

Uw huis geprint?

Freeform Fabrication

Een compleet gebouw uit een printer laten rollen klinkt misschien als pure fictie, maar het is dichterbij dan u denkt. *Freeform Fabrication* is een onderzoeksproject waarbij een computergestuurde machine betonconstructies maakt. Een immens grote printer waar geen inkt maar beton uitkomt, zet een digitaal model om in een fysisch object. *Large scale rapid manufacturing* opent nieuwe mogelijkheden in de architectuur. **Sam Bernaerdt en Kevin Van Hauwaert**

In 1986 werd voor het eerst een 3D computer-model omgezet tot een fysisch object zonder enige menselijke interventie. Deze technologie, waarbij een digitaal model door een 'printer' opnieuw wordt opgebouwd tot een fysisch model, heet *rapid prototyping* (RP). Tegenwoordig is er een ruim aanbod van verschillende RP-technologieën beschikbaar, maar in wezen doen ze allemaal hetzelfde: een computerprogramma deelt het digitale 3D model op in laagjes, die op hun beurt terug worden omgezet in een fysisch object door poeder, vloeistof of plaatmateriaal met elkaar te verbinden. RP kent reeds vele toepassingen in verschillende industrieën en werd aanvankelijk ingezet voor de productie van prototypes. Sinds de technologieën geoptimaliseerd zijn, is er een duidelijke trend zichtbaar naar het rechtstreeks printen van eindproducten, ook wel *rapid manufacturing* (RM) genaamd.¹

Rapid manufacturing

De voordelen verbonden aan RM zijn enorm. Stelt u zich eens voor: bijna elk object dat gemodelleerd kan worden in een computerprogramma, kan in een mum van tijd worden omgevoerd tot een fysisch object. Ontwerpers hebben een veel grotere ontwerprijheid en zijn niet langer gelimiteerd in hun creatief denken door restricties afkomstig van traditionele fabricatiemethodes. Waar vroeger een lang assemblageproces nodig was, kunnen objecten nu als één geheel worden geproduceerd. Ook volledig op maat gemaakte componenten worden economisch haalbaar. De productietijd en -kosten voor het printen van zowel honderd identieke als honderd verschillende componenten zijn gelijk. Hoewel het RM-proces op zich een relatief traag proces is, kan het productieproces toch drastisch worden ingekort, zeker voor componenten met een kleine oplage. De toekomst van RM zal afhangen van de verdere ontwikkeling van nieuwe, stabielere materialen en snellere processen.²

RM kent toepassingen in de luchtvaart-, auto- en medische industrie, zelfs in de designwereld. Zo zijn er recent enkele designbedrijven zoals .MGX

1 Detail van een geprinte betonconstructie, onderdeel van *Freeform Fabrication* (2009), Loughborough University.

2 Geprinte betonconstructie, onderdeel van *Freeform Fabrication* (2009), Loughborough University.



1

(www.mgxbymaterialise.net) en Freedom Of Creation (www.freedomofcreation.com) opgericht die enkel gebruik maken van RM-technologieën voor de productie van hun ontwerpen.³

Andere RM-processen

Het Monolite/D-shape-proces werd in 2007 ontwikkeld door Enrico Dini. Een fijn laagje zand wordt uitgestreken over het werkoppervlak. Daarna beweegt een reeks printkoppen over de zandlaag en injecteert op de gewenste plaatsen een anorganisch bindmiddel in het zand. Het geïnjecteerde zand verhardt en het volledige proces wordt herhaald. Als alle lagen geprint zijn, wordt het losliggende zand verwijderd en verschijnt het uiteindelijke object.⁴

2



Contour Crafting werd in 1998 ontwikkeld door Behrokh Khoshnevis aan de universiteit van Zuid-Californië. Bij dit proces wordt enkel de buitenschil van het gewenste object geprint. Een spuitkop ejecteert een betonachtig materiaal, terwijl twee spatels het buitenoppervlak sturen. De component wordt laag per laag opgebouwd. Nadien vult een tweede, tevens geautomatiseerd proces, de inwendige structuur van de component op. Momenteel worden mogelijkheden onderzocht om wapening op een automatische manier te implementeren. Khoshnevis denkt er zelfs aan om zijn Contour Crafting in te zetten bij het bouwen van constructies op andere planeten.⁵

