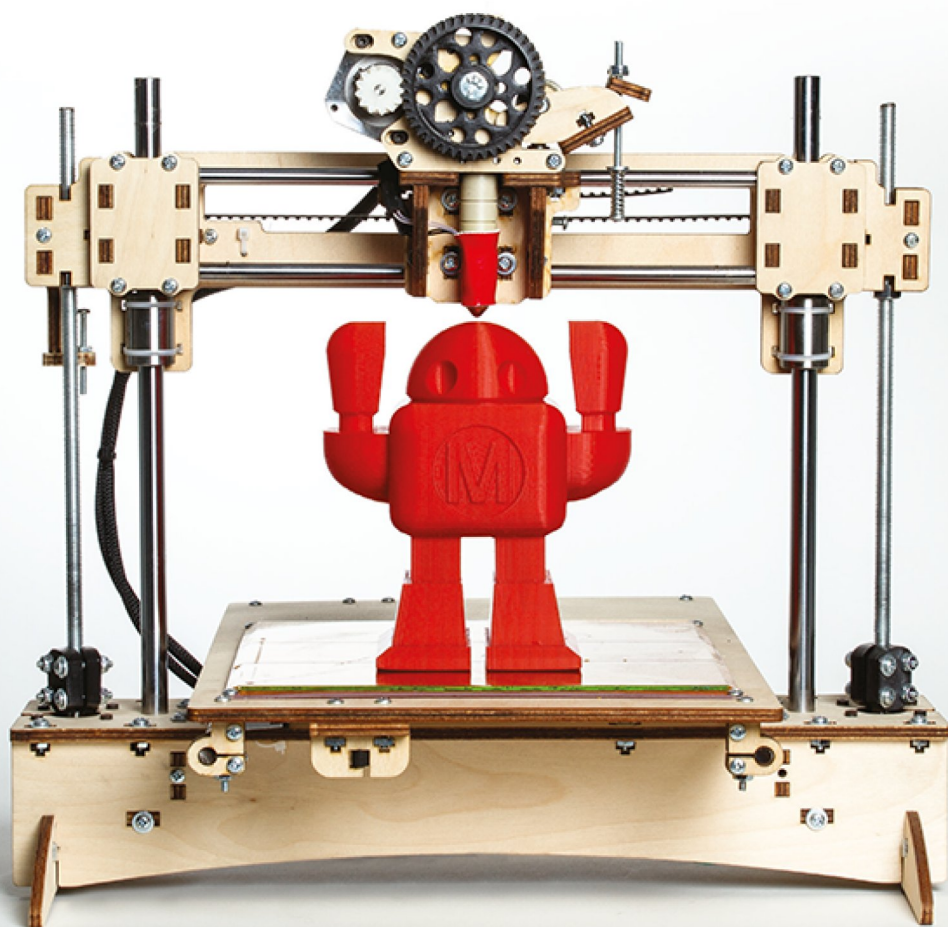


Świat druku 3D



Kompendium wiedzy o druku 3D!

Anna Kaziunas France

Tytuł oryginału: Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers

Tłumaczenie: Zbigniew Waśko

ISBN: 978-83-246-9117-3

© 2014 Helion S.A.

Authorized Polish translation of the English edition of Make: 3D Printing, ISBN 9781457182938

© 2014 Maker Media, Inc., published by Maker Media Inc.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie bierze jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Wydawnictwo HELION nie ponosi również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION

ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

http://helion.pl/user/opinie/swid3d_ebook

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- [Poleć książkę na Facebook.com](#)
- [Kup w wersji papierowej](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

Spis treści

Wstęp	xi
--------------------	-----------

Część I Sprzęt

1. Podstawy drukowania przestrzennego	3
Wybór drukarki	3
Opcje zakupu — w całości, w częściach lub do samodzielnego wykonania.	4
Oprogramowanie	5
Generowanie plików STL	5
Warstwy	6
Porządkowanie	6
Pierwsze drukowanie	6
Anatomia drukarki 3D	7
System pozycjonowania	7
Elementy drukarki 3D	9
Wybór filamentu	11
Etap następny — co drukować?	11
2. Przegląd drukarek 3D	15
Wydruki testowe	16
Wąż	16
Figurka sowy	16
Przekładnia łożyskowa	16
Wymagający tester wymiarowości	17
Afinia H-Series	18
Bukobot 8	19
Cube	20
Felix 1.0	21
MakerGear M2	22

Printrbot Jr. (v1)	23
Replicator 2	24
Solidoodle 2	25
Type A Series 1	26
Ultimaker	27

Część II Oprogramowanie

3. Programy komputerowe dla druku przestrzennego	31
Programy do modelowania 3D	31
Slicer, czyli oprogramowanie CAM	34
Sterowanie drukarką — oprogramowanie klienckie	35
Co dalej?	36
4. Modelowanie 3D dla zupełnych nowicjuszy	37
1. Utwórz tinkercadowe konto	37
2. Utwórz otwór	38
3. Wstaw głowę robota	38
4. Wyrównaj położenia głowy i otworu	39
5. Połącz głowę i otwór w jeden obiekt	39
6. Opróżnij wnętrze głowy	39
7. Wykonaj usta robota	40
8. Wymodeluj oczy robota	41
5. Poznajemy Slic3r	45
Etap 1. Nadaj profilowi nazwę	46
Etap 2. Ustawienia druku	47
Obrzeża i warstwy pełne	47
Wypełnienie	48
Szybkość	49
Obwódka	50
Materiał podporowy	50
Uwagi i inne ustawienia	51
Ustawienia zaawansowane	52
Etap 3. Parametry filamentu	52
Chłodzenie	53
Etap 4. Ustawienia drukarki	55
Własny kod G	55
Ustawienia wyciskarki	56
Retrakcja	56

Etap 5. Powrót do zakładki Plater	57
Praca z kilkoma modelami naraz	58
Dobrej zabawy!	58

Część III Skanowanie 3D

6. Wykonywanie skanów przestrzennych i poprawianie ich	61
Na czym polega skanowanie 3D?	61
Ograniczenia	63
123D Catch	63
Posługiwanie się programem 123D Catch	63
Fotografowanie	64
Wysyłanie zdjęć do serwera w chmurze	66
Pobieranie wygenerowanej siatki	67
ReconstructMe	67
Instalacja programu ReconstructMe	68
Jak odtworzyć samego siebie (lub inną osobę)	68
Porządkowanie i naprawianie skanów przeznaczonych do druku 3D	70
netfabb	70
Autodesk MeshMixer	71
MeshLab	71
Pleasant3D	72
Naprawianie typowych skanów	72
Naprawianie i porządkowanie skanu w netfabbie	72
Wygładzanie powierzchni siatek	75
Usuwanie zgrubień i wybrzuszeń	77
Ostatnie czynności porządkujące w netfabbie	77
Drukowanie	77
Domykanie skanów reliefowych	77
Postępowanie z dziurami, miejscami niejednoznaczny i elementami rozłącznymi	78
Domykanie siatki	80
Skanuj swój świat	84
7. Wydrukuj swoją głowę w 3D!	85
1. Zarejestruj się w Autodesk 123D	86
2. Zrób cyfrowe zdjęcia swojej głowy	86
3. Zleć przetwarzanie zdjęć	87

4. Otwórz model	87
5. Popraw swój model	87
6. Uszczelnij go	88
7. Wyczeluj go (opcjonalnie)	88
8. Udostępnij swój model innym (opcjonalnie)	89
9. Zapisz ostateczną wersję modelu w formie nadającej się do druku (opcjonalnie)	89
10. Wydrukuj swoją głowę!	90

Część IV Materiały

8. Tworzywa do druku trójwymiarowego	93
Polilaktyd (PLA)	93
Polilaktyd (PLA miękkie i elastyczne)	93
LAYWOO-D3	94
LAYBRICK	94
Kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy (ABS)	94
Polistyren wysokoudarowy (HIPS)	94
Nylon	94
Poli(tereftalan etylenu) (PET)	95
Poliwęglan (PC)	95
Polietylen o dużej gęstości (HDPE)	95
Polikaprolakton (PCL)	95
Poli(alkohol winylu) (PVA)	95
9. Przemysłowe materiały i metody druku 3D	97
Kompozyty i ceramika	97
Tworzywa	98
Stereolitografia (SLA)	98
Selektywne spiekanie laserowe (SLS)	98
Drukowanie z fotopolimerów	98
Metale	99
Bezpośrednie stapianie metalu laserem (DMLS)	99
Bezpośrednie drukowanie z metalu	99
Pośrednie metody wytwarzania	99

Część V Usługi

10. Drukowanie bez drukarki	103
11. Usługodawcy	107
Prześlij pliki i zamów wydruki	107
Shapeways	107
Ponoko	108
Sculpteo	108
i.materialise	108
Kraftwurx	108
Staples (we współpracy z Mcor)	108
Wytwórcy działający lokalnie	109
makexyz	109
3D Hubs	109
Znajdź mi drukarkę	109
Printchomp	109
Usługi dla profesjonalistów	109
ZoomRP.com	109
RedEye	109
3D Factory	109
Butik 3DP — projektowanie i drukowanie	110
3dPhacktory	110
Solid-Ideas	110

Część VI Techniki wykańczania

12. Farbowanie wydruków	113
1. Przygotowanie materiałów	114
2. Namaczanie farbowanych przedmiotów	114
3. Farbowanie	115
4. Płukanie	115
5. Suszenie	116
6. Pokaz	116
13. Obróbka postprodukcyjna	117
Narzędzia i materiały	118
Sekrety zawodowe	119
Spawanie tarciove	119

Spawanie tarciove elementów niedopasowanych	120
1. Przygotuj urządzenie zapewniające ruch obrotowy	120
2. Przygotuj łączone części	120
3. Zespawaj obie części punktowo, aby ustalić ich wzajemne położenie	121
4. Wypełnij duże szpary	122
5. Utwórz pełną spoinę	123
Naprawa modelu PLA przy użyciu spawania tarciovego	123
Nitowanie — osadzanie tarciove nitów zrywalnych	125
Wykonywanie nitów i zawiasów z filamentu	129
Klejenie i uzupełnianie ubytków za pomocą specjalnie przygotowanej masy ABS	133
Szlifowanie wydruków	134
14. Postarzenie wydruków	137
1. Wybór farby podstawowej	138
2. Wybór farby metalicznej do malowania wytartych krawędzi	138
3. Malowanie techniką „suchego pędzla”	138
4. Imitowanie większych odprysków farby i zadrapań	139
5. Dodawanie zabrudzeń	139
6. To wszystko!	140

Część VII Zastosowania

15. Perspektywy druku 3D	143
16. Galeria wydruków 3D	145
Dla gospodarstwa domowego	145
Produkty 3D dostępne aktualnie w sprzedaży	149
W medycynie	152
Wydruki artystyczne i nowatorskie	155
17. Maszyna marzeń	161
18. Drukowanie na pustyni	163
19. Jak wydrukowałem humanoida	165
Wnioski i spostrzeżenia	167
Drukować samodzielnie czy zlecać specjalistom?	170
Co dalej?	170

Część VIII **Inne sposoby wykonywania obiektów 3D**

20. Frezowanie	175
Subtraktywny odpowiednik drukarki 3D	175
Co chcesz wykonać?	176
Obrabiarka CNC w wydaniu domowym	176
Plany dostępne w serwisie BuildYourCNC.com	177
Jeszcze inne frezarki	178
Othermill	178
Shapeoko 2	178
Systemy przesuwu liniowego	178
MakerSlide	179
OpenBeam	179
OpenBuilds	179
21. Czaszki z białej czekolady na tackach z tworzywa PLA	181
Spis materiałów	182
1. Wydrukuj skrzynkę formierską	183
2. Zmieszaj składniki gumy i zalej skrzynkę formierską	184
3. Wyjmij formę	185
4. Zrób nacięcia w formie	185
5. Wyciśnij lecytynę sojową z kapsułek żelowych	186
6. Roztop czekoladę	186
Bambusowy parownik + szklana miska	187
Bambusowy parownik + miękka butelka dozująca (najlepszy sposób)	187
7. Pozwól czekoladzie ostygnąć	187
8. Zalej formę czekoladą	188
9. Włóż formę do lodówki	188
10. W tym czasie wydrukuj tacki	189
11. Ostrożnie wyjmij czekoladki z formy	189
22. Zbrodnia drukowania	191
Dodatek A Zasoby powiązane z drukiem 3D	193
Skorowidz	203

Wstęp

Powszechne wytwarzanie addytywne

Autor: **Anna Kaziunas France**

Zapraszam do lektury książki o drukowaniu przestrzennym. Jest to kompilacja najlepszych artykułów, jakie na ten temat ukazały się na łamach czasopisma „Make” i w powiązanych z tym piśmem serwisach internetowych. Zawarte w nich informacje zostały zaktualizowane i uzupełnione opisami najnowszych dokonań.

Wytwarzanie

Niniejsza książka zawiera teksty napisane przez ludzi, którym przypisuje się autorstwo terminu *powszechne wytwarzanie addytywne (additive personal fabrication)*, oznaczającego drukowanie obiektów trójwymiarowych w domu, w pracy i w szkole. Niektórzy z nich piszą nie tylko o tym, jak zrobić coś samodzielnie, lecz także podsuwają pomysły na zakładanie firm produkujących niewielkie ilości przedmiotów dających się wydrukować. Inni zaś opisują, jak produkują potrzebne im rzeczy za pomocą swojej biurkowej wytwórni.

„Największą wartością wytwarzania cyfrowego, podobnie jak komputeryzacji, jest indywidualizacja, czyli produkowanie na rynek jednoosobowy”.

— Neil Gershenfeld
„Foreign Affairs” Listopad/Grudzień 2012

W doniesieniach medialnych zazwyczaj mówi się wyłącznie o wytwarzaniu addytywnym, ale tak naprawdę jest ono tylko jednym z elementów fabrykacji cyfrowej. Jako wykładowca w Fab Academy, rozproszonym po całym świecie kursie szybkiego prototypowania, prezentuję rozmaite techniki wytwarzania cyfrowego, które do osiągnięcia właściwych rezultatów wymagają często stosowania metod subtraktywnych i odpowiednich urządzeń.

Oczywiście nie ogranicza to w żaden sposób kreatywności, na jaką pozwala drukowanie przestrzenne. Stosując trójwymiarowe skanowanie i drukowanie, jestem w stanie szybko wykonać spełniające określone wymagania (i często niezwłocznie potrzebne) przedmioty — elementy ubrania, artykuły dekoracyjne czy foremki.

