

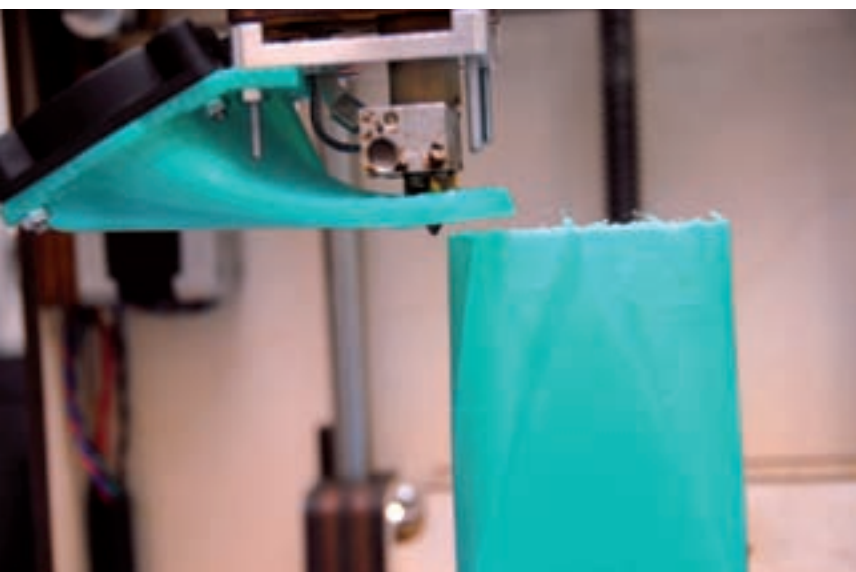
3D-printen van scheepsmodellen (1)

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 modelfabricagetechniek heeft de laatste jaren nogal wat veranderingen ondergaan en dit artikel geeft een indruk van de mogelijkheden en knelpunten.

In de gewone pers is de laatste jaren flink wat aandacht geschonken aan de ontwikkelingen van het computergestuurd vervaardigen van kleinere objecten. Een artikel in NRC-Handelsblad van 6 augustus 2011, getiteld 'Evolutie van de 3D-printer', deed één van de auteurs besluiten hier op de donkere winteravonden eens mee te gaan experimenteren.

De belangstelling was daarbij speciaal gericht op scheepsvorm en scheepsindeling (schotten en dekken), in nauwe aansluiting op ontwerpsoftware en in eerste instantie om de merites van de modelfabricage te onderzoeken. Het uiteindelijke doel was het in kaart brengen hoe het scheepsontwerpproces met deze technieken kan worden ondersteund. In plaats van een papieren studie leek een participierend onderzoek nuttiger en zo zijn we begonnen met het

Figuur 1. De Ultimaker *open-source hardware*.



3D-printing

Er wordt wel gezegd dat eskimo's tientallen woorden voor sneeuw kennen, die allemaal een specifieke sneeuwsoort of -aard tot uitdrukking brengen. Bij modelmaaktechnieken is dat eigenlijk net zo, daarvoor zijn vele termen, die soms een specifiek kenmerk aanduiden, maar die in het spraakgebruik toch een beetje door elkaar heen lopen. Eén ding hebben ze gemeen, ze zijn allemaal in het Engels: *Rapid Prototyping*, *3D-Printing*, *Physical Modelling*, *Materialised Modeling*, *Physical Prototyping* en *Rapid Tooling*. Daarnaast zijn er zo'n vijftien fabricagetechnieken. Deze technieken kunnen worden ingedeeld in twee groepen:

- de decrementele processen, daar wordt iets weggenomen, en
- de incrementele (of additieve) processen, daar wordt iets toegevoegd.

