

# Vitrine

## ▶ Free Form Architecture

**“Het is nog niet mogelijk om alles te bouwen wat de mens met behulp van moderne software kan bedenken, maar er is veel meer mogelijk dan je zou verwachten”, aldus Arno Pronk. Zijn uitspraak heeft zowel betrekking op de uitvoeringstechniek als op economische haalbaarheid. Pronk houdt zich voor de TU Eindhoven bezig met onderzoek, onderwijs en ontwikkeling van de technieken die nodig zijn om Free Form Architecture haalbaar te maken.**

▶ Hajo Schilperoort

*In 2006 patenteerde u de Blowing Structure Method, een techniek om blobs te maken. Wat houdt de methode in?*

De Blowing Structure Method combineert drie elementen. Je kunt met opblaasbare elementen zoals ballonnen (1), plus een membraan of stuk gaas of textiel dat daar als tweede huid strak overheen gespannen is (2), allerlei vormen creëren met zowel holle als bolle, zowel positieve als negatieve krommingen. Deze vrije vorm kun je nog aanvullend vervormen door rigide vormen in te brengen, door aan lokale punten te duwen of trekken, door een ballon samen te drukken met een hard oppervlak of object, of door hem met kabels in te snoeren. Deze vorm doet dienst als een flexibele mal die met bijvoorbeeld spuitbeton of polyester verstevigd kan worden (3).

*Op welke manier vinden ontwerp en engineering hierbij plaats?*

We hebben deze bouwmethode voor het eerst in 2003 op volle schaal in de praktijk gebracht bij de bouw van het paviljoen van Jurgen Bey. Er kwam toen in het geheel nog geen modelling software bij kijken. Het ontwerp is eerst op schetspapier gemaakt, en vervolgens heeft Jurgen Bey de Blowing Structure Method gebruikt om een fysiek 3D model te maken. Deze maquette is leidend geweest: we hebben hem gebruikt voor de engineering, en pas in deze fase hebben we van software gebruik gemaakt om met een finite elements programma het actieve gedrag van het oppervlak te analyseren. Aan de hand van de resultaten hebben we besloten de schil op bepaalde punten zwaarder uit te voeren. De input voor het programma is geleverd door een 3D scan van het fysieke model. Voor het uiteindelijke 1:1 paviljoen hebben we de maquette als het ware letterlijk opgeblazen. We hebben een opblaasbare mal van polyester met kabels, rigide elementen en een tweede omspannend membraan in vorm gebracht en het membraan tot slot verstevigd met glasvezelversterkt polyester.

*De Blowing Structure Method, een door Pronk gepatenteerde bouwmethode, is voor het eerst in 2003 op volle schaal in de praktijk gebracht bij de bouw van het paviljoen van Jurgen Bey.*



*De afgelopen jaren heeft u ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om Le Corbusiers en Xenakis' Philips paviljoen met eigentijdse technieken te reconstrueren. Het paviljoen is geen blob, maar bestaat wel uit 'free form' dubbelgekromde oppervlakken. Wat was de aanleiding voor dit onderzoek? En op welke manier zou u het paviljoen vijftig jaar na dato construeren?*

Le Corbusier en Xenakis ontwierpen het Philips-paviljoen voor de Wereld-expo 1958 in Brussel. Het was een Gesamtkunstwerk van revolutionaire architectuur, muziek en kunst. Er vonden volstrekt nieuwe experimenten plaats met elektronische muziek en synthesizers, er werden animaties geprojecteerd en verlichtingseffecten uitgeprobeerd. Het paviljoen zelf bestond uit een hyperbolische schaalstructuur in een spaceframe.



*Ballonnen met kabelnetten als mal. Na het aanbrengen van het spuitbeton ontstaat de blob.*

Er wordt op dit moment in Eindhoven een instituut opgericht dat een symbiose en synergie nastreeft tussen de verschillende kunsten die gebruik maken van de allernieuwste technologie. In dat kader wordt de herbouw van het Philips-paviljoen overwogen. We hebben gestudeerd op manieren om het goedkoper uit te voeren dan wat het zou kosten wanneer de toenmalige bouwmethode nu zou worden gebruikt.