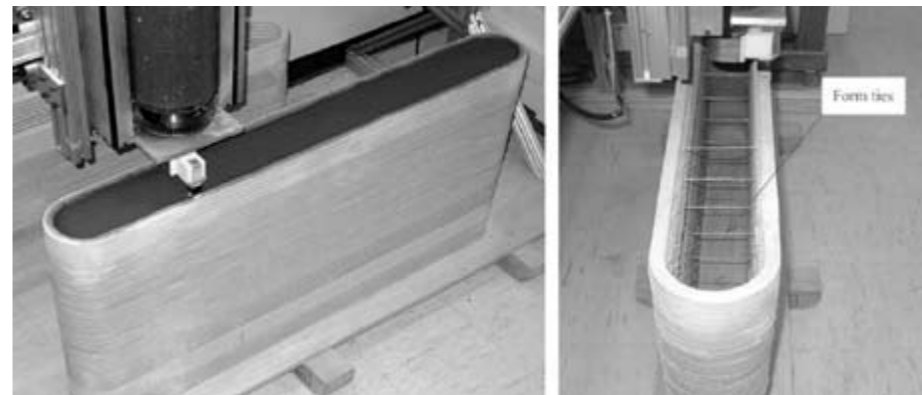


3

Bouwproces aan vernieuwing toe?

Toch zijn er vandaag de dag nog steeds industrieën waar deze technologie ongebruikt of zelfs ongekend is, zoals de bouwindustrie. Rapid manufacturing is voor de huidige architect nog steeds onbekend terrein. Het introduceren van deze technologie zou nochtans voor een grote doorbraak kunnen zorgen in de huidige verouderde bouwmethodes. Het reeds in 100 voor Christus uitgevonden beton wordt nog steeds als basisbouw materiaal gebruikt. De huidige bouwactiviteit bestaat hoofdzakelijk uit handenarbeid en nieuwe technologieën spitsen zich enkel toe op het automatiseren van die handenarbeid, zonder het bouwproces zelf in vraag te stellen. De bouwindustrie voelt een opkomende druk om zijn activiteiten te moderniseren. Zo heeft men te maken met gevaarlijke werkomgevingen en is er een tekort aan vakmannen. Maar men is ook op zoek naar manieren om een antwoord te kunnen bieden voor opkomende klimaat- en milieuproblemen. De bouwindustrie is verantwoordelijk voor een derde van het geproduceerde afval in de wereld. Door onze gebouwen als complete systemen te ontwerpen en te bouwen, zouden we tot 75 % in energie kunnen besparen. Het is de taak van de architect om een antwoord te bieden aan deze uitdagingen.^{6,7} Architecten hebben altijd getekend wat ze kunnen bouwen en gebouwd wat ze kunnen tekenen. Recente ontwikkelingen in CAD/CAM-technologie⁸ zijn een eerste stap in de goede richting, maar veranderen in wezen niets aan

4

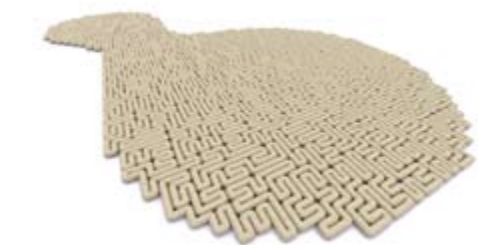


het bouwproces: de CNC-snijmachine⁹ vervangt enkel de schrijnwerker met de handzaag. RM daarentegen biedt een totaal nieuwe bouwmethode. Verschillende complexe handelingen zoals materiaalproductie, materiaalverwijdering, materiaalbehandeling en assemblage worden vervangen door een herhaling van simpele, identieke, computergestuurde operaties.

Freeform Fabrication

De voordelen die RM biedt voor de bouwindustrie zijn legio, maar het grote probleem vandaag de dag is het ontbreken van een aangepaste technologie: huidige technologieën zijn niet geschikt om RM toe te passen op grote schaal. Gelukkig is de zoektocht naar een geschikt proces volop aan de gang. *Freeform Fabrication: Mega-scale rapid manufacturing for construction* is er één van: een onderzoeksproject gestart in 2006 aan de Universiteit van Loughborough (Innovative Manufacturing and Construction Research Centre) waar men een RM-machine ontwikkelde van 5 x 5 x 5 meter die in staat is betonslierten te printen met een resolutie van 9 x 6 millimeter. Met de komst van deze machine zijn architecten in staat zijn om een volledig nieuwe vormtaal te ontwikkelen. Niet enkel de uiterlijke verschijningsvorm van onze gebouwen, maar ook het functioneren ervan zal drastisch veranderen. RM opent mogelijkheden naar een betere integratie van voorzieningen zoals ventilatie- en bedringskanalen, verwarming en contextspecifieke

