

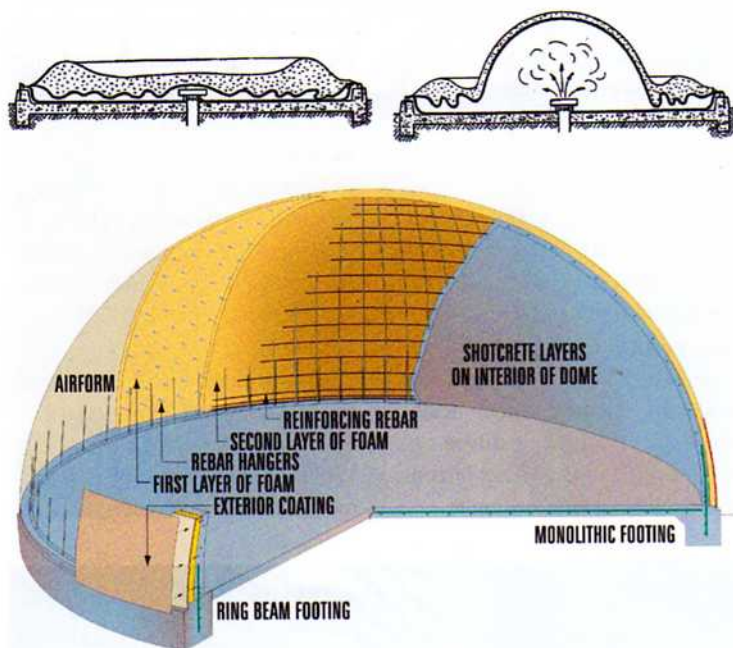
Spuitbeton op voorgespannen membranen

ir. A.D.C. Pronk, TU Eindhoven, faculteit Bouwkunde

Op de Technische Universiteit Eindhoven wordt bij de faculteit Bouwkunde onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van 'spuitbeton op voorgespannen membranen'. Het onderzoek is onderdeel van een promotietraject. Deze techniek biedt uitkomst voor het maken van vormen die op een andere manier moeilijk zijn te realiseren, zoals blobs. Een van de toepassingen is de mogelijke herbouw van het Philipspaviljoen, destijds ontworpen door Le Corbusier voor de wereldtentoonstelling in 1958 in Brussel.

1, 2 | Aanbrengen van de mortel op de grond, waarna door lucht-drukverhoging de dome-vorm wordt bereikt

3 | Opbouw van 'monolithic dome'



Er is een lange traditie in het gebruik van textiele bekistingen. Meestal gaat het daarbij om regelmatige vormen zoals koepels. Bekend zijn de koepelconstructies van Binishell en monolithic dome.

Binishell is een systeem waarbij de voorbereidingen op de grond in het platte vlak worden uitgevoerd, om vervolgens de 'dome' in zijn eindtoestand te brengen. Doek, wapening en mortel worden op de grond aangebracht. Vervolgens wordt er een tweede doek aangebracht over de mortel om daarna door het toevoegen van luchtdruk onder het eerste doek de dome op te blazen in de eindtoestand (fig. 1, 2).

Monolithic dome is een toepassing waarbij in een opblaasbare mal een laag van polyurethaan wordt aangebracht ($\pm 70 - 100$ mm), waarop de wapening wordt bevestigd (fig. 3). Tot slot wordt in lagen de spuitmortel over de wapening gespoten (bron: www.monolithic.com).

Vorm

Met opblaasbare constructies kunnen alleen vormen worden gemaakt waarin op de een of andere manier een cirkel of cirkelsegment voorkomt. In de meeste gevallen leidt dat tot bolle (sinclastische) of cilindrische vormen. Met voorgespannen tentconstructies kunnen holle (anticlastische)

vormen worden gemaakt. Door een combinatie van opblaasbare vormen met daarover voorgespannen membranen wordt het mogelijk zeer veel vormen te maken. Na het verkrijgen van de gewenste vorm kan het doek dienstdoen als mal voor een schaalconstructie.

Polyester en ijs

Om aan te tonen dat theorie ook praktijk kan worden, hebben we twee experimenten uitgevoerd. Bij het eerste experiment is gebruikgemaakt van een polyester sandwichconstructie. De onderzoekers van de TU/e hebben ervaring opgedaan met deze manier van bouwen door, in samenwerking met kunstenaar Jurgen Bey, een paviljoen te realiseren. Het blobpaviljoen dat daaruit voortgekomen staat op de campus van de TU/e en kan op verzoek worden bezocht (zie www.blob.tue.nl). Daarnaast is er geëxperimenteerd met ijs dat met behulp van koelmachines ook bij temperaturen boven het vriespunt tot bijzondere constructies heeft geleid (foto 4, 5).

Spuitbeton

Naast deze positieve resultaten met polyester en ijs wordt er volop geëxperimenteerd met spuitbeton. De standaard druksterktes van de spuitmortel zijn relatief hoog en variëren van 30 tot 50 N/mm². De spuitmortel heeft een toevoeging van hulpstoffen die de eigenschappen van mortel beïnvloeden:

- versnellers zorgen ervoor dat de net aangebrachte natte mortel snel stijf wordt, zodat deze voor ondersteuning van nieuwe mortel zorgt én niet naar beneden zal gaan vloeien door de zwaartekracht;
- plastificeerders zorgen ervoor dat de mortel niet teveel water hoeft te bevatten (en toch verspuitbaar is); te veel water in de

mortel zorgt namelijk voor een slechtere eindsterkte van de mortel;

- vezels (staal/kunststof) worden toegevoegd om de treksterkte van het beton te verhogen; hiermee moeten thermische scheuren en krimp-scheuren worden voorkomen.

