

MAAKBAARHEID

Optimalisatie van textielgevormde constructies

DIEDERIK VEENENDAAL - BLOCK RESEARCH GROUP, ETH ZURICH, ZWITSERLAND

OPKOMST VAN COMPLEXE VORMEN

Nog voor het millennium opende het Guggenheim museum z'n deuren in Spanje. Ontworpen door Frank Gehry, zette het met zijn wilde, dubbelgekromde, haast onleesbare geometrie in één keer Bilbao op de kaart; het Bilbao-effect. Het was de voorbode van een inmiddels veel voorkomend thema in de architectuur en techniek; moderne software staat het ontwerp van complexe vormen toe, maar hoe realiseert men dergelijke vormen?

MAAKBAARHEID ALS UITGANGSPUNT?

In het eerste decennium van het nieuwe millennium nam het aantal in het oog springende, complex gevormde projecten toe, zoals ondermeer de Disney Concert Hall, Los Angeles, van Frank Gehry, en het Heydar Aliyev Center, Baku, Azerbeidjan, van Zaha Hadid. De uitdagingen in maakbaarheid die dergelijke projecten met zich meebrengen, hebben geleid tot een explosie van vernuft. Digitale middelen om geometrie te rationaliseren en computergestuurde fabricageprocessen aan te drijven behoren in de hogere regionen van de architectuur en techniek tot de orde van de dag. Echter, ze zijn een gevolg van vormgeving als harde vereiste. Fabricage vormt een



1. Exterieur van NEST HiLo met kabelnetgevormd schaaldak, Dübendorf, Zwitserland. Bron: Doug & Wolf.

2. Guggenheim Museum door Frank Gehry, Bilbao, Spanje. Foto: Tony Hisgett.

technisch probleem dat opgelost moet worden; een randvoorwaarde die pas later wordt geïntroduceerd, in plaats van maakbaarheid als uitgangspunt in het ontwerp. De onderliggende constructies die deze sculpturen in de lucht houden, zijn eveneens onderhevig geweest aan de nodige kritiek; achter de façades schuilen grote hoeveelheden materiaal, een schril contrast met de beoogde elegantie van het ontwerp.

ELEGANTE CONSTRUCTIEVE VORMEN

De vraag is eigenlijk niet hoe zulke vormen te realiseren, maar wat voor vormen, constructieve vormen welteverstaan, elegant verwezenlijkt kunnen worden. Kijken we verder terug in het verleden, voorbij het tijdperk van de computer, dan stuiten we op grootmeesters in vorm, constructie en maakbaarheid. Zij waren reeds in staat om op harmonieuze wijze deze drie aspecten te combineren in hun ontwerpen. Zo maakte Pier Luigi Nervi gebruik van krachtenpaden (lijnen waarin hoofdspansingen naar de opleggingen als het ware toestromen) om ribpatronen in zijn vloer-, gewelf- en schaalconstructies te bepalen. Robert Maillart paste grafostatica toe om zijn bruggen en liggers efficiënt te houden. Grafostatica – een verloren kunst in Nederland – is een manier om grafisch het statisch evenwicht van een constructie te bepalen, en kan zowel in ontwerp als analyse gebruikt worden. Antoni Gaudi en Heinz Isler gebruikten hangmodellen voor hun ontwerpen, die onder eigen gewicht tot hun vorm kwamen. Zodoende zouden deze modellen omgekeerd puur onder druk, in evenwicht, en zonder buiging werken; een praktijk die ook wel 'form-finding' wordt genoemd.



5. Funicular floor system, 1:1 prototype voor NEST HiLo. Foto: Block Research Group, ETH Zurich.

MATERIAAL ALLEEN DAAR WAAR NODIG

Deze drie methoden, krachtenpaden, grafostatica en form-finding, komen samen in een nieuw betonnen vloersysteem, voorgesteld en ontwikkeld door de Block Research Group aan de technische universiteit ETH Zurich in Zwitserland. In een geautomatiseerd ontwerpproces worden het ribpatroon, het gewelf en tot slot de dikten bepaald. Het resultaat is een, in principe, ongewapende vloer met externe trekstangen. Voor een eerste prototype is een staalvezelversterkt, zelfverdichtend beton gebruikt, waarbij de vezels bedoeld zijn om scheurvorming te beperken en belastingen gedurende transport te ondervangen. Het systeem bespaart 70% gewicht in beton ten opzichte van conventionele betonnen vloerplaten, en kent dikten van 2 cm voor zowel gewelf als ribben. Het gewelf heeft de ideale vorm om het eigen gewicht te dragen, terwijl de ribben asymmetrische, veranderlijke belastingen voor hun rekening nemen.

3. Deitingen Süd Raststätte door Heinz Isler, 1968, Zwitserland.

Foto: Chriusha.