benodigdheden, binnenin geprinte componenten. Architecten zullen het ontwerp van alle daagse bouwcomponenten, zoals de traditionele muuropbouw, in twijfel moeten trekken. Waarom ziet een kolom er bijvoorbeeld in ieder gebouw bijna identiek uit, hoewel ze verschillende belastingen hebben? Simpel, het is met huidige bouwprocessen economisch en technisch haalbaarder om identieke kolommen te produceren. RM daarentegen laat optimalisatie per kolom toe. Deze nieuwe ontwikkeling kan leiden tot een drastische reductie van materiaalgebruik binnen de bouwindustrie. Bovendien staat er bijna geen enkele limiet meer op de geometrische complexiteit van onze bouwwerken. Nog interessanter wordt het wanneer met eenzelfde proces verschillende materialen worden geprint, zoals nu al het geval is bij recente RM-technologieën voor kleinschaligere toepassingen. Waar dit allemaal toe leidt, moet de toekomst uitwijzen, maar zeker staat vast dat de nakende intrede van RM in de bouwindustrie drastische veranderingen teweeg zal brengen.



5



6

3 Betonprinter in actie.

4 Contour Crafting, ontwikkeld door Behrokh Khoshnevis aan de universiteit van Zuid-Californië. Bij dit proces wordt enkel de buitenschil van het gewenste object geprint.

5 en 6 Eigen ontwikkelde software en print, 3D paden in vlakke vorm, Loughborough University.

Ontwerp

Bij de huidige RP-technieken is de printresolutie steeds zo hoog dat de opbouw nauwelijks zichtbaar is met het blote oog. De betonprinter verschilt hiervan door de relatief dikke betonslierten, waardoor het pad dat de printkop aflegt zeer aanwezig is in het geprinte model en een grote invloed heeft op de oppervlaktetextuur. Dit zal voor architecten een belangrijk onderdeel van het ontwerp vormen. De bestaande CAM-programma's bieden geen mogelijkheid om het printpad vrij te kiezen, waardoor de architect op zoek moet naar alternatieve methoden om deze paden te creëren. Een model wordt doorgaans opgebouwd uit een groot aantal slierten, waardoor het manueel tekenen van de paden een titanenwerk is. *Large Scale Rapid Manufacturing for Construction: the Architecture of a New Design Environment* is onder andere een onderzoek geworden naar verschillende methoden om deze paden op een intelligente manier vorm te geven. Met parametrische CAD-programma's kan de logica van een vulpatroon dat automatisch paden genereert, worden beschreven. Ook animatieprogramma's bieden interessante gereedschappen die kunnen worden gebruikt. Zo kan een gravitatie-simulator worden gebruikt om onvoorspelbare, willekeurig verstrengelde 3D paden te creëren. Afbeelding 5 toont hoe een eigen ontwikkeld programma een ononderbroken pad zoekt dat een gegeven vlakke vorm perfect vult. Al deze methoden om printerpaden te genereren hebben echter ook een nadeel: ze vergen

een zeer grote kennis van complex 3D modelleren of programmeren. De meeste architecten willen zich liever concentreren op het ontwerp dan op dit computertechnische deel en kunnen deze methoden dus niet gebruiken.