De spuitmortel wordt in lagen aangebracht. De dikte per laag is gemiddeld genomen zo'n 20 mm. Een nadeel van het materiaal beton is het hoge eigen gewicht waardoor de membraanbekisting bloot komt te staan aan grote krachten. Door het toevoegen van plastificeerder en versneller aan het beton kunnen de eigenschappen van het beton zo worden beïnvloed, dat er geen hydrostatische druk in de aangebrachte (natte) mortel wordt opgebouwd. Door deze eigenschap is er, vergeleken met de vloeibare mortels, een reductie mogelijk in de bekisting. Er is immers alleen een oppervlak nodig om de mortel tegen aan te brengen.

Bij het eerste experiment is er spuitmortel aangebracht op een vlak gespannen membraan van ongeveer 1,5 x 1,5 m². Omdat het te onderzoeken concept (spuit-

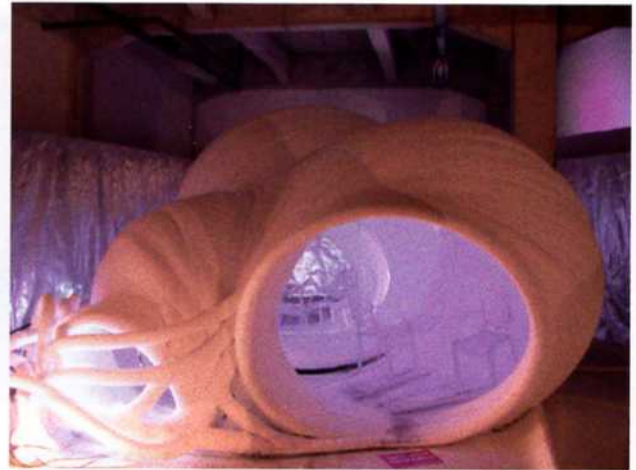
mortel op gespannen membranen) nog niet eerder in deze vorm is uitgevoerd, is er door 'trial and error' onderzocht hoe mortel en membraan zich ten opzichte van elkaar gedragen. Daarbij bleek het mogelijk in een keer tot een dikte van 120 mm beton op een verticaal gespannen membraan aan te brengen.

Het tweede experiment betrof het aanbrengen van spuitbeton op een dubbelgekromd oppervlak (foto 6, 7). Daarbij richt het onderzoek zich op de gedragingen van het membraan tijdens het bespuiten van deze vorm (foto 8). De conclusie van dit experiment is dat de vervormingen in het membraan beheersbaar zijn. Wel moet worden opgemerkt dat een zorgvuldige engineering en uitvoering noodzakelijk zijn. Een ander aspect was het aanbrengen van wapening en de hechting van het beton op deze constructie tijdens verwerking. Deze resultaten waren goed getuige foto 9, waarbij wapening en beton hangen onder een horizontaal aangebracht membraan.

Philippspaviljoen

De basis voor het derde experiment is een vorm die ontleend is aan het Philippspaviljoen van Le Corbusier (foto 10). Dit paviljoen maakte deel uit van de wereldtentoonstelling in 1958 in Brussel. Momenteel wordt onderzocht of het mogelijk is dit gebouw te herbouwen. Mogelijke locatie is Strijp S te Eindhoven.

Het gebouw is ontworpen in de vorm van een puntige schelp met een inhoud van 4000 m³ die geheel is opgebouwd uit wiskundige vormen (hyperbolische paraboloiden). De plattegrond heeft de vorm van een maag met een omvang van ongeveer 1000 m² (40 x 25 m²) en het hoogste punt was 22 m. Het systeem waarmee het paviljoen destijds is gemaakt bevat 50 mm dikke geprefabriceerde betonplaten, opgehangen aan 8 mm dikke staalkabels. De panelen werden bekist met behulp



van een zandmal van 1,5 bij 1,5 m². Alle delen werden apart genummerd, getransporteerd en op locatie met elkaar verbonden. De ontwikkelde methode uit 1958 is zeer omslachtig en zou met de huidige arbeidsverhoudingen leiden tot zeer hoge kosten.

De vorm van het paviljoen bestaat uit hyperbolen die kunnen worden gemaakt uit voorgespannen membranen. Daarmee is het mogelijk de betonnen schaalconstructie van destijds te reconstrueren door het opspuiten van beton tegen voorgespannen membranen. Om dit te bewijzen is een element van het Philippspaviljoen op deze manier gemaakt (foto 11). Daarbij is een stalen buisconstructie geplaatst op een betonnen fundering waartussen een membraan is gespannen. Deze membraan is voorzien van isolatie aan de buitenzijde. Vervolgens is aan de binnenzijde een betonschaal gespoten en aan de

4 | Iglo

5 | Blobspaviljoen Jurgen Bey

6, 7 | Aanbrengen van de spuitmortel op gespannen PVC membraan