Znaczenie takiego indywidualnego wytwórstwa jest mocno związane z dostępnością odpowiednich urządzeń. Połączenie łatwego dostępu do maszyn z kreatywnością użytkownika i działaniem pod presją czasu może prowadzić do interesujących rezultatów.

Podczas opracowywania rozdziału o skanowaniu w książce *Getting Started with MakerBot* (patrz rozdział 6.) wykonałam skan czaszki. Później wykorzystałam go do wyprodukowania naszyjnika złożonego z wielu czaszek (naszyjnika Kali) jako elementu stroju na Halloween. Dzięki temu, że miałam w domu dwie drukarki, byłam w stanie wykonać duży naszyjnik w ciągu jednego tygodnia, z tym że obie maszyny

pracowały bez przerwy. Ten sam skan posłużył mi także do formowania czekoladek w kształcie czaszki (pełny opis znajdziesz w rozdziale 21.).

Miesiąc później do naszyjnika Kali dodałam pas i ozdobiłam nimi czteroręczną rzeźbę, której nadałam nazwę „Autoportret — ja jako Kali” (patrz rysunek W.1). Samą rzeźbę wykonałam z kilku skanów własnego ciała połączonych cyfrowo w taki sposób, aby z jednego tułowia wyrastały cztery ramiona. Wszystkie ręce są pozbawione dłoni, przez co wydaje się, że przedmiotem skanowanym był stary i uszkodzony posąg. Ostateczny model złożyłam z 125 warstw wyciętych z półcalowej płyty pilśniowej o średniej gęstości (MDF). Do wycinania poszczególnych warstw użyłam dużej frezarki CNC (sterowanej numerycznie za pomocą komputera). Montaż i malowanie całości wykonałam ręcznie. Gotowa rzeźba z naszyjnikiem i pasem była wystawiana w wielu miejscach, takich jak RISD Museum czy pokaz rzeźby drukowanej przestrzennie „Bits to Its”.

Druk przestrzenny jest obecnie najbardziej dostępną dla przeciętnego użytkownika formą wytwarzania cyfrowego. Ceny drukarek 3D spadły na tyle, że wielu może sobie pozwolić na posiadanie takiego sprzętu w domu, a jakość druku, jaką można uzyskać, jest

już naprawdę bardzo wysoka. Ci, których nie stać na własną drukarkę lub muszą użyć materiałów innych niż tworzywo sztuczne, mogą skorzystać z usług wyspecjalizowanych firm, jakich coraz więcej można znaleźć za pośrednictwem internetu.

Świat produkcji indywidualnej rozwija się niezwykle szybko — a Ty jesteś teraz jego częścią!

Do kogo kierowana jest ta książka

Książka, którą trzymasz w ręku, jest adresowana do tych, którzy zamierzają tworzyć jedyne w swoim rodzaju obiekty przy użyciu drukarek 3D.

Jeśli druk przestrzenny jest dla Ciebie absolutną nowością i nie masz na ten temat żadnej wiedzy, powinieneś przeczytać tę publikację od pierwszej do ostatniej strony.

Jeśli masz już drukarkę 3D i potrafisz jej używać do odtwarzania projektów pobranych z internetu, ale chciałbyś pójść dalej i zacząć tworzyć własne projekty, możesz przestudiować tylko te rozdziały, które są poświęcone projektowaniu za pomocą programu Tinkercad i wykonywaniu przestrzennych



Rysunek W.1. Autoportret — ja jako Kali

skanów. Zajrzyj również do końcowych części, bo tam znajdziesz wiele wskazówek, jak poprawić wygląd trójwymiarowych wydruków.

Lepiej sobie radzisz z programami niż ze sprzętem? Jesteś projektantem, który potrzebuje wykonać prototyp opracowywanego obiektu w materiale innym niż plastik, lub po prostu nie stać Cię na biurkową drukarkę 3D? Jeśli tak, to zacznij lekturę tej książki od rozdziałów poświęconych materiałom i usługom drukarskim, aby poznać firmy gotowe wydrukować Twój projekt z przeróżnych materiałów.

Zawartość książki

Część I to przegląd urządzeń służących do drukowania przestrzennego. Są w niej opisy działania takich maszyn i ich możliwości.

Część II opisuje łańcuch oprogramowania niezbędny do zaprojektowania obiektu i urzeczywistnienia go w postaci wydruku.

Część III poszerza zagadnienie tworzenia modeli 3D o wskazówki na temat skanowania fizycznych obiektów i przygotowywania uzyskanych w ten sposób projektów do drukowania.

Część IV zawiera szereg informacji o rozmaitych tworzywach stosowanych jako budulec modeli drukowanych. Są w niej również informacje o innych materiałach (i metodach ich stosowania), począwszy od ceramiki, a na metalach skończywszy.

Część V wyjaśnia dlaczego i jak należy korzystać usług drukowania przestrzennego, zamiast używać własnej drukarki. Prezentuje też firmy świadczące tego typu usługi.

Część VI podpowiada techniki nadawania ostatecznego szlif drukowanym obiektom. Jest tam mowa o farbowaniu wydruków, uzupełnianiu ubytków i sklejananiu pęknięć, a także o sztucznym postarzeniu obiektów, aby wyglądały jak zniszczony metal.

Część VII zawiera prezentacje sporej liczby przedmiotów wyprodukowanych metodą wytwarzania addytywnego — od humanoidalnych robotów, przez skanowane dzieła artystyczne, po całkowicie zindywidualizowane protezy.

Część VIII opisuje inne metody wytwarzania obiektów trójwymiarowych, począwszy od frezowania, a skończywszy na tworzeniu bezpiecznych dla żywności foremek do produkcji czekoladek.

Anna Kaziunas France jest redaktorem w Maker Media, specjalizuje się w problematyce wytwórstwa cyfrowego. Jest również dziekanem ds. studenckich w Fab Academy i współautorką książki *Getting Started with MakerBot*. Wcześniej prowadziła kurs szybkiego prototypowania „Jak wyprodukować prawie wszystko” w ramach Providence Fab Academy. Więcej informacji na jej temat znajdziesz na *jej stronie internetowej* (<http://kaziunas.com>), a spora część jej projektów jest dostępna w serwisie *Thingiverse* (<http://thingiverse.com/akaziuna>).

Konwencje zastosowane w książce

W książce zostały zastosowane następujące konwencje typograficzne.

Czcionka pochylona — oznacza nowe pojęcia, adresy internetowe, nazwy plików i rozszerzenia ich nazw.

W taki sposób są zapisywane wskazówki, sugestie i ogólne uwagi.



Taka ikona oznacza ostrzeżenie lub pouczenie.

Korzystanie z przykładów

Książka ma być pomocna w realizacji określonych zadań. Jeśli znajdziesz w niej fragment kodu, który chciałbyś wykorzystać w swoich programach, możesz to zrobić bez zwracania się do nas z prośbą

o zgodę, chyba że będzie to cały program lub jego znaczna część. Przykładowo, pisząc program wykorzystujący kilka linii kodu z tej książki, nie musisz zabiegać o nasze zezwolenie. Sprzedawanie lub rozpowszechnianie bez naszej zgody płyt CD z przykładami pochodzącymi z książek wydawnictwa Maker Media jest nielegalne. Odpowiadanie na pytania przez cytowanie tej książki i przytaczanie zawartych w niej przykładów nie wymaga naszej zgody. Przenoszenie dużych partii tekstu z tej książki do dokumentacji jakiegось produktu wymaga naszej zgody.

Nie wymagamy, ale doceniamy podanie źródła cytowanego fragmentu. Zazwyczaj podaje się tytuł książki, autora, wydawcę i numer ISBN. Na przykład: *Make. Druk 3D* („Make”), Maker Media 2014, 978-1-457-18293-8.

W razie jakichkolwiek wątpliwości co do konieczności uzyskiwania naszej zgody prosimy o kontakt na adres bookpermissions@makermedia.com.

CZĘŚĆ I
Sprzęt

Podstawy drukowania przestrzennego



Wstępne informacje o budowie i oprogramowaniu drukarki 3D

Autor: **Bill Bumgarner**

Na początku roku 2012 zakupiłem drukarkę Ultimaker i zmontowałem ją, aby dołączyć do ciągle poszerzającego się grona wytwórców, którzy w warunkach domowych drukują trójwymiarowe obiekty. Była to przygoda dająca wiele satysfakcji i nie mniej rozczarowań. Piszę ten artykuł, aby podzielić się wiedzą, jakiej nabyłem podczas moich zmagania z drukiem przestrzennym w wydaniu „zrób to sam”. Skupimy się na drukowaniu modeli z różnego rodzaju tworzyw przy budżecie nieprzekraczającym 2,5 tysiąca dolarów.

Części wykonane z tworzywa są dobre jako prototyp ostatecznego wyrobu. Po wydrukowaniu i upewnieniu się, że pasują idealnie, można takie trójwymiarowe modele wysłać na przykład do firmy Shapeways, która wydrukuje je z metalu.

Większość omawianych tutaj drukarek można modyfikować i stosunkowo łatwo dostosować do własnych potrzeb. Programy sterujące ich pracą są niemal zawsze otwarte, chociaż w roli slicerów i modelerów używane są często programy komercyjne.

Wybór drukarki

Opisywane drukarki są narzędziami służącymi do *wytwarzania addytywnego*. Tworzą obiekty przez dodawanie kolejnych partii materiału, a to stanowi nowość w dziedzinie wytwarzania. Jest to na tyle ważna nowość, że administracja Baracka Obamy

powołała do życia Narodowy Instytut Innowacji Wytwarzania Addytywnego (NAMI), aby wspomóc innowacyjność na tym polu.

Powszechnie są stosowane trzy metody wytwarzania addytywnego: *fotopolimeryzacja* (zestawienie ciekłej substancji pod wpływem światła), *wiązanie materiałów granulowanych* (stapianie warstw proszku za pomocą lasera, gorącego powietrza lub innych źródeł ciepła) i *osadzanie roztopionych polimerów*, czyli MPD (wyciskanie roztopionego materiału warstwami w celu zbudowania pożądanego kształtu).

W skrócie metoda MPD, zwana też modelowaniem roztopionego materiału (FDM) lub wytwarzaniem ciekłego włókna (FFF), polega na przepychaniu włókna z tworzywa sztucznego (lub innego materiału, jak metal lub czekolada) przez rozgrzaną dyszę, która tworzy cienką strużkę roztopionego materiału i układa z niej kolejne warstwy modelu.

Najpopularniejsze i najdostępniejsze są drukarki MPD (choć godna uwagi jest również CandyFab wykonana przez EMSL, bo przecież każda drukarka pachnąca jak przypalany cukier zasługuje na szczególne zainteresowanie).

Drukowanie techniką MPD może być realizowane różnymi metodami, a różnice sprowadzają się głównie do sposobu umieszczania dyszy w miejscu, w którym powinno nastąpić osadzenie warstwy tworzywa.

Opcje zakupu — w całości, w częściach lub do samodzielnego wykonania

Bogatsi w wiedzę o metodach drukowania możemy przystąpić do wybierania drukarki! Na rynku jest wiele urządzeń gotowych do natychmiastowego użytku, których ceny zdecydowanie przekraczają

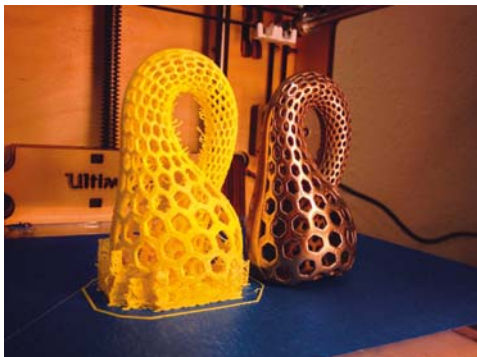
przyjęty przez nas budżet, ale są też takie, na które moglibyśmy sobie pozwolić. Przykładem może być drukarka Up3D (ta sama co opisana w podrozdziale „Afinia H-Series”, rozdział 2.). Jest to „gotowe do druku” urządzenie o bardzo małych wymaganiach obsługowych. Podobna jest drukarka Replicator firmy MakerBot, ale ma więcej funkcji i wymaga większego zaangażowania w obsługę.

Prototypy plastikowe

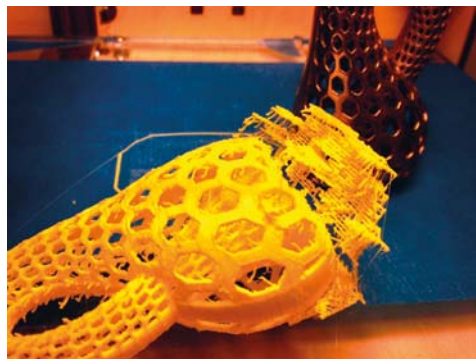
Piękny (i bardzo popularny) otwieracz w kształcie butelki Kleina jest doskonałym przykładem praktycznej realizacji procesu drukowania najpierw plastikowego prototypu, a potem metalowego produktu finalnego. Taki proces pozwala na przeprowadzenie wielu tanich testów przed podjęciem decyzji o wykonaniu wydruku ze znacznie droższego materiału.

Po lewej widoczny jest otwieracz wydrukowany z tworzywa, a po prawej znajduje się ten sam model wydrukowany ze stali nierdzewnej i mosiądzu przez firmę Shapeways. Możesz przez cały dzień cyzelować model i drukować jego następne wersje bez wydawania wielu pieniędzy (plastik potrzebny do wykonania jednego wydruku nie kosztuje więcej niż 1 dolara), by zlecić drukowanie go w wersji metalowej dopiero wtedy, gdy pod względem kształtu, rozmiarów i funkcjonalności będzie bez zarzutu.