De meest gangbare processen zijn:

- Frezen (*milling*): een decrementeel proces waarbij uit een blok materiaal het overtollige wordt weggefreest totdat het gewenste artefact overblijft. Frezen kan eenvoudig met een vaste kop die in drie richtingen kan bewegen (drie-assig frezen), eventueel gecombineerd met een draaibare freeskop (vijfassig) of aan een soort arm met nog meer bewegingsrichtingen (*robotic milling*).
- *Selective Laser Sintering* (SLS): het afgesloten bouwvolume, soms onder kunstmatige atmosfeer, wordt tot net onder het smeltpunt van het bouw materiaal verwarmd. Vervolgens deponeert een roller een egale laag poeder op een bouwplatform, waarna een krachtige laser selectief het eerste 2D-patroon uithardt met de laser. Het bouwplatform zakt, de roller egaliseert de vorige laag en deponeert een nieuwe laag. Deze laag wordt vervolgens versmolten met de vorige laag. Het poeder dat niet door de laser wordt geraakt fungeert als ondersteunend materiaal. Naderhand wordt dit poeder weggeblazen en blijft het eindmodel over. Mogelijke bouwmaterialen zijn plastics, keramiek, glas en metalen (*Selective Laser Melting*).
- Stereolithografie (SLA) gebruikt ook een laser voor het uitharden

van op elkaar gestapelde 2D-patronen. Het bouwplatform is hierbij echter ondergedompeld in een bad met UV-gevoelig hars. Voor de eerste laag wordt het platform tot net onder de oppervlakte gebracht en hardt de laser een eerste laag uit. Het bouwplatform zakt een laagdikte en de tweede laag wordt uitgehard. Omdat het hars geen dragende functie heeft, wordt er zo nodig een ondersteuningsconstructie geprint. Bijzonder is dat deze techniek ook geschikt is voor microscopische precisie ($\pm 1 \mu\text{m}$). Mogelijke materialen zijn plastics.

- *Digital Light Processing* (DLP) is een projectietechniek die onder meer wordt gebruikt bij filmprojectie. Een projector met kleine spiegels reflecteert pixels om een voor UV gevoelige hars uit te harden. DLP-printers projecteren zo in één keer het 2D-patroon. Dit verkort de productietijd aanzienlijk.
- *Fused Deposition Modelling* (FDM) gebruikt van een extrusiekop, welke wordt gevoed door een dunne plastic draad die in de kop wordt verwarmd. De printerkop kan afwisselend bouw materiaal en, eventueel oplosbaar, ondersteuningsmateriaal deponeren. Mogelijke materialen zijn verschillende thermoplasten zoals ABS.
- 3D-printing (3DP) maakt gebruik van inkjettechnologie die bekend is van 2D-printers. Er wordt een egale laag poeder op een bouwplatform gedeponereerd. De printkop verlijmt het poeder volgens het 2D-patroon, waarna het bouwplatform een laagdikte zakt. Aan de lijm kan een kleur mee worden gegeven voor kleuring van het model. Mogelijke materialen zijn plastics en gipsen.
- Ten slotte is er nog een techniek die helemaal niet 3D is, maar die we desondanks niet onvermeld willen laten. Dat is lasersnijden van platen. In veel gevallen is het niet nodig een compleet 3D-model te fabriceren, maar kan dat worden opgebouwd uit uitgesneden platte delen, die in hun combinatie vanzelfsprekend driedimensionaal kunnen zijn. Mogelijke materialen zijn onder andere plastics, metalen en hout. Omdat deze techniek een beetje een buitenbeentje is in de 3D-context gaan we er verder niet op in, wat niet impliceert dat hij niet in veel gevallen nuttig kan zijn.

De meest toegankelijke, en dus de goedkoopste, van deze technieken zijn drie-assig frezen en FDM. Drie-assige freesmachientjes waren een decennium geleden al gangbaar, maar deze techniek heeft toch een aantal nadelen, zoals beperkingen in objectvorm (doordat de frees alleen van buiten kan komen) en de overlast die het frezen geeft in een kantooromgeving.

Vanaf 2005 is de ontwikkeling van FDM heel snel gegaan, waarbij trouwens de benamingen niet altijd even strikt zijn gehandhaafd, en deze techniek langzamerhand ook 3D-printen genoemd is gaan worden. In het vervolg handhaven we die naamgeving en gebruiken we 3D-printen als synoniem voor FDM. De eerste printer in deze FDM/3D-printingcategorie was de RepRap, wat een acroniem is van *Replicating Rapid Prototyper*. Het idee was dat zo'n printer zoveel mogelijk zijn eigen onderdelen moest kunnen maken en op die manier zou uitgroeien tot een zichzelf reproducerende machine. Hoewel dat een grappig idee is, laten we die filosofische connotatie maar even voor wat het is en beperken we ons tot het printen van scheepsmodelletjes.

