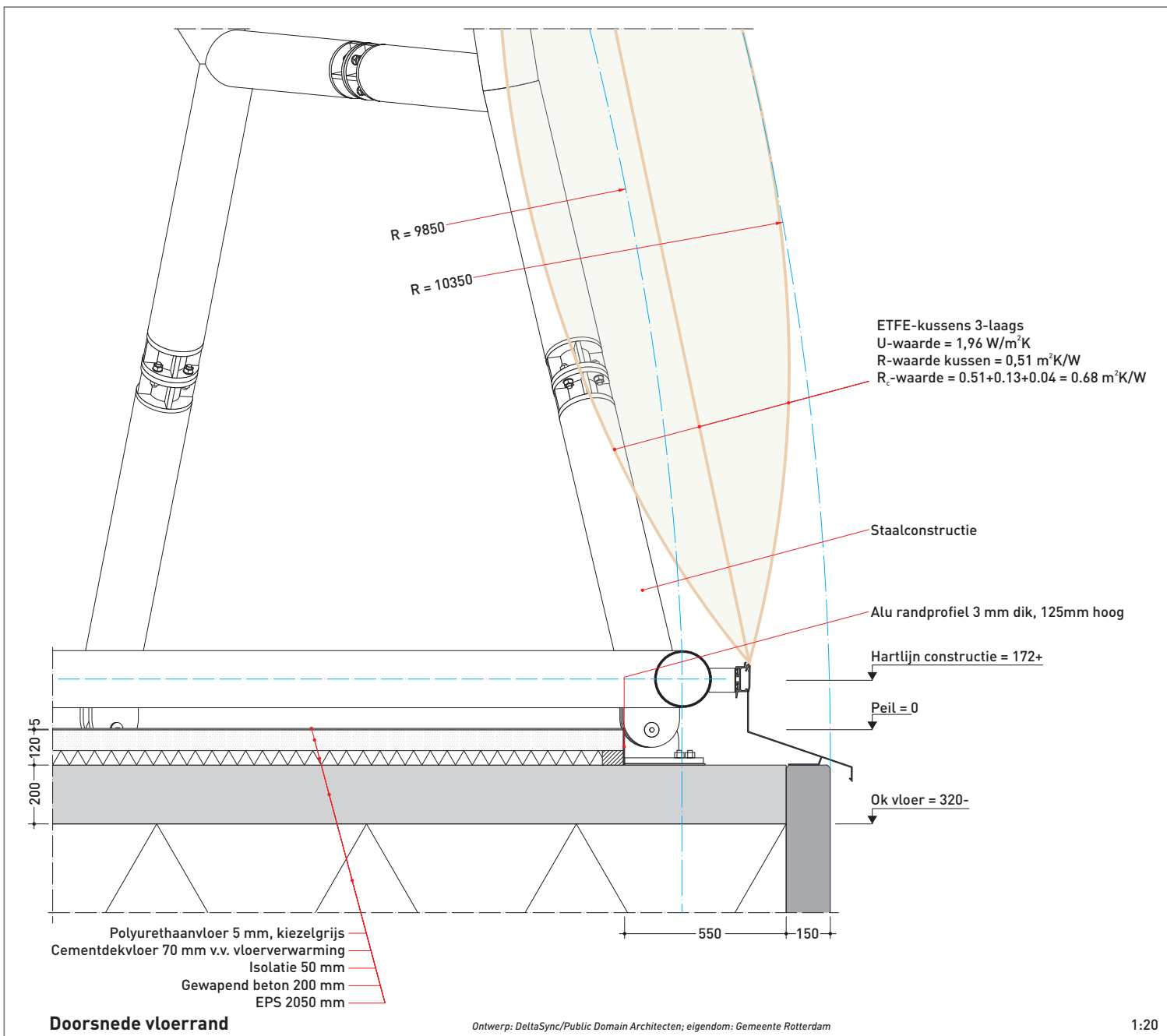


Drijvend paviljoen met geodetische koepels

Koelen met zonne-energie

Rotterdam krijgt een drijvend paviljoen dat bestaat uit drie gekoppelde geodetische koepels op een drijflichaam van EPS met betonraster. De koepels zijn bekleed met ETFE-luchtkussens. De installaties in het paviljoen zijn duurzaam en opvallend, onder meer door koelen met zonne-energie.