Nieuwe ontwerpomgeving

Hoewel de mogelijkheden van deze betonprinter enorm zijn, kan deze pas echt worden ingezet als de technologie toegankelijk is. Er is behoefte aan gemakkelijke en vlotte communicatie tussen de ontwerper en deze machine. Om hieraan tegemoet te komen, ontwikkelden we een softwarepakket dat ontwerpers, ingenieurs en architecten in staat stelt deze techniek te gebruiken. Door de ontwerper controle over de machine te geven en beiden dicht bij elkaar te brengen, wordt de ontwikkeling van het *Freeform Fabrication*-project gestimuleerd. Iedere ontwerper die een 3D vorm kan tekenen, kan nu gebruik maken van deze techniek. Een digitaal 3D model omzetten naar een betonnen print verloopt in twee stappen. Eerst wordt de 3D vorm omgezet naar het pad dat de printer volgt. Daarna wordt dat pad vertaald naar een code die de printer kan interpreteren: de zogenaamde G-Code.¹⁰ Het softwarepakket dat werd ontwikkeld om dit proces te controleren, bestaat dan ook uit twee onderdelen: *G-Code Toolkit*, automatiseert de conversie van een 3D model naar tubes, en *G-Code It*, schrijft de printerspecifieke code uit. Door deze opsplitsing ontstaat er een integrale oplossing die automatisch een 3D model naar de printer kan sturen en

blijft de mogelijkheid open voor de gebruiker om alle tubes zelf te modelleren. De ontwikkelde programma's werden met succes gebruikt om de eerste experimentele modellen te produceren en dienen nu als basis om G-Code te genereren.

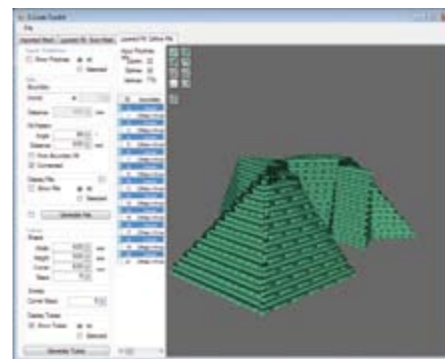
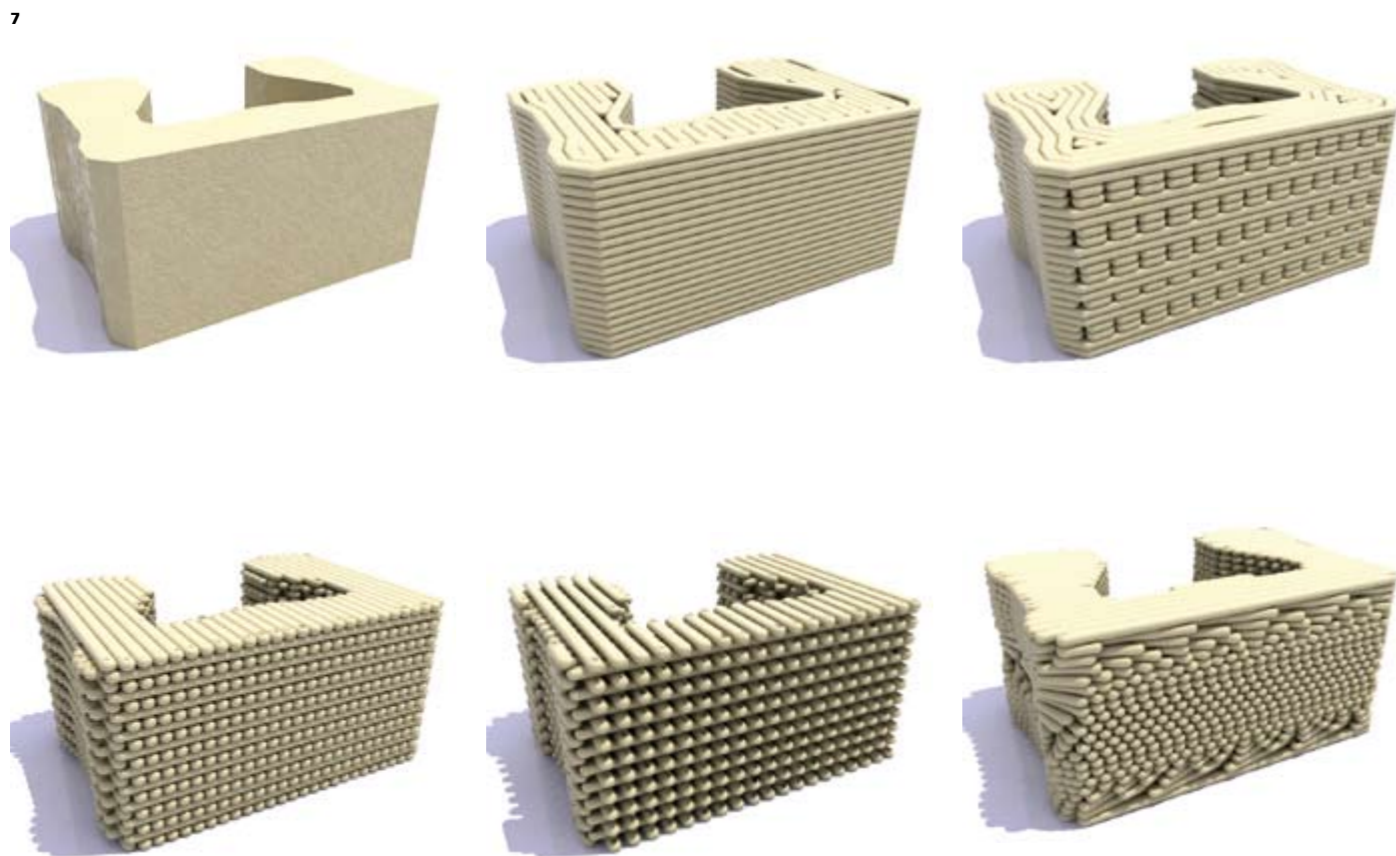
G-Code Toolkit