Een ander aspect van de 3D-printtechniek is dat deze niet op zichzelf staat, maar een onderdeel vormt van een "beweging" van ontwerpers en technici. Die beweging uit zich in fora, websites, en bijvoorbeeld de *Fablabs*, dat zijn plaatsen waar (onder andere) een aantal modelfabricagemachines staat die tegen materiaalkosten beschikbaar zijn voor een ieder die maar wat te maken heeft. In Nederland zijn er nu dertien van deze Fablabs, waarvan we van die in Utrecht ervaren hebben dat deze bevolkt wordt door geïnteresseerde en behulpzame mensen.

De Ultimaker

De Ultimaker, zie figuur 1, is een variant op de RepRap, een Nederlands product, dat wordt verkocht als bouw pakket en waarmee objecten tot 22 cm^3 geprint kunnen worden. Het assembleren van het ding is voor een technicus niet lastig, het kost vooral geduld en een dag of twee. In essentie bestaat het apparaat uit vijf onderdelen: a) een spoel met plasticdraad, het materiaal voor de prints, b) de *extruder*, een motortje wat dat materiaal naar de printkop stuwt, c) de printkop, waar het materiaal verhit en gesmolten wordt, en die bevestigd is aan d) een twee-assig stangenstelsel die de kop bewegingen in het horizontale vlak laat maken en ten slotte e) een platform waarop het artefact zich vormt en wat in verticale richting, de derde dimensie, kan bewegen. De basiswerking is dat het object in laagjes wordt opgebouwd; eerst het onderste laagje, dan zakt het platform een klein stukje, en dan het tweede laagje boven op het eerste enzovoort. Deze manier van bouwen heeft wel als intrinsieke voorwaarde dat een object dus een vlak moet hebben waarvanuit opgebouwd kan worden. Een fiets, bijvoorbeeld, kan niet in één stuk worden geprint omdat zo'n basisvlak daar ontbreekt.

Na assemblage werkte de Ultimaker eigenlijk direct, maar het vergt nog wel wat ervaring en afstemming van de verschillende parameters, zoals materiaalaanvoersnelheid en printtemperatuur, voordat de werking een beetje robuust is. Het apparaat kent ook wat zwakheden zoals het kapje rond de ventilator, die het net geprinte materiaal moet koelen, en die zich vlak boven het te printen object voortsleept. Een enkele keer blijft dat kapje haken achter een ongerechtigheid van dat object waardoor de hele print in de soep loopt. Maar dan zie je wel de aardigheid van open-source hardware; er bestaan namelijk websites (bijvoorbeeld thingiverse.com) waarop mensen hun modellen en ontwerpen met anderen delen, en je zult net zien dat een enthousiasteling een nieuwe en beter ventilatorkapje ontworpen heeft en zijn ontwerp daar beschikbaar heeft

Extra's op SWZonline

www.swzonline.nl bevat aanvullend beeldmateriaal, onder andere een filmpje van de Ultimaker in actie, 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.

gesteld. Dan is het een kwestie van downloaden, printen en monteren, *et voilà*, de Ultimaker is verbeterd.

“De gegevens zijn elektronisch beschikbaar”

Ondanks het feit dat de meeste mensen inmiddels zijn opgegroeid met computers leeft dit idee nog steeds: “de gegevens zijn elektronisch beschikbaar en dus universeel bruikbaar”. Niets is minder waar; heeft u wel eens een complex document van OpenOffice feilloos naar MS-Word (of vice versa) geconverteerd? Dat lukt niet en als dat met een plat A4-tje al niet lukt, dan kunnen we helaas niet verwachten dat het bij driedimensionale objecten wel zonder mankeren gaat. Ons beperkend tot 3D-printen is er qua fileformaten wel één voordeel: er is een standaard: STL, *STerographic Language*. Dit formaat is door één van de eerste 3D-printerfabrikanten geponeerd en is uitgegroeid tot een de facto standaard, zoals DXF dat is in de tekeningenwereld. In essentie is het STL-formaat simpel. Het is een grote verzameling van hele kleine platte driehoekjes, zo klein dat ze aaneengeschakeld met voldoende nauwkeurigheid een kromme vorm kunnen weergeven. Wel is er een aantal eisen aan de inhoud van een STL-bestand:

- De hoekpunten van de driehoekjes moeten van buiten naar binnen gezien allemaal dezelfde draairichting hebben (allemaal linksom of allemaal rechtsom).
- De met STL gerepresenteerde objecten moeten een *solid model* zijn, dat wil zeggen dat ze gesloten moeten zijn, zichzelf niet mogen snijden, geen losse lijntjes of vlakjes mogen hebben en geen inwendige structuur (dus bijvoorbeeld geen dekken in een holl scheepsrompmodel).