Tekst: Henk Wind; Foto's: Deltasync, Rotterdam Climate Initiative en Henk Wind





Een geodetische koepel is een zeer efficiënte manier om grote ruimtes te overkappen. De constructie blijft daardoor relatief licht. En dat is van groot belang bij drijvend bouwen. 'Het zwaartepunt moet je zo laag mogelijk houden om de gevoeligheid voor schommelen te verkleinen', zegt Bart Roeffen van het Delftse DeltaSync. Om die reden ook zijn de koepels van het Drijvend Paviljoen in Rotterdam niet met glas bekleed, maar met drielaagse ETFE-luchtkussens. Het lichte gewicht daarvan tikt ook nog eens door in de staalconstructie. Opvallend is dat de geodetische koepels niet zijn opgebouwd met driehoeken, maar met zes- en vijfhoeken. 'Driehoeken zijn niet zo geschikt voor ETFE-luchtkussens. Ze gaan dan heel vreemd opbollen. Daarbij zijn de kussens dan te klein en daardoor te bewerkelijk en in de scherpe punten levert het ook problemen op.' Een mogelijkheid was ook om de vorm van de luchtkussens onafhankelijk te maken van de staalconstructie. 'Maar gezien de dikte van een opgeblazen kussen moet je de bevestigingen van de luchtkussens dan wel op een meter afstand van de staalconstructie plaatsen.'

Gelaste knooppunten

De keuze viel dus op grotere elementen. Nadeel daarvan is wel dat die vormen niet van zichzelf momentvast zijn, in tegenstelling tot driehoeken. Daarom zijn de koepels opgebouwd uit verschillende geprefabriceerde segmenten met gelaste knooppunten. De geboute verbindingen tussen de verschillende segmenten zijn in het midden van de stijlen gelegd.

Op deze vorm konden de klemprofielen voor de ETFE-luchtkussens rechtstreeks worden bevestigd. Zowel de staalconstructie als de bekleding met ETFE-luchtkussens is uitgevoerd door het Duitse bedrijf Vector Foiltec, dat ook betrokken is geweest bij gebouwen voor de Olympische Spelen in Beijing. Overigens hebben alle drie de koepels verschillende maten. De grootste heeft een middellijn van 24 meter. In het ontwerp is ernaar gestreefd om de vakverdeling in de koepels zo te maken dat de luchtkussens van alle koepels ongeveer dezelfde maat hebben.

Klimaatzones

Omdat DeltaSync drijvend bouwen ook verbindt aan klimaatverandering, stond duurzaamheid hoog in het vaandel. Daarom is vanaf het begin ook DWA installatie- en energieadvies betrokken geweest bij de ontwikkeling. De met ETFE-luchtkussens beklede koepels vormen op zich klimaattechnisch niet de meest optimale schil. De thermische isolatiewaarde is beperkt en door zoninstraling bestaat het gevaar van oververhitting. Voor een deel is dat opgelost door te kiezen voor verschillende klimaatzones. De ruimte rechtstreeks onder de koepels is ingericht als tentoonstellingsruimte. Binnenactiviteiten die hogere comforteisen stellen, vinden plaats in ingebouwde geïsoleerde elementen, zoals het auditorium. Verder is de zoninstraling beperkt door een deel van de luchtkussens te voorzien van een print. Daarbij is er ook nog extra ventilatie mogelijk. Langs de gevel bevinden zich glazen puien met draaibare lamellen en bovenin het ETFE-dak zijn te openen delen aangebracht. Hiervoor is een zeshoek opgedeeld in twee kleinere delen.