G-Code Toolkit is een CAD-programma dat een model inlaadt, opdeelt in lagen en vervolgens automatisch de printpaden genereert volgens bepaalde patronen. De gebruiker kan voor iedere laag het vulpatroon bepalen. Hij kan hiervoor kiezen uit een reeks standaard vulpatronen, waarop hij eventueel nog verdere variaties kan aanbrengen. Door verschillende patronen te combineren, ontstaan er tal van mogelijkheden en kan eenzelfde vorm op veel verschillende manieren worden geprint (afbeelding 7). Ook is er de mogelijkheid om de resulterende betonslierten te visualiseren in G-Code Toolkit. De architect ziet zo op voorhand wat het geprinte eindresultaat zal zijn.

G-Code It

G-Code It is een CAM-programma dat ervoor zorgt dat de ontworpen betonslierten correct worden geprint. De geïmporteerde printerpaden worden omgezet naar G-Code. Ook het printproces zelf kan met G-Code It gesimuleerd worden. Deze paden kunnen ofwel automatisch gegenereerd zijn door G-Code Toolkit, maar evengoed afkomstig zijn van een andere bron: elk CAD-

7 Basis 3D model en verschillende opvulpatronen gegenereerd met G-Code Toolkit.



8

pakket kan hiervoor dienen. Dit laatste zorgt ervoor dat de ontwerper niet gelimiteerd is door de mogelijkheden van de ingebouwde vulpatronen, maar de betonprinter eender welk pad kan laten volgen.

