

Laatste deel van de serie over een nieuwe manier van produceren

# Rapid Manufacturing voor Rapid Development

In de vorige aflevering van deze serie maakten we kennis met begrippen als massa-individualisatie, Customised Manufacturing en Multi Material Manufacturing. We keken naar het grijze gebied tussen Rapid Prototyping en Rapid Manufacturing en zagen hoe het Europese Custom-Fit project een belangrijke rol speelt in het overbruggen van het gat tussen die twee technieken. Daarmee schetsen we de contouren van een heel nieuwe vorm van ontwikkelen en produceren, die haaks staat op de zo gewoon geworden massaproductie. Naast de technische horden die genomen moeten worden, spelen bij deze ontwikkeling nog tal van andere aspecten een rol. De impact is zo groot, dat het niet volstaat om slechts de techniek te ontwikkelen. De hele keten wordt anders en ook het ontwerpproces gaat op de schop. Over dit soort implicaties gaat dit derde en laatste deel, dat geschreven werd door Alfard Jansen van het Delftse ingenieursbureau BPO.

Ontwerpers zijn gewend te werken met de beperkingen van bestaande massaproductiemethoden. Gereedschappen en machines stellen eisen aan vorm en materiaal. Dit besef is ingebakken in het bewustzijn van constructeurs. Het leren kennen van beperkingen en ermee omgaan, vormt een belangrijk deel van de opleiding en ervaring. Voor ontwerpers van kunststof producten zijn

de beperkingen en mogelijkheden van het spuitgietproces zo vanzelfsprekend, dat ze intuïtief denken in lossingen, deelnaden en aansluitpunten. Het heeft immers geen zin om een product te verzinnen dat niet maakbaar is.

Rapid Manufacturing biedt interessante technische mogelijkheden. Het laagsgewijs printen van producten geeft vrijwel onbeperkte vormvrijheid. Er worden dingen mogelijk die voor gecultiveerde ontwerpers bijna letterlijk ondenkbaar zijn, omdat ze tot voor kort niet produceerbaar waren. Daarnaast moet ook op een heel andere manier over samenstellingen worden nagedacht, omdat de nieuwe technieken het vaak mogelijk maken producten in één keer — in geassembleerde toestand — te produceren.

De materialen voor Rapid Manufacturing zijn nog beperkt. Er komen er echter steeds

meer, en ze worden steeds beter. Theoretisch is er geen beperking, de kwaliteit en keuzevrijheid van materialen zal alleen maar verder toenemen. Bovendien wordt het in de toekomst mogelijk om materiaaleigenschappen binnen één product te variëren. We zagen dit in het vorige deel van deze serie al voorbij komen: Multi Material Manufacturing. Door het product punt voor punt op te bouwen, wordt een traploos verloop van flexibel naar stijf materiaal net zo vanzelfsprekend als het printen van een regenboog op een kleurenprinter.

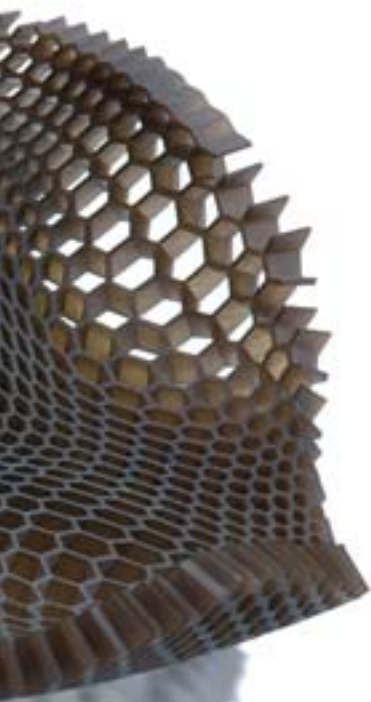
## Klantspecifiek produceren

De technische mogelijkheden zijn ongekend, maar zit de wereld ook op deze ontwikkeling te wachten? Misschien moeten we die vraag eens omdraaien. Welke consument heeft er ooit om massapro-

ductie gevraagd? De markt neigt naar diversificatie en individualisering. Klantspecifiek produceren met Rapid Manufacturing is veel ingrijpender dan het kiezen van je lievelingskleur. Het gehele ontwerp (vorm, materiaal, gedrag, afwerking) kan van de grond af worden toegespitst op één individuele gebruiker. Producten voor medische toepassing, zoals implantaten en prothesen worden sowieso klantspecifiek gemaakt.