Het paviljoen is in 1958 oorspronkelijk opgetrokken uit 50 mm dikke prefab betonpanelen van circa 1,5 m<sup>2</sup>. De panelen zijn elders vervaardigd op een enorme mal van zand. Daarna zijn ze genummerd en naar de bouwplaats vervoerd waar ze een voor een zijn aangebracht op een houten ondersteuning. Vervolgens zijn ze met staalkabels aan elkaar verbonden, die op hun beurt in een mega-spaceframe van betonnen buizen waren gespannen. De methode is ongelooflijk arbeidsintensief, maar het was praktisch de enige methode die destijds beschikbaar was.

Met de techniek van nu zouden we het anders aanpakken: we zouden nu geen kabels maar membranen in het spaceframe opspannen. Deze membranen kunnen we vervolgens gebruiken om met spuitbeton de schalen te maken. Een schaal bestaat uit stalen wapeningsstaven aan de binnenzijde van het membraan, waarover in meerdere lagen beton wordt gespoten. Aan de buitenzijde wordt isolatiemateriaal bevestigd dat met een laagje spuitbeton en een coating wordt afgewerkt. Als er op de juiste wijze ankers worden toegepast kan deze toplaag als sandwichconstructie samenwerken met de betonschil en de stalen buizen. We kunnen het paviljoen zo voor drie miljoen euro maken, terwijl het met de oorspronkelijke bouwmethode nu meer dan tien miljoen euro zou kosten.

### *Spuitbeton speelt een belangrijke rol bij de versteviging. Wat is er met dit materiaal mogelijk?*

Spuitbeton is inderdaad een interessant materiaal met op het eerste gezicht verbijsterende eigenschappen. Wat de meeste verbazing wekt is dat het blijft zitten en niet naar beneden druipt. Om deze eigenschappen te bereiken, is een aantal additieven aan de mortel toegevoegd. Plastificeer-

ders worden toegevoegd om de hoeveelheid benodigd water te verminderen en het beton toch te kunnen spuiten. Als het te veel water bevat dan betekent dat een vermindering van de uiteindelijke kwaliteit en sterkte. Er worden ook versnellers aan toegevoegd, die ervoor zorgen dat het beton niet gaat druipen onder invloed van de zwaartekracht, en er snel nieuwe lagen aangebracht kunnen worden. Er moet worden voorkomen dat het membraan te veel vervormt onder invloed van de massa van het spuitbeton. De versnellers verkorten de periode van uitharding waardoor het mogelijk wordt om beton in dunne lagen op te spuiten in verschillende hoeken. Het is mogelijk om het spuitbeton van onder af op een 'plafond' aan te brengen en ook is het mogelijk om de dikte van de schaal te variëren, de onderzijde dikker en aan de bovenzijde dunner.

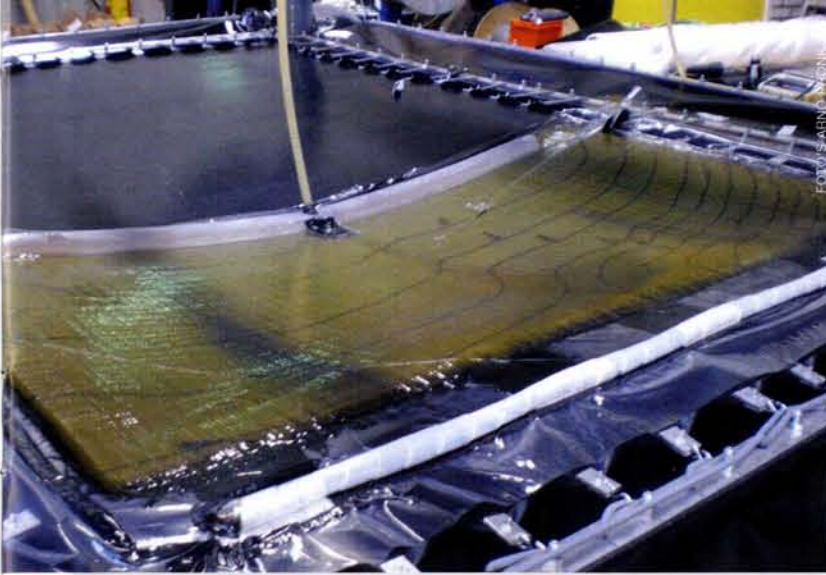
Er kunnen eventueel nog vezels aan beton worden toegevoegd om de treksterkte te vergroten. Vezels van staal, carbon, glas of polymeren komen in aanmerking. Polymeren worden het meest gebruikt en vooral toegepast om kleine scheuren in de beton beter te verdelen. Met staal, carbon en glasvezels is het mogelijk om kleinere trekkrachten op te vangen. Bij grotere geconcentreerde krachten worden ze gecombineerd met traditionele wapening. Het probleem van vezelversterkt beton is wel dat de kwaliteit ervan vooralsnog te onzeker en te afhankelijk van de uitvoering is. We zouden in Nederland toe moeten naar een gecertificeerde menging, want bij juiste bereiding is het een waardevol materiaal.