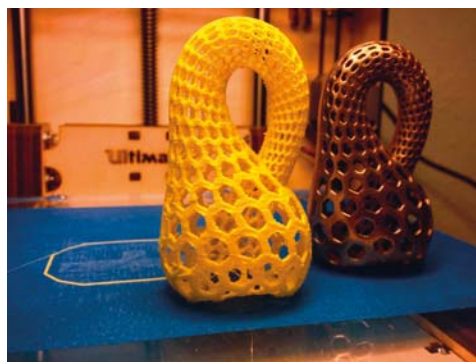
1. Próbnny wydruk otwieracza jest wciąż przytwierdzony do stolika drukarki za pomocą widocznej w dolnej części podpory



2. Usuwanie podpory



3. Obrobiony wydruk próbnny obok produktu finalnego



Jedna uwaga — kupując drukarkę w całości i gotową do natychmiastowego użycia, miej świadomość istnienia czegoś takiego jak plan biznesowy typu „maszynka i żyletka”. Drukarkę kupisz stosunkowo tanio, ale potem będziesz musiał kupować specjalne pojemniki z materiałami do drukowania, których ceny mogą być nawet dwa lub trzy razy wyższe w porównaniu ze średnimi cenami rynkowymi.

Jeśli chodzi o zestawy do samodzielnego montażu, możesz wybrać na przykład Printrbota lub Ultimakera. W obu przypadkach otrzymasz obszerną instrukcję montażu, a sam montaż dotyczy tylko części mechanicznych, bo cała elektronika jest już polutowana i gotowa do użycia.

Zainteresowani robieniem wszystkiego własnoręcznie mogą sięgnąć po drukarkę RepRap lub Rostock. Obie są dostarczane w postaci zestawów składających się z części wydrukowanych techniką 3D oraz elementów metalowych lub drewnianych. Są tam również podstawowe układy elektroniczne. Zestawy z wydrukowanymi elementami można zamówić w wielu miejscach (włącznie z portalem eBay). Dostępne są również zestawy komponentów mechanicznych i (lub) elektronicznych. Ogólnie, im bardziej nowatorska drukarka, tym więcej gotowych części trzeba zamówić.

W podrozdziale „Anatomia drukarki 3D” znajdziesz więcej informacji na temat konstrukcji drukarki 3D, działania systemów pozycjonowania i wyboru materiałów drukarskich.

Oprogramowanie

Procedurę przekształcania pomysłu w trójwymiarowy wydruk można podzielić na następujące etapy: *modelowanie* (lub *pozyskiwanie*), *porządkowanie*, *dzielenie na warstwy* i *drukowanie*. Każdy z tych etapów można zrealizować za pomocą wielu różnych programów.

Generowanie plików STL

Pliki STL stanowią język komunikacji w świecie druku przestrzennego. Jeśli jakaś aplikacja potrafi zapisać trójwymiarowy model w pliku STL, to taki model może być wydrukowany. Do generowania plików STL służą *programy CAD*. Jednym z bardziej popularnych jest *SketchUp* (<http://sketchup.com>), ale istnieje też wiele aplikacji typu open source, które są pod tym względem w pełni wartościowe.

Programy modelarskie nie należą do łatwych i opanowanie któregośkolwiek wymaga trochę czasu i samozaparcia. Jest to jednak niezbędne, aby wymyślony obiekt złożyć z podstawowych kształtów i brył w sposób umożliwiający późniejsze drukowanie. Na przykład każdy występ nachylony pod kątem większym od ok. 45° może być wydrukowany tylko z odpowiednią podporą (co oznacza zużycie dodatkowego materiału, który potem zostanie wyrzucony, wydłużenie czasu drukowania i konieczność dodatkowej obróbki wydrukowanego obiektu), bo inaczej plastik po prostu opadnie (dokładne warunki wprowadzania podpór zależą od konkretnej drukarki i konfiguracji slicera).

Modele można też generować za pomocą *parametrycznych programów CAD*, do jakich należy dość popularny *OpenSCAD* (<http://www.openscad.org/>). W takich programach zamiast rysować, piszesz kod w prostym języku, aby przekazać systemowi, co ma wykonać.

Pliki STL potrafią generować także niektóre programy matematyczne, na przykład Mathematica.

Modele można tworzyć również na podstawie zdjęć i filmów. Program o nazwie *123D Catch* (<http://123dapp.com/catch>), autorstwa firmy Autodesk, potrafi z serii zdjęć odtworzyć widoczny na nich obiekt w wersji trójwymiarowej. Firma Autodesk opracowała także program *123D Make* (<http://123dapp.com/make>), który tnie trójwymiarowy model na płaskie warstwy, co umożliwia skonstruowanie rzeczywistego obiektu z arkuszy papieru lub tektury.

Często zdarza się, że model, który chcemy utworzyć, ktoś już wykonał i udostępnił w internecie. Najpopularniejszym miejscem z takimi gotowymi modelami jest portal *Thingiverse* (<http://thingiverse.com/>), na którym można znaleźć wiele drukowalnych obiektów powszechnego użytku — podstawki pod telefon, zwijacz kabla od słuchawek, przegródki na sztućce, kwadrokoptery (tak, drukowane modele latające), części aparatów fotograficznych, rekwizyty do gier, drukowalne drukarki 3D itp. Na pewno każdy może wybrać tam co najmniej kilka pozycji jako dobry punkt wyjścia dla własnych modeli.

Warstwy

Slicer odpowiada za przekształcenie pliku STL w ciąg poleceń — kod G — dyktujących drukarce, gdzie ma ustawić głowicę i kiedy wycisnąć materiał roboczy. Jest to fragment łańcucha programowego związany z konkretną drukarką, od którego jakości zależy działanie całego urządzenia. Polecenia te powinny sterować silniczkami poruszającymi głowicę w taki sposób, aby zminimalizować możliwość powstawania niepożądanych artefaktów.

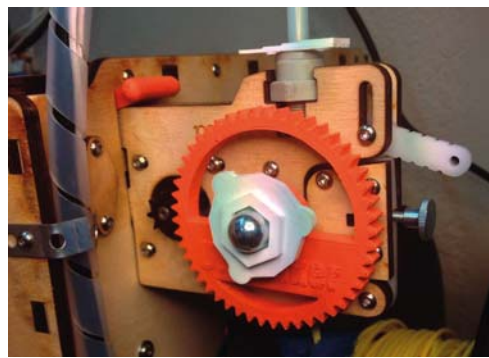
Plasterkowanie (*slicing* — podział obiektu na drukowalne warstwy) jest najważniejszą częścią procesu drukowania i wymaga starannego zrównoważenia jakości druku, jego szybkości i ilości zużywanego materiału. To właśnie od wyboru parametrów plasterkowania często zależy, czy rezultatem jest prawidłowy wydruk czy tylko beużyteczny kłęb spaghetti.

Porządkowanie

Na etapie *porządkowania* (*fixup*) model przeznaczony do drukowania jest sprawdzany pod kątem obecności błędów strukturalnych (z programów modelujących wychodzą czasami obiekty wyglądające prawidłowo, ale właśnie ze względu na niewłaściwą strukturę nienadające się do druku). Następuje też odpowiednie ustawienie i wyskalowanie modelu, a także powielenie, jeśli ma być drukowany w kilku egzemplarzach naraz. Bardzo często porządkowanie i plasterkowanie wykonuje ten sam program (który

Pięć części zamiennych wydrukowanych dla mojego Ultimakera

Te pięć części to: nowa przekładnia napędowa, gałka przytrzymująca zębatkę, zacisk cięgna Bowdena (biały element w górnej części zespołu wyciskarki), pomarańczowy element z lewej strony ustalający położenie wyciskarki i szpula do nawijania filamentu (niewidoczna na zdjęciu).



nierzadko jest również sterownikiem drukarki). Programy takie jak *Cura* (<http://wiki.ultimaker.com/cura>) i *Slic3r* (<http://slic3r.org/>) łączą plasterkowanie z elementarnym porządkowaniem, oferując możliwość obracania, skalowania i kopiowania obiektu. Znacznie bardziej rozbudowane procedury porządkujące zawiera komercyjny *netfabb* (<http://netfabb.com/>), który oczywiście umożliwi także ustawienie modelu i podzielenie go na warstwy (patrz „Porządkowanie i naprawianie skanów przeznaczonych do druku 3D” w rozdziale 6.).

Pierwsze drukowanie

Teraz, gdy już znasz podstawy drukowania przestrzennego i jesteś posiadaczem drukarki 3D (zakupionej w całości lub własnoręcznie złożonej), jak zabierzesz się do wytworzenia czegoś użytecznego (lub beużytecznego, ale za to pięknego)?

Najpierw musisz dobrze poznać swoje narzędzie. Jeśli to możliwe, pobierz i wydrukuj wszystkie części

zamiennie dla swojej drukarki. Dla mojego Ultimakera wydrukowałem wszystkie części wykonane z tworzywa — niektóre są pokazane na rysunku w ramce „Pięć części zamiennych wydrukowanych dla mojego Ultimakera”.

Potem pobierz i wydrukuj kilka użytecznych przedmiotów z kolekcji Thingiverse. Zacznij od czegoś małego — ale nie bardzo małego — jak związacz kabla od słuchawek, otwieracz do butelek czy nieskomplikowana postać. Wybierz rzecz, dla której dużo użytkowników zamieściło zdjęcia uzyskanych wydruków [w zakładce *Made* (wykonane)]. Zaczynając od modeli sprawdzonych i zilustrowanych fotografiami, będziesz mógł porównać swoje dzieło z osiągnięciami innych, a to pozwoli Ci szybciej dostrzec i naprawić ewentualne błędy (zazwyczaj są to błędy w ustawieniach slicera).

Każda drukarka wydaje charakterystyczne dźwięki, gdy pracuje prawidłowo, i zmienia je, gdy coś idzie nie tak. Umiejętność rozpoznawania tych dźwięków może pomóc w zidentyfikowaniu problemu, zanim stanie się on naprawdę poważny. Ja, nawet gdy jestem w innym pomieszczeniu, wiem, że z moim Ultimakerem dzieje się coś niedobrego, bo wyraźnie mi to sygnalizuje.

Przyjrzyj się budowie poszczególnych modeli. Największą trudnością w tworzeniu trójwymiarowych modeli jest wykreowanie takiego obiektu, którego konstrukcję da się zapisać w formie ciągu poleceń — „narysuj linię prostą i krzywą”, „wytłocz tę powierzchnię”, „zaokrąglij ten narożnik”, „wytnij tutaj otwór”. Jeśli znajdziesz w portalu Thingiverse modele zapisane w formacie dopuszczającym ich edycję, sprawdź, czy potrafisz nadać im cechy odpowiadające Twoim potrzebom.

Przy tworzeniu modeli od podstaw niezbędnym narzędziem jest suwmiarka. W wersji elektronicznej z cyfrowym odczytem pomiaru i dokładnością 0,01 mm kosztuje nie więcej niż 20 dolarów. Spróbuj wykreować wieszak lub hak o takich wymiarach, aby dobrze pasował do obiektu, na którym miałby być zamontowany (powiedzmy, że będą

to drzwi od szafy). Zrób to choćby po to, aby nauczyć się posługiwać suwmiarką i sprawdzić, czy w całym procesie drukowania wymiary tworzonego obiektu są zachowywane.

Nie miałym wyzwaniem jest też nabycie umiejętności myślenia o wytwarzanym przedmiocie w kategoriach drukarskich. Jak już wspominałem, obiekty z elementami nachylonymi pod kątem większym niż 45° muszą być drukowane z odpowiednimi podporami zapobiegającymi opadaniu materiału roboczego. Zauważ, że mostek — prosty kawałek plastiku nad prześwitem — daje się łatwo wykonać, ale należy go tak drukować, aby pierwsza jego warstwa znalazła się wewnątrz obiektu i była niewidoczna.

W większości slicerów można włączyć funkcję tworzenia podpór, ale najczęściej wiąże się to ze zwiększonym zużyciem materiału roboczego i koniecznością usuwania tych podpór po zakończeniu drukowania. W drukarkach dwugłowicowych można jedną głowicę przeznaczyć do drukowania modelu z tworzywa PLA lub ABS, a drugiej przydzielić drukowanie podpór z rozpuszczalnego w wodzie polimeru PVA. Usunięcie takich podpór jest stosunkowo proste, bo wystarczy włożyć wydruk do wiadra z wodą i pozostawić go tam na całą noc.

Trzeba również umieć dobrać właściwą grubość ścianki drukowanego obiektu. Obiekty o cienkich ściankach wyglądają elegancko, ale jeśli te ścianki będą zbyt cienkie, mogą szybko ulec uszkodzeniu. Oczywiście umiejętność właściwego doboru tego parametru przychodzi wraz z praktyką i doświadczeniem.

Anatomia drukarki 3D

Każda drukarka 3D składa się wielu elementów, z których niektóre są stałe, a inne ruchome.

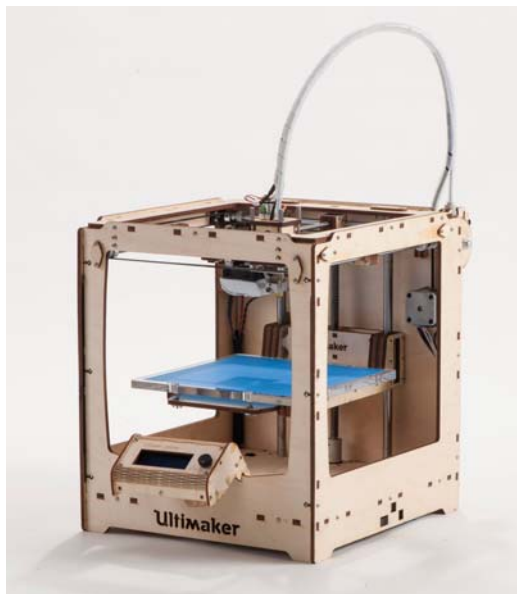
System pozycjonowania

Drukarka musi być zdolna do ustawienia głowicy drukującej w dowolnym punkcie przestrzeni roboczej, ale nie oznacza to wcale, że ruchoma musi być tylko głowica.

Poruszać możemy zarówno głowicą, jak i stolikiem, i może się to odbywać na kilka sposobów. Obecnie stosowane są powszechnie trzy mechanizmy.

Suwnica

Głowica jest przemieszczana w płaszczyźnie XY, a stolik przesuwa się tylko wzdłuż osi Z. Tak działają drukarki Ultimaker (rysunek 1.1) i MakerBot Replicator (rysunek 1.2), ale na tym kończy się podobieństwo między nimi. W Replicatorze głowica drukująca zawiera zarówno gorącą końcówkę, jak i wyciskarkę, a w Ultimakerze końcówka łączy się z wyciskarką za pośrednictwem przewodu Bowdena. Układ Replicatora jest prostszy, a mniejsza masa głowicy Ultimakera pozwala na ruchy z większymi szybkościami (co z kolei wymaga dodatkowych zabiegów konserwacyjnych).



