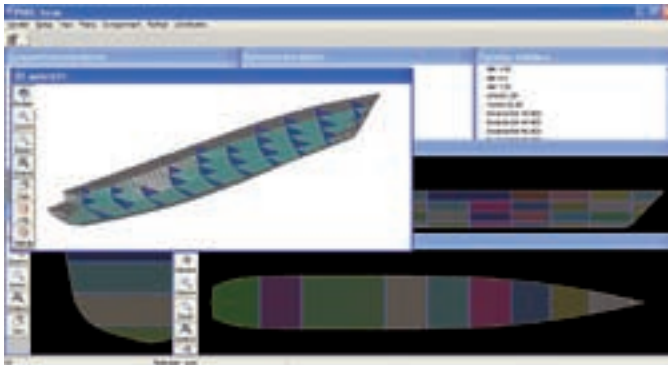


# 3D-printen van scheepsmodellen (2)

**Al eerder dan men tekeningen van schepen maakte werden er schaalmodellen vervaardigd, met als doel in het klein af te beelden hoe het schip er in het groot uit zou gaan zien. Als ontwerphulpmiddel dus. En zelfs nu computermodellen tekeningen hebben vervangen is de behoefte aan tastbare modellen nog niet verdwenen. Niet alleen om metingen aan te doen, zoals bij sleeptankmodellen, maar ook om de mens een getrouw beeld van het uiteindelijke product te kunnen geven. De modellfabricagetechniek heeft de laatste jaren nogal wat veranderingen ondergaan en dit artikel geeft een indruk van de mogelijkheden en knelpunten.**

## Tweede deel

Dit artikel is opgesplitst in twee delen. Dit is het tweede deel. Het eerste deel is verschenen in het juninummer van SWZ Maritime.

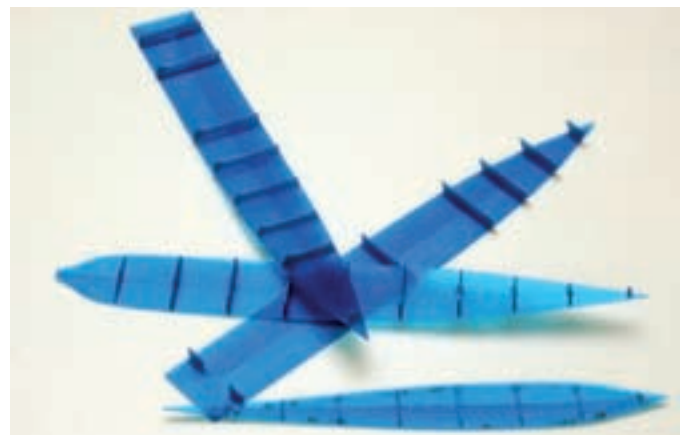


Figuur 6. PIAS-representatie van een simpel indelingsmodel van een schip

Ons laatste exemplaar betreft niet de buitenkant van het schip, maar de binnenkant: de schotten en dekken. We hebben een simpel voorbeeld genomen met dekken en dwarsschotten, waarvan het computermodel weergegeven is in figuur 6. Het moge duidelijk zijn dat het niet mogelijk is dit model zonder speciale voorzieningen in één stuk te printen. Met de 3D-printingstechniek zijn er twee opties: het ding kan als één geheel worden gemaakt, maar dan met kunstmatige ondersteuning van de loshangende dekken, of het wordt in losse, later op elkaar te plakken delen geprint. Omdat de printsoftware de benodigde ondersteuning ten behoeve van de eerste optie op commando kan genereren werkt dat het snelst. Althans wat het printen betreft, maar daarna moet die ondersteuningsstructuur met een aardappelschilmesje nog voorzichtig worden weggekrabt, zodat het eindresultaat niet echt strak is.

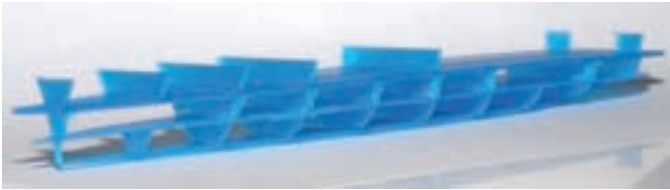
Het alternatief, segmentering, vereist in de eerste plaats een opdelingsmethode die een beetje efficiënt werkt, die bijvoorbeeld een minimaal aantal te printen objecten gebruikt, waarbij die objecten

