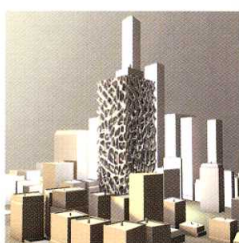
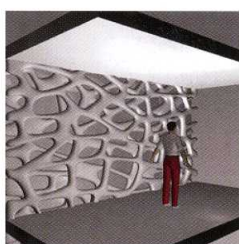
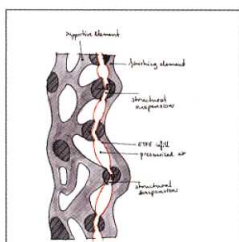


Auteur: Jeroen van Nieuwenhuizen

FILIGRAINE



Computersimulaties en schetsen laten de bedoeling zien. De proefstukken met folie, MDF en beton laten het resultaat zien, de dubbelwandige 'bottenstructuur'.

► Vrij vorm gegeven architectuur intrigeert, maar het maken ervan kost nog de nodige hoofdbreken. Bij dit type architectuur worden gevel en dak een geheel, een huid. Verschillende manieren om vrije vormen te maken zijn op dit moment in ontwikkeling, zo ook bij schalen van beton.

Bij de onderzoeken naar vrije vormen in beton spelen de (nieuwe) ontwikkelingen in folies en betonsoorten een grote rol. Door het opblazen van tweelaagse geprepareerde folies en Ultra Hoge Sterkte Beton (UHSB) kunnen intrigerende draagstructuren worden gecreëerd. Er is bij deze techniek geen discrepantie meer tussen de vorm, de totstandkoming en de constructieve werking.

Onderzoek

Arno Pronk, verbonden aan de Technische Universiteit Eindhoven, is gefascineerd door de problemen bij het maken van vrije vormen. Hij probeert de problematiek vanuit de architectuur te benaderen, en minder vanuit het oogpunt van efficiëntie en optimalisatie. Hij denkt dat juist de vormvrijheid een belangrijk argument is voor de realisatie van betonnen schaalconstructies. Gregor Zimmerman, van de Universitat van Kassel, houdt zich eveneens bezig met onderzoek naar het maken van betonschalen. Hij benadert de problematiek net als Pronk vanuit de architectonische potenties. Hij legt de nadruk op efficiëntie en optimalisatie. Beide onderzoekers maken dankbaar gebruik van computermodellen om filigraine betonschalen uit te rekenen en te optimaliseren.

Botten

Betonschalen zijn in het verleden op allerlei manieren gerealiseerd. Door middel van bekisten, met hulpconstructies en door opblaastechnieken. Pronk richt zich op de laatste optie. Een van zijn recente projecten, uitgevoerd samen met Joris Ketelaars, Paul van Laerhoven, en Maurice Dominicus, is BONE, een co-onderzoek met hulp van Buitink Technology, Maxit Beamix, en Adfil Uk Ltd. Onderzoeksthema is het maken van betonstructuren met membranen. Het storten van beton in mallen is een complex, arbeidsintensief proces, zeker voor vrij vormgegeven gebouwen. Geprobeerd is dat proces te vereenvoudigen, en te streven naar een gladder oppervlak. Inspiratie haalden de onderzoekers uit de structuur van botten die licht van gewicht zijn en enorme krachten kunnen dragen. Vertaald naar betonschalen zou zo'n zelfde structuur haalbaar moeten zijn door gebruik te maken van vezelversterkte beton gegoten tussen twee lagen EPDM-folie dat met MDF in vorm is gebracht.

Folie

Na eerst gewerkt te hebben met PE-folie en PVC is gekozen voor EPDM-folie, met sparingen, gecreëerd door twee vlakke folies plaatselijk op elkaar te klemmen met behulp van MDF platen. Bij het storten leverde dat een mooi, gaaf oppervlak op. Om het materiaal goed verdeeld te krijgen is een 'schimmelconstructie' ontwikkeld. Met die constructie is de hoek waaronder gestort wordt te variëren om zo de materiaalverdeling te beïnvloeden.

Omdat het EPDM — dat de feitelijke bekisting vormt — bestaat uit vlakke 'slabs' en niet naar de vorm van het model hoeft te worden gesneden of gelast is het mogelijk om variërende elementen te produceren op basis van één en dezelfde bekisting. Het EPDM komt uitstekend los van het beton en is meerdere keren inzetbaar. Het assembleren van de bekisting in een eenvoudig, zij het enigszins arbeidsintensief proces.

Productieproces

Om BONE daadwerkelijk constructief toe te kunnen passen is het van belang het stortproces zodanig te beheersen dat elke betonddoorsnede voldoet aan een vooraf gesteld minimum oppervlak. Er zijn twee factoren van invloed op de afmeting van de doorsnede: de betondruk tijdens het stortproces en plooivorming. Het storten via een staande stortkoker maakt het mogelijk om de gewenste hoeveelheid betondruk te realiseren. Hierdoor zal het EPDM over het gehele oppervlak voldoende rekken om de vereiste doorsnede te bereiken. Plooivorming kan voorkomen worden door het opspannen van het EPDM.