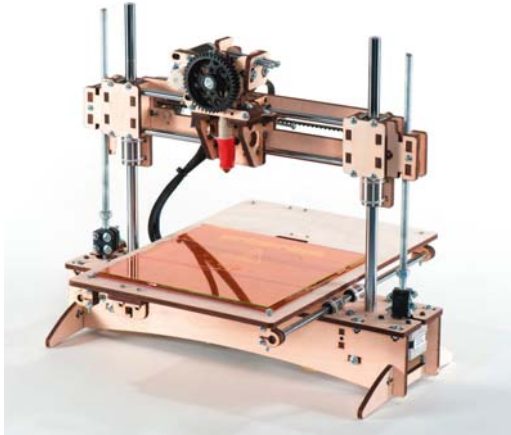
Rysunek 1.1. *Ultimaker*



Rysunek 1.2. *Replicator*

Ruchomy stolik

W tej wersji ruchy w płaszczyźnie XY wykonuje stolik, a wzdłuż osi Z przesuwana jest głowica. Takie rozwiązanie jest mechanicznie prostsze, ponieważ ruchy wzdłuż osi X i Y są całkowicie niezależne i jednostajne. Jego wadą jest natomiast konieczność poruszania znacznie cięższego elementu i ryzyko obluźowania się drukowanego obiektu. Mechanizm jest prostszy, ale drukowanie wolniejsze. Przykładami drukarek z ruchomym stolikiem, które wolniej drukują, ale też mniej kosztują, są modele Printbota (rysunek 1.3).

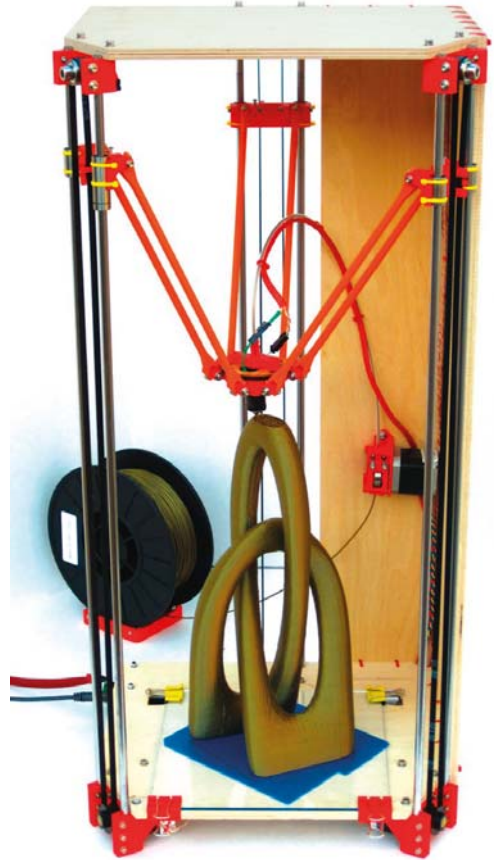


Rysunek 1.3. *Printrbot*

Robot Delta

Mechanizm ten jest często stosowany w przemysłowych robotach typu „chwycić i umieścić”. Składa się z trzech ramion podtrzymujących głowicę narzędziową i ruchy tych ramion wyznaczają położenie głowicy. Pierwszą drukarkę działającą w oparciu o ten trudny do objaśnienia mechanizm skonstruował Johann Rocholl. Drukarka nosi nazwę Rostock i wygląda trochę jak sonda kosmiczna (rysunek 1.4).

W drukarkach Rostock (jak dotąd) stosowany jest przewód Bowdena w celu oddzielenia gorącej końcówki od wyciskarki, dzięki czemu pozycjonowanie głowicy odbywa się bardzo szybko i dokładnie. Wadą tego rozwiązania jest większa złożoność sterownika — pozycjonowanie nie jest realizowane za pomocą liniowego ciągu kolejnych kroków ze względu na nieliniowość ruchów końcówki wzdłuż osi pionowej i na płaszczyźnie poziomej.



Rysunek 1.4. *Rostock*

Elementy drukarki 3D

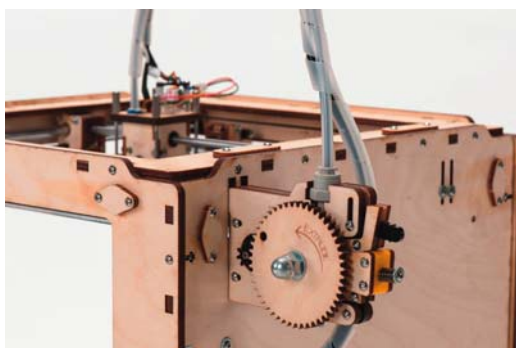
Stolik

Stolik jest tą częścią, na której spoczywają obiekty drukowane. Może mieć temperaturę otoczenia lub podwyższoną przez podgrzewanie. Stolik niepodgrzewany zazwyczaj jest oklejany taśmą malarską, co widać na przykładzie drukarki Ultimaker (rysunek 1.1). Obiekt drukowany przywiera do tej taśmy. Stolik podgrzewany, taki jak w drukarce Printrbot (rysunek 1.3), utrzymuje wydruk w podwyższonej temperaturze, co zapobiega odkształcaniu się tworzywa wskutek zbyt szybkiego stygnięcia. W zależności od zastosowanego materiału temperatura stolika może być utrzymywana na poziomie 40–110°C.

Warto w tym miejscu dodać, że cała przestrzeń robocza drukarki jest strefą raczej mało przyjazną dla naszych palców (czego dowodem są liczne bąble na moich palcach).

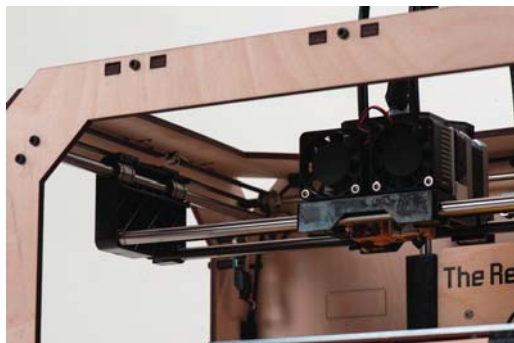
Wyciskarka

Wyciskarka nie jest tym elementem, który wytryskuje tworzywo. Ona tylko podaje włókno (filament) do gorącej końcówki. Obie części — wyciskarka i końcówka — mogą być zintegrowane lub oddzielne. W tym drugim przypadku wyciskarka podaje tworzywo do końcówki za pośrednictwem sztywnego przewodu teflonowego (PTFE), montowanego jak pancerz cięzna Bowdena (patrz rysunek 1.5).



Rysunek 1.5. Wyciskarka z przewodem Bowdena

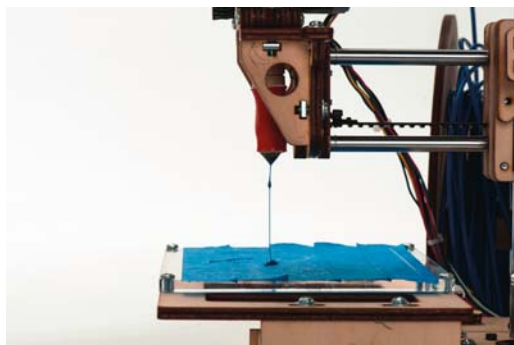
Drukarki z podwójną głowicą (rysunek 1.6) umożliwiają drukowanie dwoma różnymi materiałami (lub w różnych kolorach) jednocześnie, ale odbywa się to kosztem większej złożoności (i ceny), ponieważ potrzebne są do tego dwie końcówki, dwie wyciskarki i podwójna liczba łączących je elementów. Niektóre drukarki, na przykład Ultimaker, są przystosowane do zamontowania drugiej głowicy, ale w innych jest to niemożliwe.



Rysunek 1.6. Replicator z podwójną głowicą drukującą

Gorąca końcówka

Gorąca końcówka składa się z grzałki, czujnika temperatury i dyszy, przez którą wypychany jest roztopiony materiał roboczy (rysunek 1.7). Wszystkie te elementy są zazwyczaj zamknięte w aluminiowej puszcze lub zespolone w jeden element o bezkształtym kształcie.



Rysunek 1.7. Gorąca końcówka drukarki Printrobot

Współpraca gorącej końcówki z wyciskarką — bez względu na to, czy są zintegrowane czy połączone przewodem Bowdena — bywa czasami problematyczna, przy czym dużo zależy tu od właściwego wyregulowania drukarki. Średnica otworu dyszy zawiera się w przedziale od 0,2 do 0,8 mm. Im mniejszy jest otwór, tym dokładniejszy otrzymujemy wydruk, ale też dłużej trwa drukowanie.

Filament

Filament jest „pożywieniem” dla drukarki 3D. Tak jak drukarka atramentowa musi być zaopatrzona w tusz, tak drukarce 3D trzeba dostarczać odpowiedniego filamentu.

Wybór filamentu

Istnieje kilka rodzajów tworzyw sztucznych, które nadają się do stosowania z drukarkami typu MPD. Każde z tych tworzyw ma swoje wady i zalety. Ja używam wyłącznie tworzyw PLA, ponieważ są mało toksyczne i w miarę przyjazne dla środowiska.

Nie wszystkie drukarki są w stanie przyjąć każdy materiał, choćby z powodu różnych temperatur topnienia, które mogą wynosić od 160 do 305°C. Drukarka przeznaczona do druku z tworzyw PLA i ABS z maksymalną temperaturą 250°C może sobie nie poradzić z tworzywem o temperaturze topnienia 300°C.

Najpopularniejszymi tworzywami stosowanymi w drukarstwie przestrzennym są PLA, ABS i PVA (więcej informacji na temat tych i innych materiałów znajdziesz w rozdziałach 8. i 9.).

ABS

Tworzywo ABS (kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy) jest najtańsze spośród wymienionych wyżej i zazwyczaj jest wyciskane w temperaturze 215–250°C. Najlepiej nadaje się do drukarek z podgrzewanym stolikiem, bo wykonany z niego wydruk nie ulega wtedy odkształceniom. Roztopione, wydziela łagodne opary, które mogą być szkodliwe dla wrażliwych na nie ludzi i zwierząt (radzę używać wyciągu oparów!). ABS jest tworzywem uniwersalnym. Może być piaskowane, a w połączeniu z acetonem daje się łatwo sklejać i polerować.

PLA

PLA [poli(kwas mlekowy)] jest tworzywem biodegradowalnym, otrzymywanym głównie z kukurydzy i ziemniaków. Jego temperatura druku zawiera się w przedziale od 160 do 220°C. Po

podgrzaniu pachnie jak słodka, prażona kukurydza. Jest sztywniejsze niż ABS. Wprawdzie nie wymaga stolika podgrzewanego (wystarczy taśma malarska), ale podczas stygnięcia lubi się nieco zdeformować, więc taki stolik jest jak najbardziej wskazany. Istnieje też elastyczna odmiana PLA, trudniejsza w użyciu, ale pozwalająca tworzyć obiekty miękkie jak gąbka.

PVA

PVA [poli(alkohol winylu)] jest tworzywem stosowanym w drukarkach wielogłowicowych jako materiał podporowy. Jego temperatura topnienia wynosi ok. 190°C, jest rozpuszczalne w wodzie i doskonale nadaje się do drukowania podpór w skomplikowanych modelach z wieloma wypustkami. PVA wchłania wodę jak gąbka, co stwarza problemy w środowiskach o dużej wilgotności.

Inne materiały

Drukarki MPD są na ogół przystosowane do pracy z tworzywami sztucznymi, ale bez większych przeszkód można je dostosować do innych materiałów. Popularne jest montowanie głowicy typu strzykawka, która potrafi dozować takie materiały jak czekolada, lukier czy wszelkiego rodzaju kleje.

Etap następny — co drukować?

Gdy już nabierzesz pewnej wprawy w drukowaniu przestrzennym, świat nowych możliwości stanie przed Tobą otworem. Wiele przedmiotów, które wydrukowałem, rozdałem rodzinie i znajomym jako prezenty. Koszty są niewielkie, a możliwość obserwacji zdziwienia, gdy mówisz: „Sam to wydrukowałem. Chcesz? W innym kolorze? Nie ma sprawy. Ile sztuk ci wydrukować?”, jest bezcenna! Za pomocą mojego Ultimakera wydrukowałem wiele przydatnych drobiazgów, z których kilka pokazałem na rysunkach 1.8 do 1.15.



Rysunek 1.8. Zastępcza nakrętka na dużą butelkę Jacka Daniel'sa (<http://thingiverse.com/thing:18194>)



Rysunek 1.9. Uchwyt na narzędzia niezbędne do obsługi Ultimakera (<http://thingiverse.com/thing:18098>)



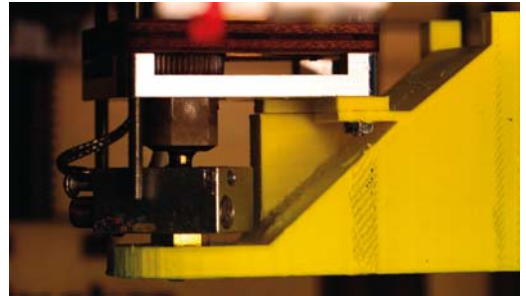
Rysunek 1.10. Obudowa minikomputera Raspberry Pi (<http://thingiverse.com/thing:25363>)



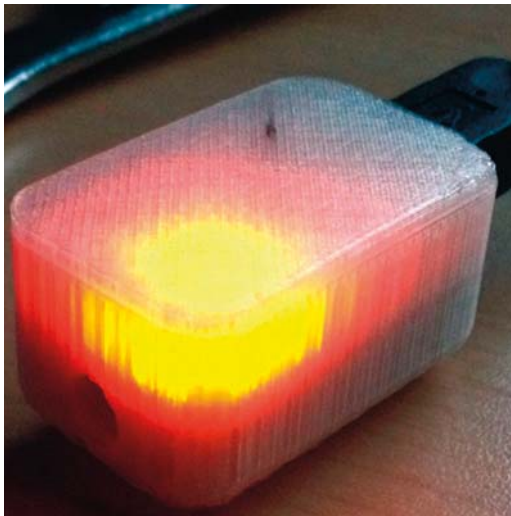
Rysunek 1.11. Kolczyki w kształcie muszli łodzika (<http://thingiverse.com/thing:13450>)



Rysunek 1.12. Pojemniki do zimowej uprawy ziół i salaty metodą aeroponiczną (<http://thingiverse.com/thing:32613>)



Rysunek 1.13. Oslona wentylatora z podkładką dystansową (<http://thingiverse.com/thing:16530>)



Rysunek 1.14. Obudowa dla przełącznika sygnałów podczerwieni zbudowanego na bazie mikrokontrolera Teensy (<http://thingiverse.com/thing:19315>)



Rysunek 1.15. Przegródki do szuflady dla syna, który podjął wysiłek uporządkowania wszystkich moich wkrętów i śrubek (<http://thingiverse.com/thing:32614>)

Bill Bumgarner nie boi się wysokich napięć, gotuje za pomocą wody i ognia, hoduje mikroby, łamie kody, zbiera z synem robaki i stara się zmusić rzeczy do robienia czegoś, do czego nie są przeznaczone.