### *U werkt eveneens aan een nieuw type flexibele mal voor dubbelgekromde oppervlakken.*

Om vrij gevormde oppervlakken te maken, waren tot voor kort drie typen mallen beschikbaar: Ten eerste de statische, massieve mal van bijvoorbeeld CNC-gefreesd PS of EPS. De techniek is zeer accuraat, maar produceert helaas ook een hoop afvalmateriaal en is relatief duur. Het tweede type is de herbruikbare mal van bijvoorbeeld klei of zand, zoals die door Le Corbusier werd ingezet voor het Philips-paviljoen. Dit is een zeer duurzame methode zonder afval, maar hij is ook erg arbeidsintensief en kan niet in alle omstandigheden worden gebruikt. Tot slot is er de flexibele mal, die voor herhaald en voor zeer verschillende vormen kan worden gebruikt. Voorbeelden zijn de FlexiMould van Boers en de aanpasbare mal van Rietbergen & Vollers. Deze mallen bestaan uit een bed van in hoogte verstelbare pinnen waarmee de vorm van een membraan kan worden gemanipuleerd. Nadeel van dit type zijn de hoge investeringskosten, en het is lastig om lokale verstoringen in het oppervlak bij de pinnen geheel te vermijden. Om deze nadelen te ondervangen, zijn we op zoek gegaan naar een ander type flexibele mal.

We hebben de puntvormige manipulators (pinnen) vervangen door NURBS-curves om het oppervlak zijn gebogen vorm te geven. Dat is eigenlijk ook

Arno Pronk (1967) studeerde in 1994 af als architect aan de TU Delft. Hij werkte vervolgens enkele jaren bij Dirrix van Wylick en Marlies Rohmer architecten en realiseerde de afgelopen jaren ook als zelfstandig architect enkele gebouwen, waaronder een garage met hyperschalen en een kantoor met daarin de primeur van de Infra+vloer, die hij samen met Jos Lichtenberg (patent 1996) ontwikkelde. Sinds 2002 is Pronk als onderzoeker en docent werkzaam aan de TU Eindhoven, waar hij zich wijdt aan de maakbaarheid van de blob. In 2006 patenteerde hij de Blowing Structure Method.



Flexibele mal met vacuüminjectie.

veel logischer: in 3D-modelling packages zoals Rhinoceros, 3dsMax of Maya wordt een gekromd oppervlak ook gedefinieerd door NURBS-curves, die over of aan de rand van het oppervlak lopen. Er zijn meerdere typen B-Splines en NURBS-Curves. Met name de laatste zijn voor ons doel interessant. Een NURBS-curve is namelijk een kromme die door een serie punten heen wordt getrokken, waarbij het onderscheidende is dat ieder van deze punten ook een eigen richting of raaklijn aan de curve dicteert. Op dezelfde manier kunnen we een mal maken: we nemen een strook buigbaar materiaal en vormen deze met enkele in richting verstelbare monden (raaklijn) op in hoogte verstelbare staven (positie) tot de gewenste curve. In dit geval gebruiken we deze fysiek gereproduceerde NURBS-curve om een rand van het gewenste gebogen oppervlak te vormen. Zo doen we dat voor alle randen en daarmee is de vorm van het membraan via deze 'edges' bepaald. De manier waarop we de mal vormen is dus vrijwel identiek aan de manier waarop in de software NURBS-surfaces gevormd worden op basis van NURBS-curves.