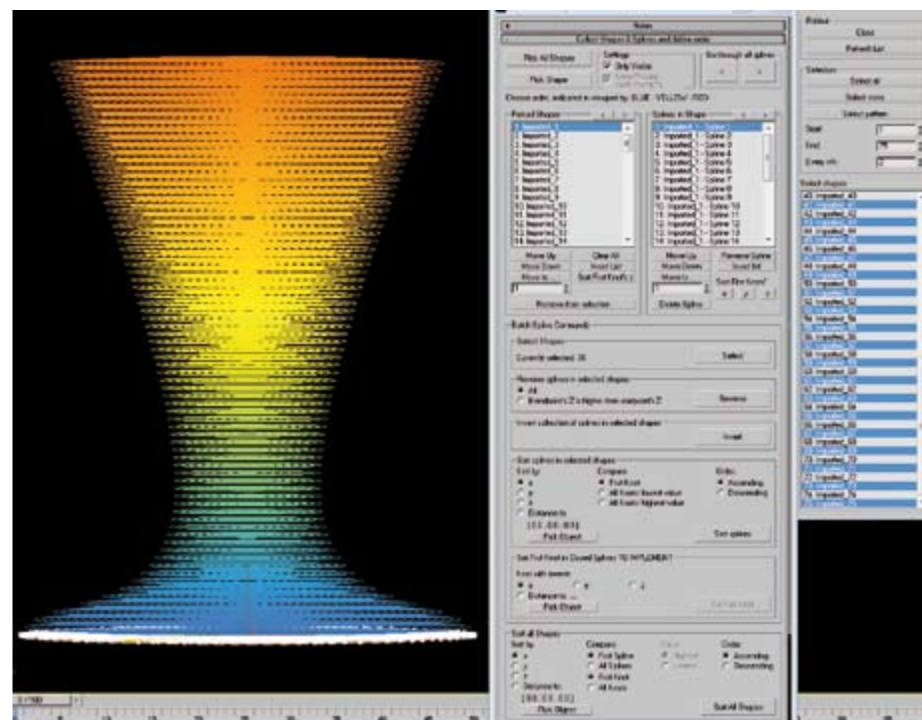
Slotbeschouwing

Deze nieuwe productietechniek verandert niet enkel de manier waarop een element wordt gefabriceerd, maar biedt zo veel nieuwe mogelijkheden dat onze manier van nadenken over ontwerpen helemaal zal veranderen. Een totaal nieuwe architectuur kan ontstaan, gedreven door deze technologische vernieuwing. De evolutie in ontwerp en productie gaat gepaard met de vernieuwing in 3D computerprogramma's en deze zullen elkaar blijven stimuleren.

Dankwoord

De auteurs danken hun promotor prof. Xavier De Kestelier voor het mogelijk maken van dit eindwerk. Ook wensen zij de wetenschappers van het *Freeform Fabrication*-project te Loughborough uitdrukkelijk te bedanken voor hun bereidwillige medewerking.

9



Project Wonderwall

Dit project werd voorbereid door de auteurs van dit artikel. Zowel het ontwerp, de printerpaden als de G-Code zijn van hun hand en tonen dat de ontwikkelde software feilloos werkt. Deze muur is op ware schaal en is het eerste voorbeeld van een large scale rapid manufactured-object.



Wonderwall in opbouw (2009).

Voor meer informatie: www.buildfreeform.com

Sam Bernaerdt en Kevin Van Hauwaert studeerden in juni 2009 af als Master in de Ingenieurswetenschappen: Architectuur aan de Universiteit Gent. Zij behaalden hun diploma met hun eindwerk *Large Scale Rapid Manufacturing for Construction Industry: the Architecture of a New Design Environment* onder leiding van prof. Xavier De Kestelier. Sam Bernaerdt werkt sinds september 2009 deeltijd als assistent computerondersteunende ontwerptechnieken aan de Universiteit Gent en deeltijd bij Materialise te Leuven. Kevin Van Hauwaert werkt sinds augustus 2009 als ingenieur architect bij architecten Vande Kerckhove (AVDK) te Moorsele.

- 1 T. Wohlers, *Wohlers Report 2007: State of the Industry*, Wohlers Associates, Colorado, 2007, USA.
- 2 N. Hopkinson, R. Hague and P. Dickens, Eds., *Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age*, John Wiley & Sons, Ltd, New York, 2006, USA.
- 3 www.materialise.com (19 mei 2009).
- 4 <http://d-shape.com> (19 mei 2009).
- 5 B. Khoshnevis, D. Hwang, K. Yao, Z. Yeh, 'Mega-scale fabrication by contour crafting', in: *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2006, vol. 1, pp. 301-320.
- 6 R. A. Buswell, R. C. Soar, A. Thorpe & A. Gibb, 'Freeform Construction: Mega-scale Rapid manufacturing for Construction', in: *Automation in Construction*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 222-229.
- 7 R. A. Buswell, R. C. Soar, A. Gibb & A. Thorpe, 'The potential of Freeform Construction Processes', in: *Solid Freeform Fabrication*, Eds. D.L. Bourell, R.H. Crawford, J.J. Beaman, K.L. Wood & H. Marcus, University of Texas at Austin, Texas, 2005, USA, pp. 505.
- 8 CAD (Computer Aided Design) staat voor het gebruik van computertechnologie bij het ontwerpen van digitale modellen. Dit varieert van 2D tekenpakketten tot complexe

3D ontwerpomgevingen. CAM (Computer Aided Manufacturing) staat voor het gebruik van computertechnologie bij het fabriceren van fysieke modellen. Dit varieert van computergestuurde freesmachines en snijmachines tot rapid prototyping.

9 CNC (Computer Numeric Controlled) betreft de computergestuurde regeling van machines.

10 Standaardtaal voor het aansturen van computergestuurde machines. Deze taal werd reeds ontwikkeld in de jaren zestig en is sindsdien blijven evolueren. Dit is een tekstbestand met een reeks instructies en coördinaten.

8 G-Code Toolkit screenshot.

9 G-Code It screenshot.