4. Crypte van de Colònia Güell door Antoni Gaudi, 1917, Spanje.

Foto: Ferran Pestaña.

6. Magazzini Generali door Robert Maillart, 1925, Zwitserland.

Foto: Chriusha.





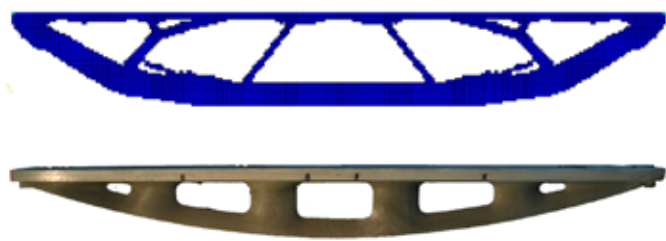
7. Qatar Convention Center van Arata Isozaki, 2011, Qatar.
Foto: UNCTAD.

Dit vloersysteem, het zogenaamde ‘funicular floor system’, wordt volgend jaar toegepast in het experimentele gebouw NEST HiLo in Dübendorf, Zwitserland.

EVOLUTIONARY STRUCTURAL OPTIMIZATION
Inmiddels zijn middelen om constructies te optimaliseren zeer toegankelijk geworden. Moest men voorheen zelf iets programmeren, tegenwoordig zijn plug-ins hiervoor eenvoudig te downloaden. Een voorbeeld is evolutionary structural optimization, ESO. Dit algoritme plaatst materiaal daar waar het constructief het meest nodig is, en verwijdt het daar waar het onbenut blijft.

Het Qatar Convention Center uit 2011 van Arata Isozaki is een voorbeeld hiervan. Echter, optimaal oogt dit voorbeeld niet. Waarom ondersteunen slechts twee opleggingen het dak, terwijl de façade eronder over de gehele breedte wél kan worden ondersteund? Dient dit dak enkel als een luifel? Een duik in de literatuur (Cui et al., 2003) geeft het antwoord: de vorm was ooit geoptimaliseerd als vrije perronoverkapping zonder façade, met een perron waar beperkt opgelegd mocht worden om vrije ruimte te creëren. En het dak was bedoeld als

9. Geoptimaliseerde ligger door middel van ESO (a), een textielgevormd betonnen vakwerk van prof. Mark West (b), en een evolutionair bepaalde, textielgevormde ligger (c en d).

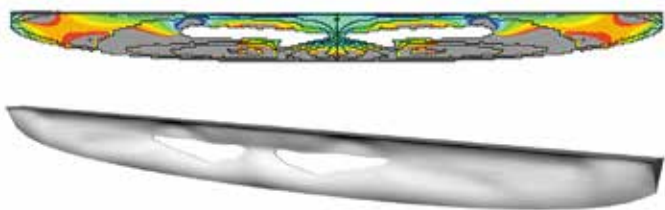


8. P_Wall (door Andrew Kudless) door textielmallen gevuld met gips in plaats van beton, 2009, Verenigde Staten.
Foto: Anna Conti.

landingsbaan voor kleine vliegtuigen. Zonder de juiste randvoorwaarden, belastingen en rekenschap met de bouwmethoden, is optimalisatie een zwarte doos zonder betekenis: afval in, afval uit. Het resultaat heeft niets meer te maken met constructieve efficiëntie noch met maakbaarheid.

* Cui et al., Computational Morphogenesis of 3D Structures by Extended ESO Method, 2003.

GENETISCHE ALGORITMEN
Terwijl het gebruik van ESO in de praktijk nog exotisch is, is de toepassing van genetische algoritmes al enorm toegenomen. Ook hier is het eenvoudig geworden om software te vinden. Het principe volgt dat van de biologische evolutie; een generatie van mogelijkheden wordt getoetst, en de eigenschappen van de beste oplossingen worden gekruist en gemuteerd om tot een nieuwe generatie te komen. Hiermee kunnen zowel constructieve als bouwtechnische aspecten worden geëvalueerd, en zijn de schijnbaar onmaakbare resultaten van ESO wellicht te realiseren met behulp van textielmallen.