Przegląd drukarek 3D

2

Praktyczne testy 11 drukarek 3D

We wrześniu 2012 roku redakcja czasopisma „Make” poprosiła Matta Griffina, aby zgromadził zespół testerów sprzętu służącego do drukowania przestrzennego w celu wydania opinii na temat aktualnego stanu tych urządzeń.

Zespół zbadał 15 najlepiej zapowiadających się drukarek typu FFF, jakie były w tym czasie dostępne na rynku. Były to urządzenia pracujące w oparciu o najbardziej rozpowszechnioną metodę druku trójwymiarowego, polegającą na budowaniu obiektu warstwa po warstwie z roztopionego tworzywa sztucznego. W ramach tych testów spojrzeliśmy zarówno wstecz — aż do roku 2010 — jak i w przyszłość, bo kilka drukarek dopiero oczekiwało na oficjalną premierę rynkową, jaka miała nastąpić za

kilka tygodni podczas targów World Maker Faire w Nowym Jorku.

Od tego testu wiele się zmieniło — na rynku pojawiły się nowe drukarki, niektóre z wówczas testowanych przestały być produkowane, a większość przeszła liczne modernizacje. W niniejszym rozdziale przytaczam wyniki testów 11 spośród tamtych drukarek, które są nadal produkowane. Najbardziej aktualne testy znajdziesz w najnowszym wydaniu „Make: Ultimate Guide to 3D Printing” (<http://makezine.com/volume/make-ultimate-guide-to-3d-printing/>). Jeśli chcesz się dowiedzieć, jak przebiega badanie drukarki 3D od momentu wyjęcia jej z pudła, kontynuuj czytanie!



Rysunek 2.1. Podczas testów pomieszczenia redakcji „Make” zmieniły się w kłębówisko drukarek i maniaków druku przestrzennego

Wydruki testowe

Oto obiekty, które były drukowane podczas testów.

Wąż



Autor: **Zomboe** (<http://thingiverse.com/thing:4743>)

Ta reinterpretacja klasycznej drewnianej zabawki zawiera giętkie żebra, które są znakomitym sprawdzianem dokładności pracy drukarki zarówno w poziomie (czy żebra są równo rozmieszczone i całkowicie kompletne?), jak i w pionie (czy każda kolejna warstwa jest dokładnie ułożona na poprzedniej?).

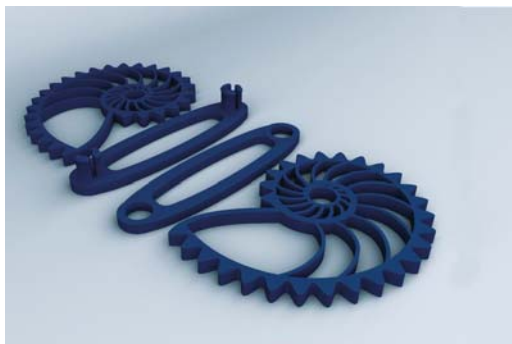
Figurka sowy



Autor: **Tom Cushwa** (<http://thingiverse.com/thing:18218>)

Cushwa, autor tego projektu, opracowując pióra i inne szczegóły figurki, posłużył się techniką przypominającą tradycyjne rzeźbienie w kamieniu. Przy właściwie skonfigurowanej drukarce uzyskał znakomity rezultat. Drukarki zacinające się na takich detalach raczej nie nadają się do drukowania postaci i obiektów rzeźbionych.

Przekładnia łożdżikowa



Autor: **Misha T.** (<http://thingiverse.com/thing:27551>)

Przekładnia łożdżikowa jest klasycznym modelem do testowania precyzji drukarek 3D. Szybko się ją drukuje i natychmiast można stwierdzić, czy jedna spirala dokładnie zazębia się z drugą — wystarczy sprawdzić, czy bez zacinania da się wykonać kilka obrotów.

Wymagający tester wymiarowości



Autor: **Cliff L. Biffle** (<http://makezine.com/3dprinting>)

Aby stworzyć istną „maszynę tortur” dla drukarek 3D — model stanowiący prawdziwe wyzwanie dla wszystkich urządzeń typu FFF — inżynier Cliff L. Biffle opracował frankensteinowe wręcz monstrum zawierające w jednym małym pakiecie wszystko, z czym drukarka może mieć problemy. Elementy cienkie i grube, pochyłości i występy, dołki o ściśle określonych rozmiarach, łuki i wystające pręty zmuszą każdą drukarkę do pokazania, na co ją stać.

Afinia H-Series



- <http://afinia.com>
- Autorem tekstu jest Keith Ozar
- Test przeprowadzili Keith Ozar i Eric Weinhoffer

Kompaktowa seria H jest odmianą drukarki UP! Plus firmy PP3DP przeznaczoną na rynek amerykański. Ma pojedynczą głowicę drukującą i może być sterowana przez komputer z systemem Mac lub Windows za pośrednictwem portu USB. Jedynymi kontrolkami są tu przycisk inicjalizacji i migająca lampka sygnalizacyjna. Mimo tej prostoty jest to zadziwiająco sprytne urządzenie, idealne zwłaszcza dla początkujących.

Drukarka ma wymiary 10×10×14 cali, waży 11 funtów i jest solidnie skonstruowana. Nabywca otrzymuje ją złożoną i na przygotowanie do pracy potrzebuje zaledwie paru minut. Dzięki przejrzystej instrukcji użytkownika czynności takie jak załadowanie filamentu, wypoziomowanie stolika i kalibracja urządzenia okazały się bardzo proste i nie przysporzyły żadnych problemów.

Oprogramowanie, w jakie wyposażono drukarkę, dzieli obiekt na warstwy, generuje podpory, tworzy kopie i może to robić dla kilku obiektów naraz,

a wszystko odbywa się automatycznie. Gdy wszystko jest już gotowe, wystarczy tylko kliknąć *Print* (drukuj).

Jakość druku okazała się całkiem niezła — byliśmy zaskoczeni znakomitą wykładnią pierwszego wydruku (węża). Następne wydruki, w tym również sowa, potwierdziły tę opinię — wszystkie kany były ostre, występy prawidłowe, a odpowiednie płaszczyzny były naprawdę poziome i pionowe. Test wymiarowy wykazał zaledwie 1% odchyłki z zaniżeniem wymiarów otworów, ale to mogło być również skutkiem kurczenia się tworzywa ABS. Afinia okazała się także urządzeniem niezawodnym i niewymagającym ciągłego nadzoru podczas pracy.

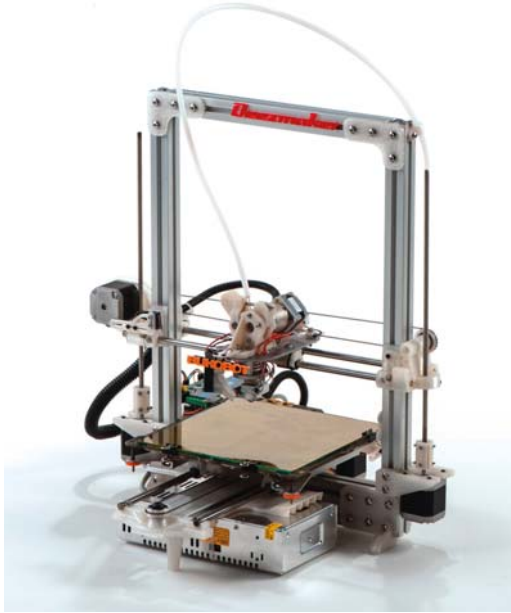
Jej mankamentem jest brak jakiegokolwiek gniazda obsługującego kartę pamięci lub pendrive'a. Drukować można za pośrednictwem komputera połączonego z drukarką kablem USB, ale połączenie to można przerwać, gdy tylko proces drukowania zostanie rozpoczęty.

Lampki kontrolne sygnalizujące stan drukarki są zrozumiałe, ale tylko z instrukcją obsługi w rękę. Wyraźnie brakowało nam panelu sterującego z wyświetlaczem. Dźwięki wydawane przez maszynę w chwili rozpoczynania druku jako żywo przypominały nam cofającą ciężarówkę, ale już samo drukowanie odbywało się całkiem cicho.

Mimo że pracuje wolniej niż większość testowanych drukarek, Afinia zyskała nasze uznanie. Zaraz po rozpakowaniu i przy fabrycznie ustawionej rozdzielczości 0,2 mm uzyskaliśmy za jej pomocą jedno z najlepiej wyglądających wydruków testowych.



Bukobot 8



- <http://deezmaker.com>
- Autorem tekstu jest Matt Griffin
- Test przeprowadzili Matt Griffin i John Abella

Testowana przez nas drukarka Bukobot 8 Vanilla ma pojedynczą głowicę drukującą, ale dostępna jest również wersja dwugłowicowa o nazwie Duo. Przygotowanie jej do pracy zajęło nam nie więcej niż pół godziny, a załączona dokumentacja zawierała większość potrzebnych do tego wskazówek, chociaż zabrakło nam informacji na temat szybkości przesyłania danych.

Znakomitą rzeczą okazały się drukowane krążki napinacza linki, które umożliwiły wprowadzanie bardzo małych zmian w ustawieniu głowicy. W testowanym urządzeniu nie było czytnika kart SD, ale nowsze wersje już go zawierają, co pozwala na drukowanie bez komputera. Głowica Budaschnozle ma blokadę docisku ułatwiającą wymianę filamentu w trakcie drukowania.

Chociaż wydawało nam się, że suwnica jest prostopadła do stolika, były problemy z właściwym przyleganiem drukowanego obiektu do stolika. Pomogło

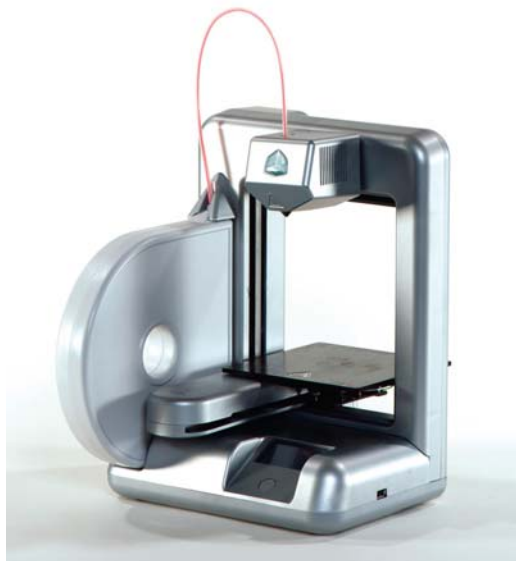
dopiero oklejenie tego ostatniego taśmą malarską — zabieg stosowany powszechnie w urządzeniach drukujących z tworzywa PLA. Przyleganie poprawiło się na tyle, że bez trudu udało nam się wyprodukować ładnie wyglądający model węża. Użyliśmy do tego celu dołączonego do drukarki filamentu Diamond Age PLA firmy Printbl.

Najlepsze rezultaty uzyskaliśmy po zamontowaniu dodatkowej dmuchawy schładzającej najwyższą warstwę tworzywa. Wyniki testu wymiarowości były obiecujące — wprawdzie z powodu złej przyczepności odłamał się kawałek tuku, ale wszystkie ściany pionowe i poziome wyszły prawidłowo.

Ogólnie drukarka wypadła w teście lepiej niż przeciętnie. Szczególne możliwości ujawniła podczas drukowania figurki sowy i choć inne drukarki zrobiły to jeszcze lepiej, pokazała, że w rękach sprawnego operatora może naprawdę wiele i w swojej klasie cenowej będzie trudna do pokonania.



Cube



- <http://cubify.com/cube>
- Autorem tekstu jest Matt Griffin
- Test przeprowadzili John Abella i Matt Griffin

Drukarka Cube wyróżnia się przede wszystkim wyglądem. Żadnej sklejki, luźnych przewodów ani opasek zaciskowych — sprawia wrażenie raczej typowego sprzętu AGD niż hackerskiej zabawki. Podobny poziom dopracowania reprezentuje także załączona do niej instrukcja obsługi.

Testowany sprzęt okazał się bogato wyposażony w udogodnienia takie jak możliwość drukowania za pośrednictwem łącza WiFi lub przez USB, sterowanie za pomocą panelu z ekranem dotykowym i rzecz, o której nie pomyśleli inni producenci, a mianowicie specjalny klej Magic Cube Glue.

Drukarkę można podłączyć do lokalnej sieci WiFi, ale nam udało się nawiązać z nią połączenie za pośrednictwem sieci tymczasowej (*ad hoc network*). Jednak żeby skorzystać z tej opcji, urządzenie musi być odłączone od wszystkich innych sieci.

Tak jak większość drukarek przystosowanych do drukowania obiektów z tworzywa ABS Cube ma podgrzewany stolik, co poprawia przyleganie i za-

pobiega deformacji nakładanego plastiku. W razie zbyt słabego przylegania obiektu do stolika można zastosować wspomniany wyżej „magiczny” klej, który potem można łatwo usunąć, bo jest dobrze rozpuszczalny w wodzie.

Za pomocą ekranu dotykowego można ustawić wysokość dyszy, parametry łącza WiFi i inne szczegóły. W trakcie drukowania wyświetlany jest tutaj stopień zaawansowania procesu oraz kilka innych informacji o stanie drukarki.