De techniek en de ontwikkelingen in de markt wijzen erop dat in de toekomst de vraag naar betaalbare unieke persoonlijke producten zal toenemen. Maar hoe moeten





deze producten dan worden ontworpen? Naast de benodigde ommezwaai om te leren denken en werken met nieuwe technische vrijheden, dringen zich vragen op als:

Bij massaproductie wordt een ontwerp eenmalig doordacht en dan veelvuldig gekopieerd. Desnoods miljoenen keren. Wie moet straks al die miljoenen unieke persoonlijke producten gaan ontwerpen?

Als elk product uniek is, wie garandeert er dan dat producten voldoen aan de geldende normen en veiligheidseisen?

Massa-individualisatie vergt een ander soort productontwikkeling. Rapid Manufacturing vraagt om Rapid Development.

## Implicaties in software en hardware

Eén van de ontwikkelingen is dat het in de toekomst mogelijk wordt om met niet-homogene materialen te ontwerpen: **Multi Material Manufacturing**. Binnen één product kan elk punt unieke materiaaleigenschappen hebben.

Dit gegeven op zich roept vragen op. Het definiëren van de buitenkant van een product volstaat niet meer, ook de binnenkant moet punt voor punt beschreven worden. Hoe gaat een ontwerper een dergelijk CAD-systeem bedienen? Hoe wordt het in de computer opgeslagen en verwerkt?

Het lijkt redelijk om een product van  $100 \times 100 \times 100$  [mm] met een nauwkeurigheid van één honderdste te definiëren. Dit betekent dat het wordt opgebouwd uit  $10000 \times 10000 \times 10000$  'voxels' (3D-pixels). Om gradaties in kleur en materiaaleigenschappen vast te leggen zijn al gauw 24 bits per voxel nodig. Het CAD-model wordt dan 3 Terabyte (3000 Gigabyte) groot. Dit is niet te verwerken op de computers van nu en de nabije toekomst. Naast nieuwe ontwerpmethodes vraagt Rapid Manufacturing dus ook om nieuwe CAD-systemen en compressietechnieken.

### Europese samenwerking

Onder de naam 'Custom-Fit' werken 32 innovatieve Europese bedrijven en instanties samen om een doorbraak richting klantspecifieke productie te verwezenlijken. Het uitbouwen en verfijnen van Rapid Manufacturing is slechts één aspect. Om maten en vormen van individuele klanten te meten wordt geïnvesteerd in 3D-scanners. Daarnaast worden nieuwe ontwerpmethoden en systemen ontwikkeld om unieke persoonlijke producten snel, rendabel en betrouwbaar te ontwerpen.

Uiteindelijk moet het mogelijk zijn om consumenten een persoonlijke, bijna ambachtelijke service te bieden. Hoever staat dit af van de werkelijkheid? Met 3D-scanners en Rapid Manufacturing machines worden de ogen en handen van de ambachtsman geautomatiseerd.

Om een product te maken zijn ook hersenen nodig: een systeem dat willekeurige informatie omzet in een concreet ontwerp voor een uniek product.

Hiervoor zijn verschillende technieken in potentie aanwezig. Doordat in de huidige praktijk investeringen en ontwikkeltijd onder steeds hogere druk staan, bestaan er al zeer geavanceerde middelen

zoals CAD en CAE (Computer Aided Design en -Engineering), om productontwikkeling te ondersteunen en versnellen.

### Automatisch ontwerpen

Als er voor iedere klant een uniek ontwerp moet komen is investeren uitgesloten, want er kan niet worden afgeschreven over een serie. Is het mogelijk een systeem te creëren dat automatisch productontwerpen genereert?