Gebruik zonnewarmte

De koepel waarin het auditorium is gebouwd, heeft een print op de gevelvlakken, waardoor het zicht op de buitenkant van het ingebouwde auditorium wegvalt. Deze koepel heeft echter geen print op de dakvlakken. Zoninstraling via het dak is in deze koepel namelijk juist zeer gewenst, want met de zonnewarmte wordt het onderliggende audito-



1. Het paviljoen bestaat uit drie gekoppelde geodetische koepels.
2. De koepels zijn opgebouwd uit vijf- en zeshoekige elementen.
3. Na de bouw in de Heise haven is het paviljoen ver sleept naar de Rijnhaven.



rium gekoeld volgens het principe van indirecte adiabatische koeling. Bij adiabatische koeling wordt lucht gekoeld door die langs een nevel van waterdruppels te leiden. Het water onttrekt bij zijn verdamping energie aan de lucht, die dus afkoelt. In dit geval is echter gekozen voor een innovatieve uitbreiding op de adiabatische koelunit (van Menerga Klimaattechniek uit Warmond). Daarbij wordt de lucht eerst ontvochtigd middels een sorptiemateriaal van water en zout (lithiumchloride). Daardoor kan meer water verdampen en de lucht dus sterker (tot wel 10 graden) afkoelen. De afgekoelde lucht wordt vervolgens middels een warmtewisselaar gebruikt om de ventilatielucht voor het auditorium te koelen. De zonnewarmte die binnenkomt wordt opgevangen via vacuümbuiscollectors en wordt gebruikt om het sorptiemateriaal te regenereren, door het water er weer uit te verdampen. Dat gebeurt op

Drijvend bouwen als verstedelijking van Rotterdamse havens

Rotterdam onderzoekt of er in de havens ruimte is voor verstedelijking en of drijvend bouwen daar een belangrijke rol in kan spelen. De oude havens verliezen hun functie door de verplaatsing van activiteiten naar de Maasvlaktes, terwijl ondertussen behoefte is aan meer woonruimte dicht bij de stad. Met drijvend bouwen kan het havenoppervlak intensiever worden benut.

Een eerste experiment is een drijvend paviljoen in de Rijnhaven, aan de zuidkant van de Kop van Zuid. Het drijvend paviljoen gaat dienst doen als expositie- en ontvangstpaviljoen over drijvend bouwen. Het ambitieniveau lag daarom ook hoog.

Het idee voor het paviljoen is afkomstig van DeltaSync, dat 2,5 jaar geleden werd opgericht vanuit een prijsvraag van Royal Haskoning voor de ontwikkeling van een drijvende stad. Het bureau wil drijvend bouwen ontwikkelen en stimuleren. Het maakte een ontwerp voor een drijvend paviljoen voor de World Expo in Sjanghai en wist Rotterdam hiervoor te interesseren. De World Expo was qua tijd en financiën niet haalbaar; een demonstratieproject in de Rijnhaven was dat wel. DeltaSync werkte het ontwerp verder uit samen met Public Domain Architecten. DWA werd erbij gehaald als adviseur voor bouwfysica en installaties. Bouwer werd Dura Vermeer, die eerder al samen met Unidek het drijflichaam FlexBase ontwikkelde.

zonnige dagen rechtstreeks, maar ook wordt zoutmengsel opgeslagen in twee vaten: één met een hoge concentratie zout en één met een lage concentratie zout. Door deze opslag is er altijd een rijk zoutmengsel beschikbaar, ook op warme dagen met weinig zon en zelfs 's nachts. Die nachtelijke koeling is met name nodig omdat er Phase Changing Materials zijn toegepast, als aanvullende manier om het klimaat te beheersen.