Przy ustawieniach fabrycznych drukarka pracowała dość wolno. Domyślnie obsługuje tzw. tratwy (*rafts*) i konstrukcje podporowe, co wydłuża czas zarówno samego druku, jak i obróbki postprodukcyjnej, ale obie te funkcje przydały się w większości wydruków testowych. Każdą można wyłączyć, lecz wtedy trzeba się liczyć z pogorszeniem jakości wydruku. Jednak w przeciwieństwie do innych drukarek oprogramowanie Cube’a nie pozwala na manipulowanie parametrami tych funkcji — można je tylko włączyć lub wyłączyć.

Oprogramowanie Cubify obsługuje standardowe pliki STL, a także pliki we własnym formacie *.creation*. Na stronach internetowych firmy 3D Systems można takie pliki nabyć. Do każdej drukarki dodawanych jest 25 projektów zapisanych w takich właśnie plikach. Do drukowania konieczne są specjalne kartridże z filamentem, które można kupić tylko w 3D Systems. Koszt ok. 0,5 kg nadającego się do użytku tworzywa ABS wynosi 50 dolarów, a więc jest większy niż u innych dostawców.



Felix 1.0



- <http://felixprinters.com>
- Autorem tekstu jest Eric Chu
- Test przeprowadzili Eric Chu i Brian Melani

Drukarka Felix zawiera elektronikę RAMPS 1.4, ma sztywną ramę wykonaną z aluminiowych kształtowników i oferuje dużą przestrzeń roboczą. Złożenie jej zajęło nam więcej niż szacowane 5–10 godzin, a przecież nie robiliśmy tego po raz pierwszy.

Dostarczana z drukarką wersja oprogramowania Repetier zawiera slicery Skeinforge oraz Slic3r i do użytkownika należy wybór, który z nich ma podzielić model zapisany w pliku STL na przekrojowe warstwy. Dostępny jest również zestaw gotowych profili dla tych slicerów.

Pewną trudność sprawiły nam wypoziomowanie stolika i ustawienie głowicy w osi Z. Aby poluzować nakrętki na wszystkich trzech śrubach służących do poziomowania stolika, musieliśmy użyć klucza.

Wyłącznik krańcowy dla ruchu głowicy w osi Z jest typu optycznego i reaguje na przesłonięcie wiązki promieniowania podczerwonego. Zamontowana na wyłączniku dioda LED powinna wtedy zgasnąć, ale nasza tylko przygasła, co utrudniało dokładne ustalenie właściwej wysokości głowicy nad stolikiem

w stanie wyjściowym. Na szczęście nie było kłopotów z naprężaniem pasków odpowiedzialnych za przesuwanie głowicy wzdłuż osi X i Y — każdemu z nich jest przypisana tylko jedna śruba napinająca.

W wyciskarce drukarki zastosowano sprężynowy mechanizm docisku łożyska kulkowego do filamentu i zębátky. Właściwą siłę docisku uzyskaliśmy dopiero po ustawieniu łożyska w położeniu, przy którym styka się ono z zębátką jeszcze przed wprowadzeniem filamentu.

Felix działa dość szybko. Jakość druku jest dobra, pod warunkiem że paski są odpowiednio naprężone i pionowa śruba pociągowa dobrze ustawiona, przy czym najtrudniejsze jest ustawienie właśnie tej śruby, a wszelka niedokładność ujawni się w postaci schodkowych przejść między kolejnymi warstwami — efekt znany jako *drganie Z* (*Z wobble*).

Testowana drukarka została zaprojektowana z myślą o drukowaniu z tworzywa PLA. Wprawdzie stolik jest podgrzewany, ale brak jakichkolwiek osłon nie pozwala na osiągnięcie temperatury potrzebnej dla tworzyw takich jak ABS. Po kilku wydrukach stolik wymagał ponownego poziomowania, a przez cały czas musieliśmy uważać, by go nie zdeformować, bo aluminiowa blacha, z jakiej jest wykonany, nie jest zbyt sztywna.

Największą zaletą tego urządzenia jest bardzo cicha praca. Polimerowe tuleje DryLin ślizgają się po szynach tak pewnie i cicho, że nawet przy dużych prędkościach nie wywołują większego hałasu.



MakerGear M2



- <http://makergear.com>
- Autorem tekstu jest Paul Leonard
- Test przeprowadził Paul Leonard

Rama drukarki jest wykonana ze stali nierdzewnej, a pozostałe elementy konstrukcyjne są z anodowanego aluminium. Przestrzeń robocza ma wymiary 8×10×8 cali i należy do największych w swojej kategorii cenowej. Wszystkie części są wykonane niezwykle starannie i całość pracuje bardzo dobrze.

Napędzana silniczkiem krokowym wyciskarka jest bezpośrednio połączona z głowicą. Podgrzewany stolik składa się z korkowej warstwy izolacyjnej, poliamidowego elementu grzejnego, laserowo grawerowanego aluminium i płytki z borokrzemianowego szkła.

Drukarką steruje płyta główna UltiMachine RAMBo, będąca unowocześnioną wersją popularnej płyty RAMPS. Obsługuje ona również podwójne wyciskarki, więc dołożenie drugiego zestawu wyciskarki z głowicą nie wymaga wymiany elektroniki.

Zestaw montażowy jest bardzo dobrze przygotowany i zawiera wszystkie niezbędne narzędzia z wyjątkiem klucza nastawnego. Instrukcja też jest bardzo ładna — animowane filmiki, rysunki złożeniowe,

dokładne opisy ważnych etapów montażu — ale zdarzają się też dezorientujące niedopowiedzenia. Na szczęście wsparcie techniczne firmy MakerGear udziela szybkich odpowiedzi na kanałach IRC.

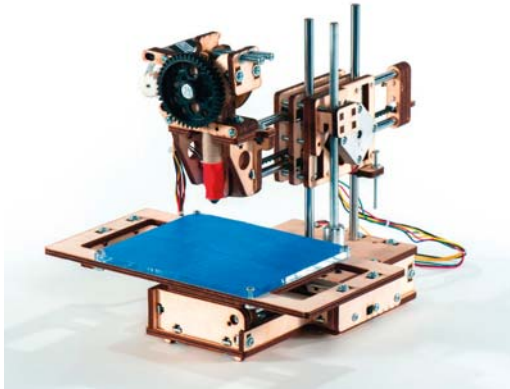
Montaż jest prosty — rozpakowanie, wyregulowanie wyłączników krańcowych, zainstalowanie oprogramowania i przygotowanie wszystkiego do wydrukowania załączonych modeli przykładowych zajmuje nie więcej niż godzinę. Potrzebny jest tylko solidny stół, ponieważ metalowa konstrukcja drukarki jest dość ciężka, a przy większych prędkościach druku wpada w lekkie wibracje.

M2 jest dostarczana wraz z czytnikiem kart i kartą SD z przykładowymi plikami kodu G, dzięki czemu można od razu sprawdzić, czy urządzenie działa prawidłowo. Dołączona jest także 1-kilogramowa szpula filamentu PLA. Chociaż wszystkie podzespoły są fabrycznie skalibrowane, aby dobrze drukować, trzeba się pewnych rzeczy nauczyć. Dlatego radzę jeszcze przed uruchomieniem drukarki przejrzeć grupy dyskusyjne MakerGear, aby dowiedzieć się więcej o ustawieniach i dostępnych opcjach drukowania, a szczególnie o możliwościach stosowania rozmaitych materiałów i uzyskiwaniu z nich różnych powierzchni.

Gdy ustawiłem wyłączniki krańcowe dla osi Z i dokładnie wypoziomowałem stolik, M2 drukowała znakomicie. Eksperymentowałem z różnymi grubościami nakładanych warstw, prędkościami druku i temperaturami głowicy, ale i tak nie przetestowałem jeszcze wszystkich możliwości tej maszyny. Mogłem przecież pobawić się ustawieniami oprogramowania, aby jeszcze bardziej poprawić jakość druku, a nawet unowocześnić i rozbudować samo urządzenie, bo jest ono do tego przystosowane.



Printrbot Jr. (v1)



- <http://printrbot.com>
- Autorami tekstu są Lyra Levin i Matt Griffin
- Test przeprowadzili Lyra Levin, Cliff L. Biffle, Emmanuel Mota i Blake Maloof

Jedną z najmniejszych i najtańszych drukarek 3D, Printrbot Jr., jest pomniejszoną wersją pierwotnego Printrbota (niektóre większe drukarki prawdopodobnie byłyby w stanie wydrukować pełnowymiarowy model tego urządzenia bez dzielenia go na części).

W pełni rozłożona z powodzeniem mieści się w rogu przeciętnego biurka, a jej przestrzeń robocza ma wymiary 4×4×4 cale. Po złożeniu na czas transportu objętość drukarki maleje o co najmniej jedną trzecią, a większość łatwych do uszkodzenia elementów jest dobrze chroniona przez stolik. W takim stanie można ją łatwo schować do plecaka.

Urządzenie jest dostarczane z typowym zasilaczem PC ATX, ale można też zastosować zasilanie za pomocą akumulatora litowo-polimerowego (LiPo) jako opcję dodatkową, pozwalającą na drukowanie nawet w plenerze. Kilka ostatnich testów przeprowadziliśmy przy użyciu akumulatora z kwadrokoptera (konieczne było lutowanie) i ze zdziwieniem stwierdziliśmy, że z powodzeniem moglibyśmy wydrukować te modele choćby na szczycie jakiejś góry.

Podstawową cechą drukarki jest niewątpliwie prostota konstrukcji i chociaż jest dostarczana jako

zmontowana, na filmach Drumma¹, pokazujących jak szybko można ją rozmontować i zmontować, wyraźnie widać, że liczba części ruchomych została tutaj ograniczona do minimum.

W dążeniu do maksymalnej prostoty Drumm zrezygnował z wielu dodatkowych funkcji. Drukarka Jr. obsługuje tylko filament typu PLA, nie ma podgrzewanego stolika ani dmuchawy i ma uproszczony system suwnicowy.

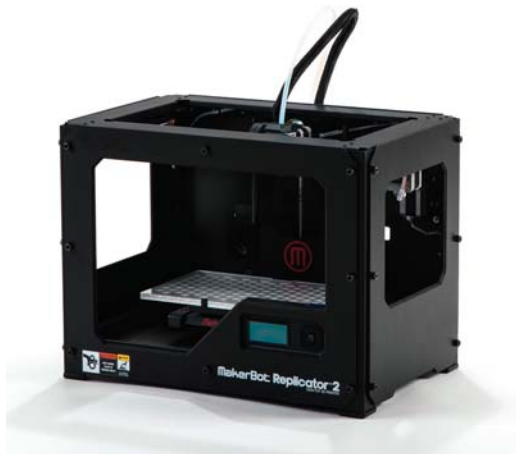
Pierwsze wydruki uznaliśmy oficjalnie za „niezłe”. Licząc na coś więcej, starannie wypoziomowaliśmy stolik i sprawdziliśmy, czy dysza porusza się równoległe do jego powierzchni.

Najtrudniejszy model udało nam się wydrukować w miarę przyzwoicie dopiero za trzecim razem, ale i tak chyba ustawienia slicera były zbyt zachowawcze, jeśli chodzi o grubość warstw, bo obiekt wyszedł dość szorstki. Poza tym drukarka wyciskała więcej tworzywa, niż to było konieczne, czego skutkiem są niewłaściwe kształty otworów i pionowych słupków. Natomiast wydrukowana przekładnia łożdżkowa zadziałała natychmiast po złożeniu, a to świadczy o tym, że drukarka jest w stanie tworzyć cienkie i stabilne ścianki.



¹ Brook Drumm jest założycielem i właścicielem firmy Printrbot — *przyp. tłum.*

Replicator 2



- <http://makerbot.com>
- Autorem tekstu jest Emmanuel Mota
- Test przeprowadzili Emmanuel Mota i Eric Weinhoffer

Dzięki większej szybkości, cichości i minimalnej grubości warstwy wynoszącej zaledwie 100 mikrometrów drukarka Replicator 2 w pełni zasługuje na oznaczenie 2.0. Ma nową, stalową ramę, łożyska ślizgowe z brązu nasączonego olejem, o 37% większą przestrzeń roboczą i jest zoptymalizowana pod kątem tworzywa PLA.

Wygląda nowocześnie i elegancko. Całą ramę ma pomalowaną proszkowo na kolor czarny. Stylem przypomina poprzednią wersję Replicatora, ale ma powiększoną przestrzeń roboczą. Większy i bardziej rozbudowany panel sterujący pozwala na lepsze konfigurowanie i monitorowanie pracy urządzenia.

Nowością jest też tzw. zimna pauza (*Cold Pause*), czyli możliwość przerywania druku i ostudzenia głowicy, a potem wznowienia go w dowolnej chwili.

Inną interesującą, choć chyba mniej przydatną funkcją jest możliwość wybrania koloru LED-owego oświetlenia wnętrza drukarki. W przestrzeni roboczej Replicatora 2 znajduje się łatwo demontowalny stolik z matowego szkła akrylowego przystosowany specjalnie do pracy z tworzywem PLA (polilaktydem).

Jeśli pominiemy czas potrzebny na podgrzanie stolika, Replicator 2 osiąga temperaturę roboczą szybciej niż wszystkie wcześniejsze drukujące z ABS-u urządzenia firmy MakerBot.

Poziomowanie stolika jest teraz łatwiejsze, a zawdzięczamy to nowemu, trzypunktowemu systemowi poziomowania. Zamiast czterech śrub regulacyjnych w poszczególnych rogach stolika mamy trzy ustawione w trójkąt i wystarczy obracać tylko dwiema z nich, aby stolik zajął właściwe położenie.

Udoskonalenia mechaniczne zostały uzupełnione całkiem nowym oprogramowaniem. Program Replicator G został zastąpiony aplikacją o nazwie MakerWare z przejrzystszym i bardziej intuicyjnym interfejsem, który umożliwia skalowanie, obracanie i ustawianie wielu modeli na płaszczyźnie roboczej. Do wyznaczania poziomych przekrojów modelu służy teraz będący częścią MakerWare slicer Miracle-Grue, który działa znacznie szybciej niż Skeinforge.

Przygotowanie Replicatora 2 do pracy — od wyjęcia z pudła do uruchomienia pierwszego wydruku — było łatwe i zajęło nam niecałe 15 minut, łącznie z mocowaniem wyciskarki i załadowaniem filamentu.