ook nog eens grote onderlinge contactoppervlakken hebben zodat ze stevig aan elkaar kunnen worden gelijmd. PIAS-Newlay beschikt over een experimentele vorm van zo'n algoritme en daarmee is dit scheepsindelingsmodel geprint in de vier delen die getoond zijn in figuur 7. Het samengevoegde resultaat is in figuur 8 weergegeven. De conclusie van deze exercities is dat het heel goed mogelijk is om met de Ultimaker in korte tijd schaalmodellen te maken van scheepsromp en -indeling, maar dat deze techniek ook z'n grenzen kent. Vooral het feit dat het artefact óf een goed basisvlak moet kennen, óf voorzien moet worden van een kunstmatige ondersteuningsconstructie die toch z'n sporen nalaat, maakt deze techniek niet klakkeloos toepasbaar. Daar staat tegenover dat er geen speciale deskundigheid is vereist om het apparaat te bedienen, dat er geen stof- of stankoverlast is, dat de objecten *on demand* geprint kunnen worden omdat het apparaat gewoon op je bureau staat en dat de kosten laag zijn. Hoewel, laag? Dat hangt er wel even vanaf hoe je ernaar kijkt. De aanschafprijs bedraagt zo'n € 1500 en de materiaalkosten per print zijn met een paar dubbeltjes te verwaarlozen. Maar voor sommigen is tijd ook geld en als elke gependende minuut naar ingenieurstarief doorberekend moet worden dan komen



Figuur 7. Indelingsmodel van figuur 6 geprint met de Ultimaker, in vier delen

Herbert Koelman is scheepsbouwkundige en werkzaam bij softwarehuis en ingenieursbureau SARC te Bussum. Hans van Toor is mede-eigenaar van 3Delft te Delft.



Figuur 8. De delen van figuur 7 verlijmd

de kosten per print toch op € 50 tot 200 uit. Eén van de oorzaken hiervoor is dat het printen weleens faalt, bijvoorbeeld doordat de eerste laag niet goed op het platform plakt, of door een stokkende materiaalaanvoer. Maar op termijn zullen deze mankementen wel worden verholpen. Zo is van het aanvoermechaniek recent een verbeterde versie ontworpen en gepubliceerd op internet. Maar wellicht belangrijker dan de techniek en de economie is de vraag wat dit soort modelletjes eigenlijk voor nut zouden hebben. Dat is grotendeels een subjectieve waardering, maar SARC heeft inmiddels wel de impressie dat deze modellen de belanghebbenden bij de technische uitvoering van het scheepsontwerp helpen bij het vormen van een adequaat beeld van het uiteindelijke product. En dan niet alleen voor leken. De ervaring heeft geleerd dat zelfs voor lieden met een achtergrond in tekeninglezen zo'n modelletje toch weer een ander, waarschijnlijk werkelijkheidsgetrouwer, beeld geeft van het scheepsontwerp. Daarnaast kan het model een rol spelen in de communicatie in de ontwerpfase. Zo overkwam het ons laatst dat een opdrachtgever met stift op het modelletje ging aangeven welke gebieden hij op een bepaalde manier gewijzigd wilde hebben.

### Zelf doen of uitbesteden?

De wereld van 3D-printen heeft in recente jaren een sprong vooruit gemaakt. Dit komt onder andere door het *open source*-karakter van printers zoals de Ultimaker, gericht op *Do It Yourself* (DIY). Dit soort printers kent echter zijn beperkingen in bouwvolume, materiaaleigenschappen en nauwkeurigheid. Een model wordt vaak opgebouwd uit meerdere onderdelen en de pasvorm bij DIY-printers kan dan bijvoorbeeld een probleem zijn. 3D-printers gericht op professioneel gebruik kunnen weliswaar niet vanaf het bureau worden gebruikt, maar bieden wel degelijk voordelen. Er zijn verscheidene printers beschikbaar met elk afzonderlijke voordelen. Zo is er een printer met een bouwvolume van 2100 x 700 x 800 mm die in hoogwaardige titaniumlegering print en één die tot ongeveer 1 µm nauwkeurig print. Voor de incidentele gebruiker zal het niet lonend zijn zulke machines aan te schaffen, om nog maar te zwijgen van de kosten die gepaard gaan met het verwerven van de benodigde expertise. Zodoende kan het een overweging zijn het modelmaken uit te besteden. Er zijn bedrijven waar men een bestand met STL-inhoud naar toe kan sturen, waarna het model per kerende post volgt (bijvoorbeeld [www.shapeways.com](http://www.shapeways.com)).