De meeste hedendaagse producten zijn ontworpen met behulp van parametrische CAD-programma's (bijvoorbeeld Pro/Engineer, Catia of SolidWORKS). Dankzij deze software is het mogelijk om ontwerpen snel aan te passen. Kenmerkend is dat niet slechts een bepaalde geometrie gedefinieerd wordt, maar dat ook onderlinge verbanden worden vastgelegd. Door hoofdmaten te wijzigen past de rest van het ontwerp zich automatisch aan. Als de ontwerper voorschrijft dat een as met een bepaalde speelruimte in een gat past, volgt na het wijzigen van de as, vanzelf de diameter van het gat.

Op een vergelijkbare manier is het mogelijk om

vanuit één basisontwerp productfamilies te genereren. Bij een serie kratten kunnen bijvoorbeeld lengte, breedte en hoogte vanuit een tabel worden gestuurd. Eén CAD-model is de basis voor een veelvoud aan producten.

Het is ook mogelijk om in de computer een basisvorm 'aan te kleden' met aanvullende informatie. Om een gedetailleerd reliëf in een dubbelgekromd object te modelleren volstaat het om de plattegrond van het reliëf om het CAD-model van het object heen te wikkelen. Deze techniek is bruikbaar om een universeel ontwerp van bijvoorbeeld een handgreep aan te passen aan een specifieke handafdruk.



Een basisvorm aangekleed met een gedetailleerd reliëf.

Vorenstaande technieken genereren min of meer automatisch 3D CAD-informatie, maar denken er niet over na. Om te spreken van een ontwerp moet de combinatie van materialen en vormen aan bepaalde eisen voldoen. Er mogen straks alleen producten uit de machine komen die werken, er is geen tijd of geld voor fysieke testen.

De behoefte aan 'First time right' is niet nieuw. Al vanaf de 17<sup>e</sup> eeuw wordt steeds serieuzer gerekend door ontwerpers en constructeurs. Ook bij het ontwikkelen van spuitgietproducten wil men graag vóórdat de frees in het (matrijs)staal gaat, absolute zekerheid over de kwaliteit. Met krachtige computers en algoritmes zoals de Eindige Elementen Methode zijn bijzonder nauwkeurige berekeningen mogelijk. Het fysiek testen van een product is dan geen sprong in het duister, maar een geldige verificatie van de berekeningen en simulaties.

Het virtueel testen van producten is overigens geen utopie, maar dagelijkse praktijk. Het ingenieursbureau BPO in Delft heeft uitgebreide ervaring met het ontwikkelen van innovatieve producten. Het maakt daarbij intensief gebruik van gedetailleerde computersimulaties (FEM-analyses). Het werk van BPO

bewijst dat producten al tijdens het ontwerpproces uitgebreid getest kunnen worden. Vakkundig gebruik van analysesoftware geeft zekerheid of een product voldoet en geeft inzicht hoe het verbeterd kan worden.

Ook bij virtueel testen is het nodig dat een vakman de resultaten beoordeelt en concludeert welke ontwerpwijzigingen nodig zijn. Een geautomatiseerd ontwerpsysteem moet in staat zijn om zelfstandig ontwerpen te toetsen, beslissingen te nemen en aanpassingen door te voeren.

Het lijkt onmogelijk om vanuit het niets een ontwerp te laten ontstaan dat precies aan bepaalde eisen voldoet. Toch gebeurt dit dagelijks in de natuur. De botten in ons lichaam zijn niet sterker dan nodig. Als ze minder belast worden, past het lichaam zich aan.

Astronauten die na enkele maanden terugkeren op aarde moeten revalideren totdat hun skelet weer opgewassen is tegen de zwaartekracht. Iets vergelijkbaars zien we bij het groeien van bomen en planten.

De mogelijke analogie van deze natuurlijke processen met ontwerptimalisatie werd in 1988 beschreven door Bendsoe en Kikuchi ('Generating optimal topologies in structural de-

sign using a homogenization method'). Sindsdien zijn er vele algoritmes ontwikkeld die binnen een bepaalde ontwerp-ruimte automatisch de optimale vorm genereren om aan gestelde eisen te voldoen.