Bij het storten van de elementen vertoonde vooral het dragend element veel luchtinsluiting. Dat is te voorkomen door de elementen te storten met de eerder genoemde schimmel.

Het in de mock-up gebruikte beton en de hierin vermengde vezelwapening werkten echter niet voldoende samen. In combinatie met een enkele kleine doorsnede zorgde dit voor een aantal breuken tijdens het montageproces. De indruk na het maken van de verschillende proefmodellen en de uiteindelijke mock-up is dat het toepassen vezelversterkt beton (Polypropyleen-, staal-, koolstofvezels) in combinatie met een hoge sterkte-beton tot prima resultaten zou kunnen leiden.

BETONSCHALEN

Enkel of dubbel gekromde elementen

Bij BONE is gekozen voor een opbouw van een dragend en een gevelsluitend element, maar het is ook mogelijk om één van beide lagen weg te laten of juist een extra laag toe te voegen. Daarnaast is nog een enorme variatie te bereiken door het beton af te werken, of te kiezen voor een invulling met isolerende beglazing, en door het al dan niet opnemen van verlichting in de luchtsouw. De methode leent zich voor de productie van enkel of dubbel gekromde elementen. Wat de weg opent om met BONE vrij gevormde architectuur te realiseren.

Filigraine betonschalen

Gregor Zimmermann onderzoekt aan de Universität van Kassel filigraine betonschalen gemaakt met dubbelschalige membranen (1). De combinatie membranen en beton is zoals gezegd niet nieuw. Maar de manier waarop schaalachtige betonstructuren als dunne netwerken tussen twee membranen worden ontwikkeld wel. Tweeschalige membranen worden in Kassel op een fundering bevestigd. Daarna wordt de eerste laag van binnenuit onder overdruk gezet. Vervolgens wordt ruimte tussen de eerste en tweede laag opgeblazen en vervolgens wordt de beton (UHSB)

van 70 procent op het betonvolume. Het onderzoek in Kassel heeft overlap en verschillen met dat van Pronk en zijn TUE team. Kassel concentreert zich op UHSB en folieoptimalisaties, terwijl de TUE verschillende types folie heeft onderzocht. De TUE gebruikt MDF platen om de 'sparingen' te maken in 'vlakke' elementen, terwijl Kassel een koepelvormige constructie in één keer op de locatie produceert.

Tot slot

Uit het onderzoek van de Universität van Kassel blijkt dat de structuur van de vezelbeton niet homogeen is doordat de vezels niet overal dezelfde kant op wijzen door het pompen. Dat leidt, samen met de resultaten uit de optimaliseringsberekeningen, de buigtesten en andere proeven, tot een veel betere definitie van de sterkte, stijfheid en andere eigenschappen van betonnen filigraine schalen met opgeblazen membranen. ◀

Dit artikel is gebaseerd op de verslagen en abstracts voor congressen van de TUE en Universität van Kassel. Zie ook: <http://www.unikassel.de/fb12/wwtwl/forschung/MBGT/index.html>

Noot

1. Gitterschalen Tragwerke, ISBN 3833491159, Zimmermann, Gregor.

Vrije vormen met folies en ultra hoge sterkte beton

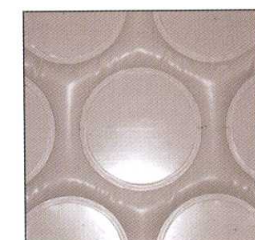
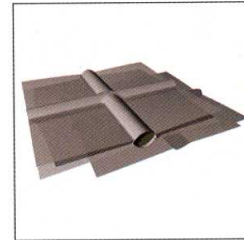
erin gepompt. Na het uitharden ontstaat een vorm die vooral onder spanning staat van drukkrachten. Door het gebruik van UHSB is een dunne, haast filigraine en zeer sterke structuur mogelijk met een besparing

Opblaasstructuren

Opblaasstructuren zijn bekend sinds 1918 toen F.W. Lanchester een patent voor een veldhospital verkreeg. De eerste betonnen koepels middels opblaasstructuren zijn door Wallace Neff in 1940 gemaakt, en in 1987 heeft Werner Sobek rekenkundige methoden ontwikkeld om aan opblaasbare structuren onder betonbelasting te kunnen rekenen.

Door deze techniek kunnen allerlei opgeblazen vormen als het ware worden bevroren in beton. Bruikbaar worden geacht de PTFE folies, PVC folies en ETFE folies. Het is belangrijk dat het

membraan niet gaat rimpelen omdat daardoor de doorsnede niet gelijk blijft waardoor de kans op bezwijken groter wordt. Het is daarom noodzakelijk dat in de rekenprogramma's niet alleen het gewicht tijdens het storten in relatie wordt gebracht met de opblaasstructuur, maar ook windbelasting of sneeuwbelasting tijdens de gebruiksfase. De vorm moet gevonden worden rekening houdend met imperfecties door het storten, scheurvorming tijdens de levensduur en de eigenschappen van het gekozen membraan. Verschillende proefopstellingen en tests zijn gedaan en gedocumenteerd door de TUE en de Universität van Kassel.



Details en opbouw van de betonschaal, van verankering aan de fundering tot het uitharden van de beton tussen de twee lagen folie.