Een andere mogelijkheid is gebruik te maken van full-servicebedrijven, zoals de Delftse start-up 3Delft ([www.3delft.nl](http://www.3delft.nl)) die gespecialiseerd is in het vervaardigen van complete modellen en waar men specifieke expertise heeft over de diverse technieken die voor de verschillende onderdelen kunnen worden gebruikt. Het model hoeft zich daarbij niet te beperken tot een statisch zichtmodel, maar dynamiek en functionaliteit kunnen ook worden toegevoegd; bewegende delen dus, die een goede ondersteuning kunnen bieden bij het tonen van alle aspecten van een ontwerp.



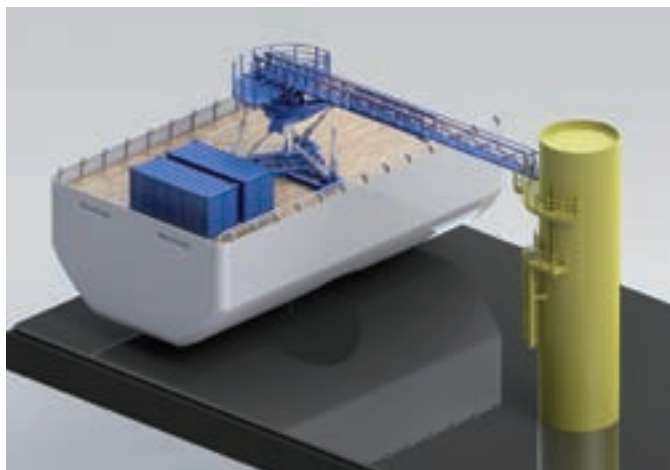
Figuur 9. De sloep geproduceerd met Selective Laser Sintering (SLS)

## Professioneel schaalmodel van een sloep met SLS

Tijd om de proef weer eens op som te nemen. Als eerste voorbeeld is er door 3Delft een tweede schaalmodel gemaakt van de sloep uit figuur 4. Deze keer is er echter gekozen voor de *Selective Laser Sintering* (SLS-) techniek, die inherente ondersteuning biedt zodat er helemaal geen basisvlak nodig is en de sloep in zijn geheel kan worden geprint. Toch wordt de sloep in twee delen geprint. Dit is gedaan om de goede pasvorm zichtbaar te maken en de delen los van elkaar te kunnen verven. Zo is tevens goed te zien dat het model is uitgehoud. Bij 3D-printen geldt dat, afgezien van de eenmalige modellerekosten, de kosten recht evenredig zijn met het materiaalvolume. Daarnaast is het SLS-materiaal flexibel, waardoor de onderdelen met klikverbindingen te bevestigen zijn (waar dan weer tegenover staat dat in vergelijking met stereolithografie (SLA) de oppervlaktekwaliteit en nauwkeurigheid minder zijn; zo heeft elke techniek zijn merites). Maar niet altijd is 3D-printen de beste oplossing; voor het voetstuk is gebruikgemaakt van lasersnijden. Deze techniek kan nauwkeurig 2D patronen uitsnijden en graveren. Figuur 9 toont het resulterende model, wat een lengte van ongeveer 150 mm heeft en wat € 250 heeft gekost.

## Dynamisch model van de Ampelmann

Als tweede voorbeeld om de mogelijkheden van 3D-printen kenbaar te maken wordt gekeken naar een complexer model. Hier is een dynamisch model gemaakt van de Ampelmann ([www.ampelmann.nl](http://www.ampelmann.nl)). Figuur 10 toont het computermodel. Het model dient zowel een promotionele als educatieve functie. Door stabilisatoren en sensoren wordt de Ampelmann volledig stabiel gehouden ten opzichte van de deinende zee. Om deze functionaliteit zichtbaar te maken was dynamiek vereist. Het schaalmodel van figuur 11 toont een schip met het Ampelmann-platform naast een offshore-installatie. In dit voorbeeld is goed te zien waar 3D-printen zijn beperkingen kent. Het Ampelmann-platform is erg geschikt om 3D te printen; het is een complexe vorm met veel detail in een relatief klein volume. Hier is gebruikgemaakt van SLA vanwege de goede nauwkeurigheid, zowel qua resolutie als deformaties. Het schip is echter gemaakt door middel van frezen, simpelweg omdat 3D-printen (vanwege het volume en de vorm) duurder zou zijn.