Nu de randen van de mal – zeer exact – zijn bepaald, kan het oppervlak tussen de randen naar wens nog worden gemanipuleerd door het aanbrengen van willekeurige elementen. Zodra de vorm definitief bepaald is, kunnen we panelen maken. We hebben hiervoor de vacuüminjectiemethode gebruikt, waarmee we polyester elementen met een wapening van glasvezelmatten kunnen produceren.

Op de hier beschreven manier wordt het mogelijk om met een eenvoudige mal uiteenlopende elementen in vorm en afmeting te realiseren. Ook deze methode toont aan dat het produceren van unieke vrije vormen inmiddels niet alleen technisch maar ook economisch haalbaar is. ▶

*De blob van de Italiaan Maximiliano Fuksas in Eindhoven. Blob-deskundige Arno Pronk houdt zich op de TU Eindhoven bezig met de technieken die nodig zijn om Free Form Architecture haalbaar te maken.*

## Free Form Architecture

Pronk ontwikkelt maakmethodes vanuit een architectonische achtergrond en interesse. Maar waar komt de blob architectonisch gezien eigenlijk vandaan?

Blob is een afkorting van 'binary large object'. In de computerwereld wordt hiermee een spaghetti-achtige brij van data bedoeld. In de architectuur is een blob meestal een cocon. Wat hieraan opvalt is niet alleen de organische vorm, maar ook de ruimtelijkheid: de ruimte is als eerste gemodelleerd, de materie volgt. Dit in tegenstelling tot de gevestigde praktijk waarbij we een gebouw uit standaardelementen samenstellen, en de ruimte de wetmatigheden van de constructie volgt. Blobarchitectuur herinnert daarmee aan een architectonische revolutie die tweeduizend jaar geleden plaatsvond: waar de Grieken hun gebouwen assembleerden uit elementen (en hun denken organiseerden rond begrippen als syntax, proportie en stijl), begonnen de Romeinen de ruimte zelf te modelleren en goten het beton – dat ze ook al net uitgevonden hadden – eromheen. Het resultaat: puur interieur, ruimte als leidend beginsel, geen detail. Parthenon versus Pantheon = doos versus cocon?

Een verschil met de Romeinse architectuur is dat die gebonden was aan regelmatige vormen, zoals koepels en gewelven, terwijl onregelmatigheid juist genoemd wordt als wezenskenmerk van blobs. Internationaal wordt de term 'blob' ook niet gehanteerd, maar wordt van Free Form Architecture gesproken. De 'onregelmatigheid' is tegelijkertijd ook weer niet werkelijk onregelmatig en de 'vrije vorm' is niet werkelijk vrij. Er ligt wel degelijk een mathematische regelmaat aan ten grondslag, zij het dat die complexer is dan we gewend zijn: hij beperkt zich niet tot rechte lijnen, cartesische geometrie, assen en coördinaten, maar neemt de curve als uitgangspunt. Het resultaat is een schijnbare vrijheid en schijnbare onregelmatigheid, die zich bij nadere beschouwing niettemin wel degelijk door curves laat definiëren en beschrijven.

Ook zien we in blobarchitectuur volop biomorfologische, organische inspiratiebronnen en verwijzingen. Anders dan bij 'verre' voorlopers zoals Rococo, Jugendstil en Art Nouveau, wordt de natuurlijke vorm echter niet decoratief, maar modern, dus zuiver ruimtelijk en structureel ingezet. Te beginnen met de visioenen van Kiesler en Archigram (jaren '50-'60), en daarna te zien in de blobs en vrije vormen die de laatste decennia zijn gerealiseerd.

In de hedendaagse Free Form Architecture zijn verschillende richtingen en 'scholen' aan te wijzen. Zo vertaalt Kas Oosterhuis zijn computermodellen naar parametrische vakwerken die worden opgedeeld in fabrieksmatig produceerbare elementen. Anderen realiseren op locatie monoliete oppervlakken. Pronk beweegt zich in deze beide te onderscheiden velden, maar maakt wel steeds gebruik van de manipulatie van membranen en/of kabelnetten. Met de Blowing Structure Method maakt hij monoliete 'free forms' op locatie. Met de instelbare mal bereidt hij de weg voor prefabricage van dubbelgekromde elementen.