Hoewel vele softwarepakketten kunnen converteren naar STL kunnen deze eisen toch roet in het eten gooien. Als een CAD-model immers niet voldoet aan deze eisen, dan zal conversie naar STL ten principale falen, zelfs als deze syntactisch geslaagd zou zijn (dat wil zeggen dat er best een bestand gegenereerd kan zijn met STL-inhoud en coördinaten, maar dat dat bestand toch onbruikbaar is voor 3D-printingdoeleinden).

Maar uiteindelijk moet de 3D-printer worden gevoed met elementai-

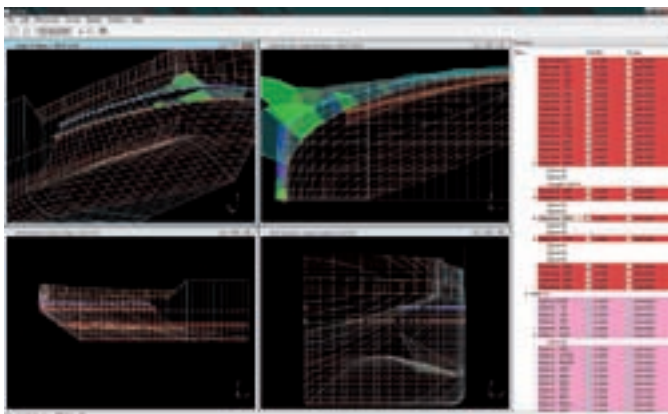
re opdrachten waarmee de printkop wordt bewogen, de temperatuur wordt ingesteld en de draadtoevoer wordt geregeld. Voor het vertalen van een STL-file naar zulke aansturingscodes is software beschikbaar. Soms biedt zulke software ook extra mogelijkheden, waaronder het construeren van een draagconstructie onder een overhangend deel, waarmee objecten zonder basisvlak, zoals een fiets, toch gemaakt kunnen worden. Die draagconstructie moet dan naderhand worden afgesneden.

3D-printen van scheepsmodellen met de Ultimaker

Maar genoeg over de achtergronden; aan de slag! Rompvormen wilden we printen en scheepsindelingen. Er moet natuurlijk wel adequate software beschikbaar zijn om die dingen mee te ontwerpen, maar daarvoor beschikken we over:

- De module Fairway, uit het PIAS-pakket van SARC (Programma voor de Integrale Aanpak van het Scheepsontwerp, zie www.sarc.nl), wat speciaal is ontwikkeld voor alle ontwerpwerkzaamheden die op scheepsrompen betrekking hebben: ontwerpen, stroken, visualiseren, huidplaatuitslagen, enzovoort. Fairway werkt op basis van solid modelling-technologie en kan dus makkelijk een 3D-printingbestand genereren dat voldoet aan de vereisten van het STL-bestandsformaat.
- De module Newlay, uit dezelfde stal, een splinternieuw programma voor het ontwerp van de interne geometrie van een schip: schotten, dekken en compartimenten.