Voorbeelden tonen aan dat de techniek werkt, maar begaafde ingenieurs lossen dergelijke problemen sneller en elegantier op. De kracht van deze technieken bewijst zich wanneer de vraagstukken complex zijn. Dit is vooral het geval wanneer meerdere eisen simultaan geoptimaliseerd moeten worden, bijvoorbeeld zowel statische als dynamische belastingen, gecombineerd met een eigen frequentie. De brute rekenkracht van de computer wint het dan van intuïtie en inzicht. Dat geldt natuurlijk ook als er aan de lopende band unieke ontwerpen gegenereerd moeten worden.

### Het einde van de ingenieur?

Ontwerpers en constructeurs kunnen met beperkte mogelijkheden oplossingen vinden voor bepaalde technische problemen. Als Rapid Manufacturing onbeperkte mogelijkheden biedt en als Rapid Development-systemen automatisch oplossingen genereren, waarvoor hebben we dan nog ingenieurs nodig?



Een geautomatiseerd ontwerpsysteem is geen uitvinder. Rapid Manufacturing kan de rol van de ontwerper veranderen, maar niet overnemen. Het systeem heeft geen intuïtie of creativiteit. Het zal ook niet spontaan behoeftes in de markt zien.

Er zijn vakmensen nodig die de problemen van consumenten herkennen en begrijpen; vakmensen die prioriteiten kunnen stellen en die kennis kunnen omzetten naar input voor het ontwerpsysteem. Ontwerpen beperkt zich dan niet meer tot het eenmalig vinden van een specifieke oplossing die talloze malen gekopieerd wordt. Ontwerpers moeten een universele oplossing definiëren, die zich automatisch aanpast aan specifieke situaties.

Om van enkelstuks te komen tot massaproductie hebben ambachtslieden zich ontpopt tot industrieel ontwerpers. Als straks niet alleen producten, maar ook de ontwerpen op industriële schaal vervaardigd worden, vergt dit een net zo ingrijpende omslag. Rapid Manufacturing maakt productontwikkeling niet eenvoudiger. Het stelt ontwerpers voor grotere uitdagingen.

De industriële revolutie bracht de dictatuur van de fabrikant ('we verkopen elke

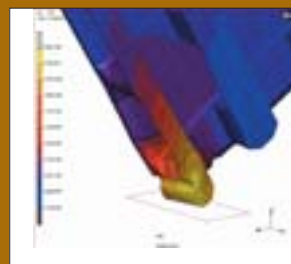
## Case: de virtuele valproef

Voor het Duitse SULO ontwikkelde BPO een Kunststof (HDPE) Pallet. Naast diverse belastingseisen, schrijft de norm een valproef voor van vier meter hoogte, bij -30°C en ligt het gewicht vast op precies 18 kg. Het product is door BPO ontworpen met behulp van geavanceerde simulaties, waarbij ook de spuitgietbaarheid werd geoptimaliseerd.

BPO heeft dit voor talloze producten gedaan. Goed uitgevoerde FEM-analyses zijn een zeer betrouwbare simulatie van laboratoriumtests. De daadwerkelijke test is in een toenemend aantal gevallen alleen nog een formaliteit om certificering te verkrijgen.

Zowel normeringsinstituten als de publieke opinie verlangen een fysieke test. Begrijpelijk: niemand vindt het een prettig idee om in een auto te rijden die 'virtueel veilig' is.

Toch is het de vraag hoe problematisch dit is. Simulaties worden steeds nauwkeuriger, en laboratoriumtesten hebben beperkingen.



Nieuwe technieken als stereolithografie leiden tot nieuwe producten (Foto: Materialise).



kleur, als het maar zwart is'). Rapid Manufacturing kan leiden tot democratisering van productontwikkeling. Iedereen kan elk ontwerp overal uitprinten. Analoog aan wat er vandaag de dag met muziek, films en software gebeurt, kan dit leiden tot een circuit van illegale downloads, bèta releases en open source-producten.

#### De waarde van normen

Hoe garandeer je de kwaliteit en veiligheid van een uniek product? Bij massaproductie is het gebruikelijk om enkele exemplaren te testen en daarop uitspraken te baseren, die voor alle producten uit de serie gelden. Deze testen zijn duur, tijdrovend en in het testproces worden meerdere producten 'geofferd'.