Solidoodle 2



- <http://solidoodle.com>
- Autorem tekstu jest Ethan Hartman
- Test przeprowadzili Ethan Hartman i Eric Chu

Założycielem firmy Solidoodle jest Sam Cervantes, który wcześniej pracował w przedsiębiorstwie MakerBot. W swoich urządzeniach zastosował to, co zdążyło stać się już standardem, a mianowicie elektronikę *Sanguinololu* (<http://reprap.org/wiki/Sanguinololu>) i program Repetier Host.

Aby utrzymać niską cenę drukarki, wprowadził kilka uproszczeń, które w większości wyszły jej na dobre. Ramą urządzenia jest zespawany prostopadłościan. Wałki są mocowane za pomocą opasek zaciskowych. Niektóre wsporniki i inne elementy zostały wydrukowane i wyglądają okropnie, ale tak to już jest z drukarkami typu RepRap. (Byłoby dobrze, gdyby cyfrowe modele tych elementów były dostępne — tak na wszelki wypadek). Całość nie jest najładniejsza, ale w końcu wygląd nie powinien mieć wpływu na funkcjonalność, a prostotę i oszczędność można uznać za zaletę.

W pudle nie znajdziesz tyłu kolorowych wsporników co w opakowaniu nowego produktu firmy Apple, bo są tam tylko rzeczy naprawdę niezbędne: zmontowana drukarka, kabel USB, drukowana instrukcja obsługi, zapasowy arkusz folii kaptonowej i niewielka porcja filamentu ABS o grubości 1,75 mm.

(Drukarka obsługuje również tworzywo PLA, lecz zalecane jest ABS).

Jest jednak kilka szczegółów, na które trzeba uważać. Przy zamontowanej metalowej obudowie nie da się załadować ani wymienić filamentu, więc trzeba się posłużyć śrubokrętem, ale całą operację demontażu należy przeprowadzić bardzo ostrożnie, bo przez zbyt mocne odchylenie górnej części można uszkodzić złącze USB znajdujące się w tylnej części drukarki.

A jak to urządzenie drukuje? Nie najgorzej, chociaż lekkie podregulowanie mogłoby wiele poprawić. Jedyny profil konfiguracyjny dostarczony z tą drukarką dał rezultaty nieco gorsze od średniej jakości wydruków uzyskanych z testowanych przez nas urządzeń. Temperatura głowicy wydała nam się zbyt duża, mimo że w ustawieniach było zaledwie 190°C. Tworzone warstwy były lekko pofałdowane, a występy trochę obwisłe. Pióra sowy okazały się jednymi z najbrzydszych w całym teście.

Sytuacja poprawiła się nieco po obniżeniu temperatury, ale żeby ją dobrze wyregulować, trzeba było poświęcić trochę czasu. Na szczęście drukarka pracowała pewnie i szybko, więc gdy tylko odkryliśmy, że temperaturę zarówno głowicy, jak i stolika trzeba ustawiać ręcznie, nie mieliśmy już problemów. Jeśli chodzi o poziomowanie stolika, ustawienie fabryczne okazało się całkiem prawidłowe.

Zajrzyj na strony internetowe poświęcone tej drukarce, a zobaczysz, że społeczność jej użytkowników ciężko pracuje nad poprawieniem domyślnego profilu. Dużo udoskonaleń znajdziesz na przykład w serwisie <http://solidoodletips.wordpress.com>.



Type A Series 1



- <http://typeamachines.com>
- Autorem tekstu jest Eric Weinhoffer
- Test przeprowadzili Eric Weinhoffer i Keith Ozar

Drukarka Series 1 firmy Type A Machines jest jedną z największych w naszym teście. Jej konstruowanie rozpoczęła w sierpniu 2011 roku niewielka grupa zapaleńców pod kierunkiem Andrew Ruttera i we współpracy z hackerami należącymi do społeczności Noisebridge i TechShop. Podczas targów Maker Faire Bay Area 2012 zespół mógł się już pochwalić kilkoma egzemplarzami tego urządzenia.

Series 1 jest produktem otwartym, co oznacza, że każdy może pobrać pliki z modelami części składowych drukarki, zbudować ją samodzielnie i modyfikować według własnych pomysłów. Podobnie jak MakerBotowy Replicator 2 drukarka Series 1 jest zoptymalizowana pod kątem druku z tworzywa PLA.

Przestrzeń robocza tej drukarki jest tak duża (1,2 litra), że postanowiliśmy w ramach testu wydrukować dodatkowo pełnowymiarowy model kapelusza. Duża objętość umożliwia również drukowanie wielu elementów naraz. Platforma konstrukcyjna jest wykonana z laserowo ciętego akrylu, a jej położenie w pionie ustalają cztery śruby regulacyjne umieszczone w narożnikach. Za pomocą tych śrub można stolik wypoziomować, a w celu zdemonto-

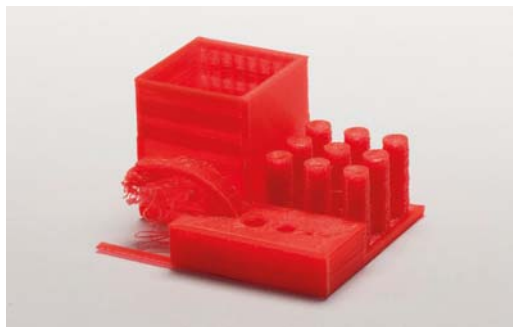
wania należy go po prostu przesunąć do siebie — aby łby śrub mogły przejść przez większy otwór — i podnieść.

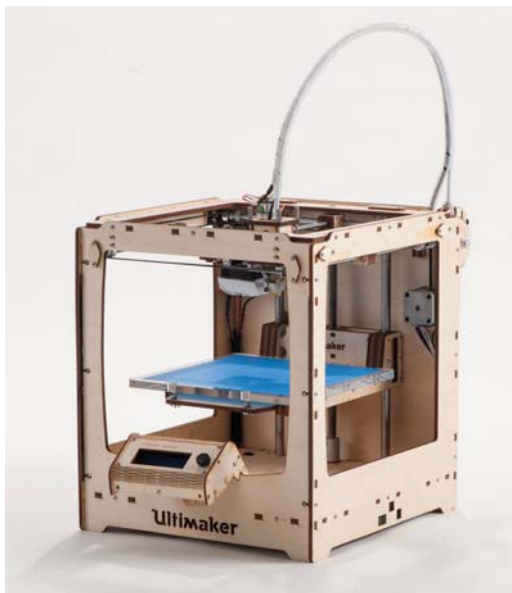
Wymiana filamentu jest bardzo łatwa — wystarczy przesunąć w tył dźwignię i wysunąć stary filament, a potem wsunąć nowy i przesunąć dźwignię do przodu. Dostęp do całego mechanizmu wyciskarki jest bardzo dobry, więc uporanie się z ewentualnymi problemami nie powinno być trudne.

Istotną zaletą drukarki Series 1 jest jej szybkość. Według jej twórców może ona osiągnąć prędkość druku 90 mm/s przy prędkości przesuwu głowicy 250 mm/s. Jest również dość dokładna — całkiem ładne wydruki tworzy przy grubości warstwy 0,1 mm, a można tę grubość jeszcze zmniejszyć do 0,05 mm (50 mikrometrów), kiedy to efekt schodkowania warstw przestaje być zauważalny.

W naszym teście drukarka ta spisła się bardzo dobrze. Duży stolik pozwolił na wydrukowanie wszystkich elementów przekładni łożyskowej za jednym razem, figurka sowy wyszła cudownie, a wydrukowanie perfekcyjnego węża nie było żadnym wielkim wyzwaniem. Jednak podobnie jak wiele innych drukarek Series 1 nie poradziła sobie z cienkim łukiem naszego wymagającego testera wymiarowości.

Series 1 ma też wady. Testowany przez nas egzemplarz pracował bardzo głośno, zwłaszcza przy dużych prędkościach przesuwu, ale wydaje się, że tę niedogodność można by w dużym stopniu zmniejszyć przez nasmarowanie ruchomych elementów i mocniejsze dokręcenie śrub.





- <http://ultimaker.com>
- Test przeprowadzili i opisali John Abella, Eric Chu i Matt Griffin

Firma Ultimaker została założona w Holandii przez jednego z najaktywniejszych zwolenników i propagatorów idei RepRap, którego wsparli Siert Wijnia i Martijn Elserman. Pierwszy zestaw do samodzielnego montażu został sprzedany na początku 2011 roku. Od tego czasu firma wciąż się rozrasta i obecnie jej załoga liczy już ponad 20 osób.

Drukarka Ultimaker była jedyną w naszym teście, która miała głowicę odseparowaną od wyciskarki, a filament był podawany poprzez przewód Bowdena. Przy takim rozwiązaniu wszystkie silniczki pracują stacjonarnie, a porusza się jedynie lekka głowica. Pozwala to na zwiększenie prędkości wydruku przy jednoczesnym „odchudzeniu” systemu suwnicowego.

Opracowane na nowo części, włącznie z nową głowicą V2, świadczą o ciągłym dążeniu do udoskonalenia sprzętu i wydłużenia jego żywotności. Elektronika była zmieniana i udoskonalana wiele razy. Testowany przez nas egzemplarz był wyposażony w panel sterujący, tzw. UltiController, który pozwalał

zmieniać w locie temperaturę i prędkość drukowania, a także umożliwiał drukowanie bezpośrednio z kart SD, monitorowanie pracy sprzętu i wykonywanie rozmaitych zabiegów obsługowych bez łączenia drukarki z komputerem.

Ultimaker może drukować z ABS-u i PLA, z tym że twórcy dali pierwszeństwo temu drugiemu tworzywu i nie zaprojektowali podgrzewanego stolika, który jest niemal konieczny przy drukowaniu dużych obiektów z ABS-u.

Ultimaker to doskonały sprzęt dla tych, którzy lubią wiedzieć, co się dzieje pod maską. Każdy sprzedawany zestaw zawiera najnowsze podzespoły, a użytkownik może w każdej chwili wymienić stary podzespół na nowszy, gdy tylko taki zostanie opracowany i udostępniony.

Przygotowanie drukarki do pracy było umiarkowanie łatwe. Poziomowanie stolika jest tu mniej skomplikowane niż w niektórych innych drukarkach i nie musi być często powtarzane. Paski napędowe odpowiadające za ruch głowicy wzdłuż osi X i Y można naprężyć za pomocą zwykłego wkrętaka imbusowego i również nie ma potrzeby robić tego często, ale za to nie ma łatwego sposobu na dokładne ustawienie wyłącznika krańcowego dla osi Z.

Po właściwym wyregulowaniu urządzenia uzyskaliśmy wydruki naprawdę dobrej jakości — dobrze skalibrowana drukarka Ultimaker jest najdokładniejsza ze wszystkich, jakie są oferowane do samodzielnego montażu. Wąż i sowa wyszły znakomicie, ale wymagający tester wymiarowości miał mnóstwo plastikowych włosów, co w dużym stopniu było spowodowane domyślnym wyłączeniem retrakcji.



John Abella jest zapalonym hobbystą i entuzjastą druku przestrzennego. W roku 2010 był gospodarzem działu drukarek 3D podczas targów World Maker Faire w Nowym Jorku. Obecnie prowadzi warsztaty, których uczestnicy uczą się składać i eksploatować drukarki przestrzenne (patrz <http://botbuilder.net>).

Cliff L. Biffle jest inżynierem pracującym w Google i członkiem kalifornijskiego hackerspace'u z siedzibą w Oakland. Dla niego nauka jest formą aktywności.

Eric Chu jest wychowankiem MAKE Labs, studentem wydziału inżynieryjnego, hackerem, konstruktorem robotów i amatorem smażonego ryżu.

Matt Griffin jest kierownikiem ds. kontaktów z klientami w Adafruit Industries, byłym menedżerem społeczności w MakerBot i autorem mającej się wkrótce ukazać książki *Design and Modeling for 3D Printing*.

Ethan Hartman pracuje w firmach technicznych jako specjalista ds. obsługi klientów i dokumentacji. Od roku 2009 do sierpnia 2012 pracował w MakerBot.

Lyra Levin jest wspinaczką, akrobatką, gimnastyczką, początkującą adeptką parkouru i motocyklistką ścigającą się na motorze Ninja 500. Jest też pasjonatką budowania różnych rzeczy i członkiem zrzeszenia Ardent Heavy Industries, propagującego wychowanie techniczne.

Blake Maloof jest projektantem gier w firmie Toys For Bob (Skylanders).

Brian Melani w wolnych chwilach konstruuje 120-funtowe roboty. Jest praktykantem w redakcji czasopisma „Make”.

Emmanuel Mota jest kierownikiem Maker Campu w Maker Media, filmowcem, fotografem i maniakiem komputerowym. Drukowaniem przestrzennym zajmuje się od 2012 roku, kiedy to zbudował od podstaw drukarkę typu RepRap.

Keith Ozar pochodzi z nowojorskiego Brooklynu i zawodowo zajmuje się marketingiem. Wymyśla rozmaite projekty ukazujące możliwości druku przestrzennego, aby w ten sposób zachęcić konstruktorów do jeszcze większego wysiłku na rzecz rozwijania tej technologii.

Eric Weinhoffer jest inżynierem pracującym w Maker Shed na stanowisku technologa. Posiada i używa drukarki 3D od 2009 roku, kiedy to rozpoczął staż w MakerBot.

CZĘŚĆ II

Oprogramowanie

Programy komputerowe dla druku przestrzennego

3

Przegląd programów służących do projektowania modeli, cięcia ich na warstwy i drukowania

Autorzy: **Matt Mets i Matt Griffin**

Jesteś szczęśliwym posiadaczem błyszczącej nowością drukarki 3D, i nawet masz znakomity pomysł na swój pierwszy wydruk... a zatem?

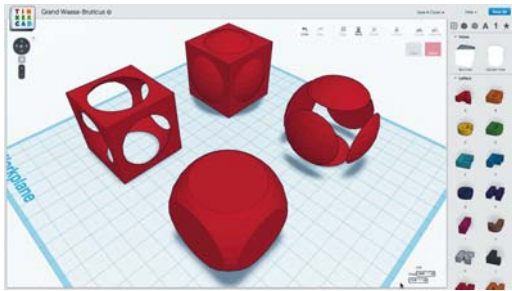
Żeby móc cokolwiek zaprojektować i wydrukować, potrzebujesz jeszcze trzech programów komputerowych. Pierwszy posłuży Ci do wymodelowania obiektu. Chodzi tu o to, co tradycyjnie nazywa się *projektowaniem wspomaganym komputerowo* (CAD — *computer-aided design*). Drugi, zaliczany do kategorii *wspomaganego komputerowo wytwarzania* (CAM — *computer-aided manufacturing*) i zwany popularnie slicerem, przekształci Twój model w sekwencję mechanicznych poleceń dla drukarki. Trzeci, sterujący bezpośrednio pracą drukarki i nazywany *programem klienckim*, prześle te polecenia do drukarki w odpowiednim czasie i umożliwi Ci ustawianie oraz monitorowanie parametrów jej pracy.