Warmteaccumulatie

Deze Phase Changing Materials hebben een soortgelijke werking als het warmteaccumulerend vermogen van steenachtige materialen. Het zijn materialen die een smeltpunt hebben dat net boven de 20 graden ligt. Als de binnentemperatuur hoger komt, gaan de materialen smelten, wat warmte onttrekt aan de omgeving. 's Nachts moeten de PCM's weer regenereren (stollen). Belangrijk is dus dat er zowel overdag als 's nachts voldoende lucht langs de PCM's wordt geleid. Daarom heeft leverancier Autarkis deze in de vorm van lamellen aangebracht in kasten die zijn aangesloten op luchtkanalen. Middels een klep wordt hier 's nachts koele buitenlucht langs gevoerd, eventueel bijgekoeld middels de adiabatische koeling. Overdag wordt juist warme lucht uit het auditorium langs de PCM-lamellen gevoerd, zodat die volop warmte kunnen bufferen.

Warmtepomp

Voor verdere verwarming en koeling maakt het Drijvend Paviljoen gebruik van een WTW-unit en van twee warmtepompen (een lucht/water-warmtepomp en een water/water-warmtepomp) die in voor- en naseizoen tegelijkertijd koeling voor het auditorium en verwarming voor de exporuimte kunnen leveren. Het bleek niet mogelijk

4



5



6



om rechtstreeks te koelen met Maaswater. In de zomer blijkt de watertemperatuur in de Rijnhaven namelijk al snel op te lopen tot 20 °C of hoger, ook nabij de bodem van de 7 meter diepe haven. Op de warmtepomp is een net van vloerverwarming aangesloten. Aanvullend zijn in de expositieruimte nog Fiwihex-units opgehangen. Dit zijn warmtewisselaars met koperdraadwikkelingen die al zeer effectief werken bij een minimaal temperatuurverschil en die dus op een lagetemperatuurverwarming kunnen worden aangesloten. Het Drijvend Paviljoen is niet autarkisch, maar komt wel een heel eind in die richting. Er is alleen een elektriciteitsaansluiting nodig. Voor toiletspoeling en dergelijke wordt water hergebruikt, eventueel aangevuld door oppervlaktewater. Voor drinkwater is er een tank die wordt gevuld door een waterboot. Vervuild water wordt gereinigd via een IBA.

Projectgegevens

Locatie: Rijnhaven, Rotterdam

Opdrachtgever: Rotterdam Climate Proof, www.rotterdamclimateinitiative.nl

Ontwerp: DeltaSync, Delft, www.deltasync.nl, en Public Domain Architecten, Rotterdam, www.publicdomainarchitecten.nl

Adviseur energie, installaties en bouwfysica: DWA, Bodegraven, www.dwa.nl

Uitvoering: Dura Vermeer Rotterdam, www.duravermeerbouwrotterdam.nl

Constructieadviseur: Advin, Barendrecht, www.advin.nl

Uitvoering drijflichaam: Prinsen Waterbouw, Almere, www.prinsenvaterbouw.nl

Uitvoering koepel (staal + ETFE): Vector Foiltech, Bremen (D), www.vector-foiltec.com

Leverancier PCM: Autarkis bv, Almere, www.autarkis.nl

Leverancier unit adiabatische koeling: Menerga Klimaattechniek, Warmond, www.menerga.nl

Installateur: Unica installatietechniek, Rotterdam, www.unica.nl

EPS met betonraster als drijflichaam

Basis van het paviljoen en het bijbehorende toegangsplein is een drijflichaam van EPS. Dura Vermeer en Unidek ontwikkelden dit concept samen onder de naam FlexBase. Het wordt ter plekke opgebouwd uit vijf verschillende lagen EPS. De bovenste laag bestaat uit blokken EPS van 750 mm hoogte. Die worden zo aangebracht dat daartussen een raster ontstaat, waarin gewapend beton kan worden aangebracht. Daaroverheen ligt een 200 mm dikke betonvloer. Het drijflichaam is gebouwd door Prinsen Waterbouw, onderdeel van Dura Vermeer Beton- en Waterbouw. Samen met advies- en ingenieursbureau Advin is vooraf nauwkeurig bepaald in welke volgorde en fasering het beton werd aangebracht. Tijdens de uitvoering zijn de vervormingen van het eiland gemeten, zodat hierop kon worden bijgestuurd.