Als elk product uniek is, dan is een uitgebreid testprogramma voor elk exemplaar

omwille van kosten en doorlooptijd ondenkbaar. Er moet een weg gevonden worden om gelijkwaardige zekerheid te bieden, zonder producten destructief te testen. Zou het mogelijk zijn om vóórat er een fysiek product is, de certificatie met computersimulaties uit te voeren?

#### Elke norm is arbitrair

Bij een fysieke test wordt een product onder geconditioneerde omstandigheden aan exact voorgeschreven belastingen blootgesteld. Het doorkomen van de tests biedt op zich geen garantie dat het product in elke toekomstige praktijk situatie veilig is. De in de norm beschreven test is een onderlinge afspraak van marktpartijen, waardoor alle producten naar dezelfde maatstaven beoordeeld en vergeleken worden. Vergelijkbare spelregels zijn denkbaar voor virtuele testen.

Onder gelijke condities is het gedrag van verschillende producten exact te testen en eerlijk te vergelijken. Dat zegt veel over het product, maar niet over de gevolgen voor iedere specifieke klant. Auto's worden bestuurd door echte

mensen, niet door gestandaardiseerde poppen. Wat is een EuroNCAP score van vijf sterren waard voor iemand van 2.17 m of 1.48 m? Virtueel testen biedt hier een uitkomst.

Zo bestaat voor ondergrondse afvalwatertanks een tweeledige norm. Het is mogelijk een tank te laten certificeren op basis van laboratoriumtests òf op basis van FEM-berekeningen. De norminstantie KIWA heeft vertrouwen in het principe van 'virtueel testen'. De FEM-berekening zelf wordt dan eveneens onderworpen aan een norm: de gebruikte rekenmethode dient in detail te worden gedocumenteerd. Aangezien met FEM-berekeningen de tijd die gemoeid is met certificering drastisch wordt ingekort, is certificering op basis van FEM een aantrekkelijk alternatief.

Normen gaan uit van gestandaardiseerde 'worst case' scenario's. In de praktijk houdt dit in dat veel producten overgedimensioneerd zijn. Door met computersimulaties te optimaliseren en certificeren voor de specifieke eigenschappen en wensen van

een klant, kan efficiënter geproduceerd worden en nemen veiligheid en zekerheid voor individuele gebruikers toe.

#### Tot besluit

Hiermee zijn we aan het eind van deze serie gekomen. Er is een ontwikkeling in gang gezet die volgens velen opnieuw tot een grote technologische sprong vooruit zal leiden. Het is niet alleen maar toekomstmuziek en theorie. Het Belgische Materialise en TNO maken zelfs al Rapid Manufacturing-producten, hoewel die nog wel met Rapid Prototyping-processen tot stand zijn gekomen. Bij TNO wordt hard — en met resultaat — gewerkt aan de ontwikkeling van productiemiddelen voor deze technieken. Innovatieve bedrijven zoals ingenieursbureau BPO leveren een onmisbare bijdrage aan de vele andere aspecten die bij de geboorte van deze technologie een rol spelen. Het Custom-Fit project laat zien dat we in Europa kunnen samenwerken om kansen te grijpen die voor anderen buiten bereik liggen. En daar mogen we best een beetje trots op zijn. ■

### Case: rekenen aan een golfbal

In samenwerking met BPO is een lichtgevende golfbal ontwikkeld. De gepatenteerde lichtgevende kern wordt geactiveerd door de versnellingskrachten bij het wegslaan. Bij gewoon vallen of transport, mag de bal niet worden geactiveerd. Om de juiste samenstelling van de kern vast te stellen, zijn door uitgebreide eindige elementen simulaties, nauwkeurig de versnellingen en vervormingen van de golfbal bij het wegslaan berekend.



Deze serie kwam tot stand dankzij de enthousiaste medewerking van Bart van der Schueren en Griet van Wesemael van Rapid Prototyping-specialist Materialise (Leuven, België), Anton Gerrits en Johan de Kievit (beiden TNO Industrie & Techniek) en Alfard Jansen, projectmanager bij het Delftse ingenieursbureau BPO.