TEXTIELMALLEN

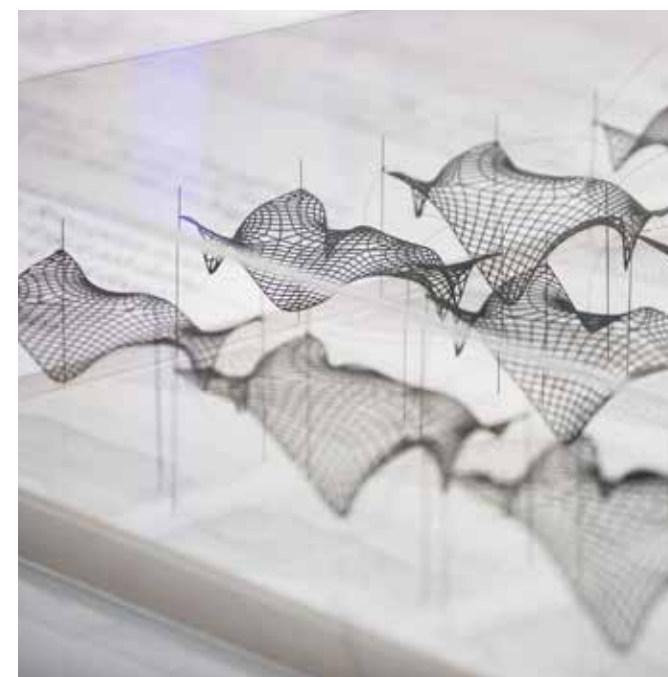
Textielmallen zijn een boeiende productiemethode, waarbij het intensieve gebruik van hout, staal, polystyreen of ander traditioneel bekistingsmateriaal vervangen wordt door middel van een eenvoudig textiel; een schril contrast met huidige hightech trends in 3D-printen en robotica. Het textiel is licht, goedkoop, eenvoudig te vervoeren en op te slaan, en in staat om de zeer hoge vloeistofdruk van het gestorte beton te weerstaan. Op de koop toe krijgt men unieke vormen, vaak gezien als organisch of zelfs sensueel. Het gebruik van textiel is onafhankelijk van het type beton of wapening. Voorbeelden bestaan van normaal textiel dat tot 10 m vloeistofdruk van het gestorte beton kan weerstaan. Textiel zonder coating leidt over het algemeen tot hogere kwaliteit van het oppervlak zonder luchtgaten, omdat overtollig lucht en water eenvoudig kan ontsnappen tijdens het uitharden.

FLEXIBEL GEVORMDE SCHAALDAKEN

De combinatie textielmallen en schaalconstructies vormt een bijzonder huwelijk. Door een textiel tot een dubbelgekromde vorm op te spannen, ontstaat de mal voor een lichte schil van beton die grote oppervlaktes kan overspannen en overdekken. Door in plaats hiervan een kabelnet te gebruiken en de voorspankrachten van

10. Evolutionair geoptimaliseerde vormen voor het dak van NEST HiLo. Foto: Jack Bakker.

11. Prototype kabelnetgevormde schaal voor NEST HiLo.
Foto: Block Research Group, ETH Zurich.



tevoren nauwkeurig te berekenen, kan dit concept worden opgeschaald tot zeer grote overspanningen. Naast de eerdergenoemde ‘funicular floor’, wordt er ook een flexibel gevormd schaaldak ontwikkeld voor het NEST HiLo project. Het dak is ontworpen met behulp van een multicriteria genetisch algoritme. Initiële studies onderzochten de invloed van het aantal en positie van opleggingen op de draagkracht, maakbaarheid, vrije ruimte onder het dak en potentieel oppervlak om zonne-energie op te wekken.

Op deze manier kon gehoor worden gegeven aan ruimtelijke, functionele, energetische en constructieve randvoorwaarden en een optimum hierin worden gevonden. Het resultaat is een dakconstructie van 150 m², overspanningen tot 9 m, maar slechts een gemiddelde betondikte van 8 cm, lokaal zelfs maar 3 cm. Het dak wordt gewapend met meerdere lagen gaas van staal en/of glas- of koolstofvezel. Het composiet heet dan ofwel ‘ferrocement’ ofwel ‘textile-reinforced concrete’. De thermische geleiding en flexibiliteit van de drie materialen zullen bepalend zijn voor welke uiteindelijke toegepast worden.

Het beton zelf is ook in ontwikkeling, maar bestaande prototypes zijn uitgevoerd in een vrij viskeuze, haast kleiachtige betonmix, om de steile krommingen van de enkelzijdige, flexibele mal te kunnen vervaardigen.



MAAKBAAR, DUURZAAM EN ELEGANT

Het moge duidelijk zijn: ontwikkelingen in digitale ontwerpmiddelen staan toe om extreem efficiënte constructies in beton te ontwerpen, die tegelijkertijd maakbaar, duurzaam en elegant zijn. Textielmallen zijn hierbij een eenvoudige, betaalbare en effectieve manier om dergelijke constructies te produceren. **Diederik Veenendaal**

ONTWERPTEAM NEST HILO

Block Research Group, ETH Zurich;
Architecture and Buildings Systems Group, ETH Zurich;
Supermanoeuvre, Sydney, Australië en
Zwarts & Jansma Architects, Amsterdam



12. Interieur van NEST HiLo met kabelnetgevormd schaaldak, Dübendorf, Zwitserland. Bron: Doug & Wolf.

13. Ontwerp voor kabelnetgevormde brug, ARC Wildlife Crossing door Zwarts & Jansma Architects.