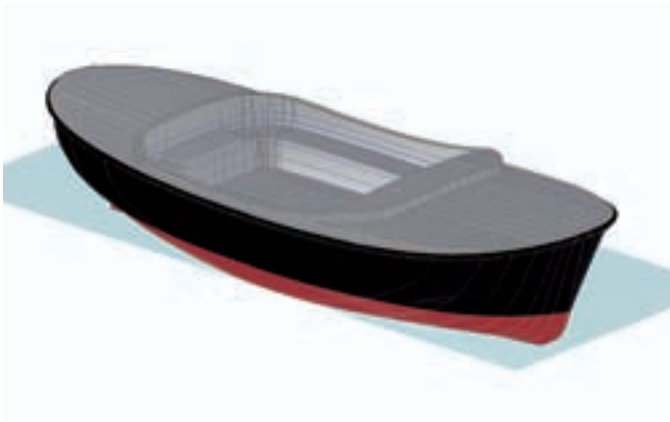
Hoewel 3D-printen natuurlijk helemaal niet voorbehouden is aan deze twee programma's, beperken wij ons hier wel toe, eerstens omdat deze nu eenmaal onder handbereik zijn en ten tweede omdat deze pakketten een snelle start met 3D-printing mogelijk maken, daar ondersteuning (welke zich niet beperkt tot het genereren van STL-bestanden, maar bijvoorbeeld ook hulp biedt bij het automatisch opdelen van een complex object in maakbare blokken) van rapid prototyping al vijftien jaar onderdeel van de pakketbibliotheek uitmaakt. Weliswaar in de vorm van frezen, maar dat was snel aan te passen aan de vereisten voor 3D-printing.



Figuur 2. PIAS-Fairwaymodel van het achterschip van een binnenvaartanker



Figuur 3. 3D-print van het achterschip uit figuur 2



Figuur 4. Solid model van een sloep



Figuur 5. SB- en BB-delen van de sloep geprint met de Ultimaker en vervolgens verlijmd

De eerste rompvorm die we hier tonen is die van het achterschip van een binnenvaarttanker met schroeftunnel, waarvan figuur 2 het Fairwaymodel toont. Hoewel zo'n scheepsvorm als complex wordt gezien, is er modeltechnisch weinig bijzonders aan. Aangezien het lange evenwijdige middenschip van een binnenvaartvrachtschip niet zo spannend is hebben we dat weggelaten en zijn alleen het voor- en achterschip vervaardigd. Zodoende biedt het spantvlak een goed basisvlak van waaruit voor- en achterschip in hun geheel kunnen worden gefabriceerd. Figuur 3 toont een model van het achterschip. Er zit na het printen nog een rafelrandje aan de SB kim, dat kan achteraf nog een beetje worden afgesneden, maar superstrak wordt het daar niet meer.

Een tweede voorbeeld is die van een sloep, zie figuur 4 voor het computermodel. Omdat hier een natuurlijk basisvlak ontbreekt is het model gesplitst over hartschip, zodat de SB- en BB-delen apart kunnen worden geprint, met hartschip als basisvlak. Maar dat kan niet zonder speciale voorzieningen, want de binnenwand van de kuip zou dan zweven boven het printerplatform, zodat de eerste lagen daarvan in elkaar zouden zakken. Daarom is er met de printersoftware een ondersteuningsconstructie toegevoegd die later verwijderd moet worden. Figuur 5 toont dat dat werkt, hoewel die ondersteuningsconstructie helaas wel een beetje z'n sporen nalaat in de vorm van ruwigheden op de kuipwand. Maar als we wat beter kijken naar de scheepseinden van deze figuur, dan zien we een anomalie: het hartschipvlak is een beetje kromgetrokken, wat zich uit in een kier over hartschip aan de voor- en achterzijde. Dat kromtrekken is het gevolg van krimpspanningen die ontstaan doordat de lagen ongelijktijdig afkoelen; de eerdere lagen zijn al gestold en de latere lagen zijn nog vloeibaar en als die stollen en afkoelen dan krimpen ze en trekken zodoende het hele object een beetje krom. Wellicht dat een verwarmd printplatform deze krimpspanningen kan doen wegnemen of verminderen. Op dit moment zijn enthousiastelingen daarmee aan het experimenteren, maar de resultaten zijn ons

nog onbekend. Deze kwestie illustreert trouwens wel de modus operandi van de *3D-printing community* en die is hoofdzakelijk experimenteel. Met alle respect voor het resultaat wat daarmee tot nu toe behaald is, zou het verder optimaliseren van het printproces en -resultaat wellicht gebaat zijn bij een theoretisch model, waar alle parameters zoals snelheden, temperaturen en krimpeffecten in zijn opgenomen. Wellicht een mooie afstudeeropdracht aan een technische hogeschool of universiteit.

Vervolg in het juli-augustusnummer

Dit artikel is opgesplitst in twee delen. Dit is het eerste deel. Het tweede deel verschijnt in het juli-augustusnummer van SWZ Maritime.