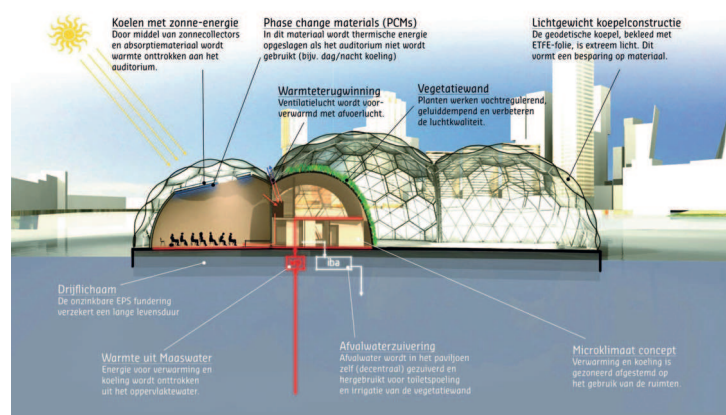
Rondom het drijflichaam zijn prefab betonnen platen bevestigd. Deze platen beschermen tegen golfslag en aanvaringen. Maar ook tegen op het water drijvende olie, die het EPS zou kunnen aantasten. De onderkant van het drijflichaam is voorzien van een harde coating, die aantasting door waterdieren voorkomt. Voordeel van FlexBase is dat het gehele drijflichaam op het water wordt gebouwd. Dit in tegenstelling tot drijvende betonnen bakken die in een dok worden gebouwd en daardoor beperkt zijn in afmetingen en onderling moeten worden gekoppeld. Deze koppeling is nog redelijk onbekend en zou veel engineering hebben gevraagd. FlexBase is een constructief geheel door het raster van betonnen balken en kan daardoor ook ongelijkmatige belastingen aan. Uiteraard ontbreekt de 'kelder' die drijvende bakken wel



hebben, maar daar was in dit geval ook geen behoefte aan. Het Drijvend Paviljoen wordt gekoppeld aan een drijvend plein, dat op zijn beurt aan zware meerpalen wordt bevestigd. Op het plein is een tribune/trap gebouwd, die de toegang vormt tot het Drijvend Paviljoen. Deze trap overbrugt het hoogteverschil met de kade. De hoogte is zo berekend dat de helling van de loopbrug vanaf de trap naar de kade bij verschillende waterpeilen maximaal 1:20 (omhoog of naar beneden) is, zodat het Drijvend Paviljoen altijd toegankelijk is voor mindervaliden. Plein en Paviljoen zijn opgebouwd in de haven bij Heijplaat/RDM-campus en vervolgens versleept naar de Rijnhaven. Een voordeel van drijvend bouwen is dat de bouw al kan starten voordat de definitieve locatie bouwrijp of zelfs maar bekend is.

4. Het paviljoen is een permanent, maar verplaatsbaar gebouw. Het is zongericht ontworpen, met het auditorium op het zuiden.
5. Bovenin de koepels zijn te openen delen aangebracht, eveneens bestaande uit ETFE-luchtkussens.
6. De toevoerbuizen voor de luchtkussens liggen direct achter de staalconstructie.
7. Duurzaamheid was uitgangspunt in het ontwerp.
8. Activiteiten die hoge comforteisen stellen, vinden plaats in inbouwlementen, zoals het auditorium.
9. De ventilatielucht voor het auditorium wordt gekoeld middels zonne-energie.
10. Plein en paviljoen werden gescheiden gebouwd. Het paviljoen is later aan het plein gekoppeld; het plein is met zware stalen ringen aan meerpalen afgemeerd.

7



8



9



10



7