Figuur 10. Computermodel van de Ampelmann



Figuur 11. Dynamisch schaalmodel van de Ampelmann

## Hoge aanschafkosten

Professionele 3D-printers bieden voordelen ten opzichte van DIY-printers. Er is echter een groot verschil in kosten. Een SLA-printer bijvoorbeeld, met een platform van 298 x 185 x 203 mm en een tolerantie van 0,025 mm kost zo'n € 52.000 en de aanschafprijs stijgt exponentieel met het bouwvolume. Een oven voor het verwijderen van ondersteuningsmateriaal kost nog eens € 14.000. De kostprijs per cm<sup>3</sup> is ongeveer € 0,25. Wanneer modelmaken niet tot de dagelijkse bezigheid behoort, maar professionele 3D-modellen toch gewenst zijn, dan kan uitbesteding dus een uitkomst zijn.

## Conclusie en toekomstbeeld

In dit artikel hebben wij u een idee willen geven van de achtergronden en mogelijkheden van geautomatiseerd modelmaken, toegespitst op maritieme toepassing. Samenvattend is deze techniek beschikbaar op twee manieren: zelf doen of uitbesteden. Technische ontwikkelingen hebben het zelf 3D-printen van scheepsmodellen binnen handbereik gebracht; hier en daar moet men daar nog een beetje hobby in hebben, maar technische onvolkomenheden zullen gaandeweg heus wel worden opgelost. Ga eens terug naar de jaren zeventig/tachtig, wat een gezeur was dat met koppen van matrix-printers die bleven haken achter het vel papier zodat dat met een door merg en been gaand geknorp doormidden scheurde. Of de pennen van penplotters die net leeg waren op het moment dat de tekening voor 98 procent gereed was, of die tachtig keer hetzelfde grootspant tekenden tot het papier zo soppig was geworden van de inkt dat het compleet desintegreerde. Dat is allemaal opgelost en dat zal met de nukken van het 3D-printen ook wel gebeuren. Een tweede manier waarop deze techniek beschikbaar is, is via uitbesteding. Daarmee wordt voorkomen dat men zich toelegt op één specifieke fabricagetechniek die morgen misschien alweer verbeterd is en men hoeft geen investering te plegen in het opdoen van de kennis en ervaring die vereist is om het geprinte model overeen te laten komen met het CAD-model.

Dan is er nog de vraag of deze *technology-pushed*-ontwikkeling wel voorziet in een behoefte. Onze inschatting is van wel. In de eerste

plaats omdat het al eeuwen gebruikelijk is dat van een groot artefact een modelletje wordt gemaakt om het in een vroeg ontwerpstadium te kunnen beoordelen. En als daar nu een goedkoper aanbod van beschikbaar is, dan zal de vraag daarnaar verder groeien. Dat ging met al dit soort dingen zo, van pc's tot mobiele telefoons, van faxen tot iPads. En die vraag zal alleen maar worden aangewakkerd door de verdere technologische ontwikkelingen, waarbij de volgende trends kunnen worden waargenomen:

- *Rapid prototyping to rapid manufacturing*, van prototype naar machine dus. Bijvoorbeeld het 3D-printen van functionele turbinebladen voor een werkend gasturbinemodel. Het is speculatief, maar zo kan het schip van de toekomst wellicht zonder reserveonderdelen, een 3D-printer volstaat. Voor uitdieping van dit fascinerende aspect wordt verder verwezen naar een recent *special report* getiteld 'The third industrial revolution' uit The Economist van 21 april 2012 ([www.economist.com/node/21552901](http://www.economist.com/node/21552901)).
- Meerdere printtechnieken in één machine, zodat er objecten van meerdere materialen vervaardigd kunnen worden. Bijvoorbeeld het integreren van elektronica in een fysiek model, waardoor het

actief monitoren van een onderdeel op haarscheurtjes of delaminatie mogelijk is.

- De structurele eigenschappen van materialen worden verbeterd.
- Het fileformaat, wat nu nog STL is, zal worden uitgebreid met onder andere materiaalkeuze en kleur en worden vastgelegd in een ISO-standaard.

En ten slotte mag men rekenen op incrementele verbeteringen op gebieden van snelheid, bouwvolume, kosten en nauwkeurigheid. Maar dat is niet bijzonder voor een *emerging technology*.

### Extra's op SWZonline

[www.swzonline.nl](http://www.swzonline.nl) bevat aanvullend beeldmateriaal, onder andere een filmpje van de Ultimaker in actie, een filmpje van het schaalmodel van de Ampelmann en meer foto's van geprinte voorbeelden, waarvoor op deze pagina's geen ruimte meer was. Tevens zijn daar links te vinden naar wetenswaardige webpagina's.