Programy do modelowania 3D

Wybór aplikacji służącej do modelowania obiektów trójwymiarowych jest chyba najważniejszą decyzją w procesie kompletowania całego oprogramowania druku 3D. Programów takich jest wiele, ale można je podzielić na cztery podstawowe kategorie: *bryłowe*, *rzeźbiarskie*, *parametryczne* i *siatkowe*. Wszystkie

umożliwiają zamianę pomysłu w konkretny projekt, lecz jedne są wygodniejsze do projektowania, powiedzmy części maszyn, a w innych łatwiej rzeźbi się modele, na przykład żywych istot.

Programy do modelowania bryłowego wykorzystują przeważnie metodę konstruktywnej geometrii bryły (CSG — *constructive solid geometry*) lub inne pokrewne techniki, aby generować złożone formy przestrzenne. Popularnymi i zupełnie darmowymi aplikacjami tego typu są między innymi SketchUp, Autodesk 123D i Tinkercad (który uruchamia się całkowicie w przeglądarce internetowej, co widać na rysunku 3.1, a procedura posługiwania się nim jest opisana w rozdziale 4.). W modelowaniu bryłowym ostateczny obiekt uzyskuje się przez manipulowanie obiektami podstawowymi, tzw. prymitywami, i w miarę potrzeby łączenie ich za pomocą operacji boolowskich. Przykładowo puste pudełko można wymodelować z dwóch różniących się lekko rozmiarami prostopadłościanów przez umieszczenie mniejszego w większym i zastosowanie operacji odejmowania.



Rysunek 3.1. Podstawowe operacje boolowskie zilustrowane w programie Tinkercad. W kolejności od tyłu ku przodowi są to: suma, dwie różnice oraz część wspólna kuli i sześcianu

Programy do modelowania bryłowego mają trzy istotne zalety. Po pierwsze, samo modelowanie bryłowe jest bardziej intuicyjne od pozostałych metod i dla początkujących modelarzy jest łatwiejsze do opanowania. Po drugie, interfejsy takich programów zazwyczaj umożliwiają łatwe ustalenie precyzyjnych wymiarów, co ma duże znaczenie przy modelowaniu rozmaitych mechanizmów. I po trzecie, programy te automatycznie dbają o wiele aspektów spójności i integralności („wodoszczelności”) modelowanych obiektów bez względu na stopień złożoności tych ostatnich.

Programy rzeźbiarskie, takie jak ZBrush, Sculptiris i Mudbox, oferują narzędzia do cięcia, rozciągania, skręcania i ściskania, za pomocą których można swobodnie kształtować modelowane obiekty. Doskonale nadają się do formowania obiektów organicznych, takich jak ludzkie twarze, ale nie do modelowania precyzyjnych mechanizmów, czy choćby zwykłych płaskich powierzchni. Dla początkujących rzeźbiarzy godnym polecenia może być Sculptiris (patrz rysunek 3.2), skromniejszy brat drogiego ZBrusha. (Narzędzia rzeźbiarskie są dostępne również w wielu programach do modelowania siatkowego, takich jak Blender, Modo czy Maya).



Rysunek 3.2. Sculptiris rozwijany przez firmę Pixologic umożliwia kształtowanie modeli w sposób przypominający rzeźbienie w glinie. Narzędzia mają tu też stosowne do tego nazwy: *crease* (zmarszcz), *inflate* (rozedmij), *smooth* (wygładź), *pinch* (ściśnij), *flatten* (spłaszcz)

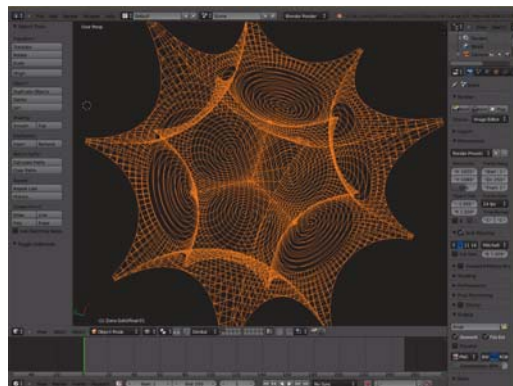
Programy do modelowania parametrycznego, takie jak OpenSCAD, są dość nietypowe, bo zamiast rysować obiekt za pomocą myszy, definiujemy go przez wpisywanie poleceń określających zarówno poszczególne składniki, jak i sposoby ich łączenia. Każdy wymiar da się tu ustalić z dużą precyzją, więc łatwo można tworzyć obiekty, które takiej precyzji wymagają, na przykład wszelkiego rodzaju części urządzeń mechanicznych.

Modelowanie parametryczne może też służyć do tworzenia dzieł artystycznych. ModelBuilder Mariusa Wata czy Grasshopper, graficzny edytor obiektów dla Rhino, doskonale nadają się do generowania nieoczekiwanych i abstrakcyjnych form przez przekształcanie innych obiektów i przetwarzanie danych według czysto matematycznych wzorów. W studiu sztuki generatywnej Nervous System modelowanie parametryczne jest używane do kreowania skomplikowanych kształtów organicznych, których praktycznie nie dałoby się wymodelować ręcznie (patrz rysunek 3.3).



Rysunek 3.3. Bransoletka „Convolution” (splot) wykonana ze stali nierdzewnej w studiu Nervous System jako rezultat symulacji sił w sieci komórek

W programach do modelowania siatkowego obiekt ma tylko powierzchnię, która jest reprezentowana przez siatkę złożoną z tysięcy małych trójkątów. Najbardziej znanymi aplikacjami tego typu są Blender (patrz rysunek 3.4), 3ds Max, Maya i Modo. Znakomicie sprawdzają się one w grafice 3D i animacji, a zastosowane do druku przestrzennego wymagają większej uwagi, bo trzeba kontrolować, czy siatki są spójne i wodoszczelne (tzn. czy nie brakuje jakichś wielokątów i czy nie występują luźne wierzchołki). Jeśli model jest niespójny, slicer może mieć problemy z ustaleniem, co jest wnętrzem obiektu, a co jego zewnętrzem, i może w ogóle odmówić przetwarzania takiego obiektu albo wygenerować kod G z poważnymi błędami.



Rysunek 3.4. Blender jest darmowym, opensource’owym programem do modelowania siatkowego. Ma olbrzymie możliwości, ale nauka posługiwania się nim nie należy do najłatwiejszych

Programy do modelowania siatkowego zapewniają niezwykle wysoki poziom kontroli nad kształtem opracowywanego obiektu, lecz nauka posługiwania się nimi nie jest łatwa. Obowiązujące w nich zasady modelowania są często mało intuicyjne, jak stosowanie czworoboków (zamiast trójkątów lub wieloboków), tworzenie ciągów krawędzi w celu szybkiego manipulowania modelem przez stosowanie cięć pojedynczą krawędzią lub całą pętlą krawędzi czy zagęszczanie siatki, aby dała się lepiej wygładzić i zyskała wygląd bardziej organiczny. Szczegółowe omówienia tych zagadnień można znaleźć w wielu materiałach szkoleniowych, jakich jest pełno w internecie. Dla niedoświadczonego jeszcze modelarza obejrzenie kilku filmów instruktażowych pokazujących skuteczne i sprawdzone techniki modelowania jest najlepszym sposobem na zaoszczędzenie czasu i nerwów.

Opracowany w programie CAD model należy zapisać w pliku, najlepiej od razu w formacie STL. Niekiedy — a to zależy zarówno od programu, jak i stopnia złożoności modelu — może się zdarzyć, że plik taki będzie zawierał błędy w postaci dziurawej powierzchni modelu czy odwróconych normalnych i przed wysłaniem go do drukarki, trzeba takie usterki naprawić. Niektóre programy CAM wychwytyują tego typu błędy automatycznie, a niektóre — na przykład Slic3r — uruchamiają własne procedury naprawcze

i próbują doprowadzić model do stanu używalności. Niestety, nie zawsze im się to udaje i nie można na nich tak do końca polegać. Zawsze lepiej zrobić to samemu lub skorzystać z programu MeshLab, zaawansowanej aplikacji typu open source, która zawiera skuteczne narzędzia analizujące i naprawcze, ale dla początkującego użytkownika może być trudna do opanowania.

Jedne programy modelarskie są lepsze do projektowania rozmaitych mechanizmów, a inne nadają się bardziej do rzeźbienia postaci i obiektów organicznych.

Po nabyciu pewnego doświadczenia w drukowaniu przestrzennym można rozważyć zakup komercyjnego narzędzia do analizowania i naprawiania plików STL, jakim jest program netfabb Studio. W wersji Basic dobrze sobie radzi z problemami niespójności modelu, a w wersji Professional potrafi dodatkowo manipulować wybranymi przez nas elementami modelu, upraszczać je, a nawet generować dla nich nową siatkę, i może też dzielić obiekt na odrębne części. Wersja profesjonalna może także pełnić funkcję slicera i ma wbudowane sterowniki, za pomocą których może się komunikować z niektórymi drukarkami, co pozwala ominąć konieczność przeniesienia danych z programu CAM do oprogramowania klienckiego.

Slicer, czyli oprogramowanie CAM

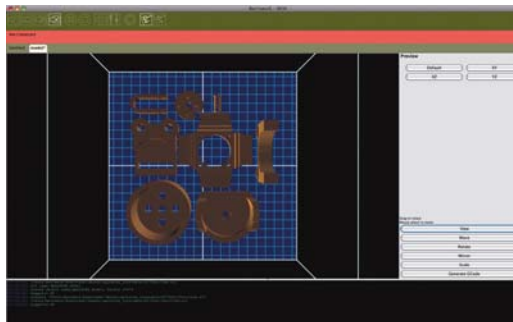
Trójwymiarowy, spójny i wolny od błędów model należy przekształcić w sekwencję poleceń, które nakażą drukarkę przesunięcie głowicy wzdłuż określonej ścieżki i wycięnięcie (lub nie) określonej ilości tworzywa. Proces takiego przekształcania bywa nazywany *skeiningiem* (snuciem) lub *slicingiem* (cięciem). Polecenia sterujące drukarką są zapisywane w prostym języku programowania, zwanym *G-code* (kod G).

Dawniej do przetwarzania modelu na ciąg poleceń w kodzie G rozumiały dla drukarki używano najczęściej programu o nazwie Skeinforge. Ostatnio

jednak zaczęły się pojawiać programy alternatywne, a szczególną popularność zyskał Slic3r, i to on jest coraz częściej wybierany jako narzędzie do generowania kodu G. Więcej informacji na temat postugiwania się tym programem znajdziesz w rozdziale 5.

Jeden z najmłodszych slicerów o nazwie KISSlicer, dostępny w wersjach darmowej i płatnej (profesjonalnej), chlubi się takimi dodatkowymi funkcjami jak zróżnicowane wypełnienie (zużywanie więcej materiału przy brzegach wydruku i mniej w środku) czy obsługa wielu głowic (umożliwiająca stosowanie różnych materiałów dla odrębnych obiektów, podpór i zróżnicowanych wypełnień).

Większość slicerów może pracować jako samodzielne programy, ale często są one wcielane do pakietów oprogramowania klienckiego, takich jak ReplicatorG (patrz rysunek 3.5) czy Pronterface, w których jeden interfejs umożliwia zarówno sterowanie drukarką, jak i wczytywanie pliku z modelem i generowanie na jego podstawie kodu G.



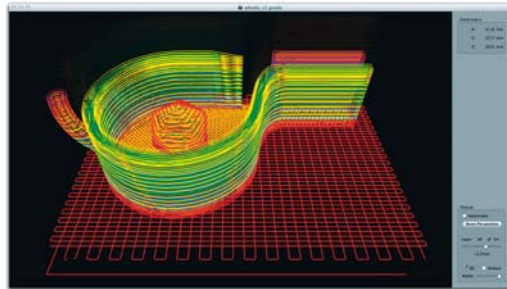
Rysunek 3.5. Rozmieszczanie modeli na stoliku drukarki w oknie programu ReplicatorG; cały zestaw będzie drukowany jednocześnie

Drukarka przestrzenna wykonuje swoje zadanie warstwa po warstwie, a to oznacza, że do wydrukowania, powiedzmy, czterech kopii tego samego modelu, jedna obok drugiej, potrzebny jest zupełnie inny kod sterujący niż wtedy, gdy drukowany jest tylko jeden egzemplarz. Aby wydrukować kilka modeli naraz, można po prostu ułożyć z nich odpowiedni zestaw już na etapie modelowania w programie CAD. Jednak częściej jest wybierane rozwiązanie polegające na układaniu takiego zestawu podczas

pracy z oprogramowaniem CAM. Wiele slicerów i pakietów klienckich, na przykład ReplicatorG, zawiera narzędzia umożliwiające skalowanie modeli, ustawianie ich i kopiowanie jeszcze przed cięciem na warstwy. Zazwyczaj programy te oferują też wirtualne środowisko pracy, które umożliwia dokładne ustawienie drukowanego zestawu w przestrzeni roboczej drukarki.

Slicery umożliwiają także ustalenie wartości parametrów mających wpływ na szybkość i jakość drukowania, czyli takich jak grubość warstwy, maksymalna prędkość przesuwu głowicy, gęstość wypełnienia, liczba obrzeży otaczających wypełnienie na każdej warstwie i konieczność drukowania podpor oraz „tratw”. Do wielu programów są dołączane profile z domyślnymi ustawieniami umożliwiające rozpoczęcie druku zaraz po rozpakowaniu drukarki, ale zawsze można je pozmieniać, aby lepiej pasowały do konkretnego modelu.

Dobrą praktyką podczas zapoznawania się z ustawieniami slicera jest korzystanie z *wizualizatora kodu G*. Wizualizator jest programem, który wyświetla polecenia kodu G w postaci linii reprezentujących tor ruchu głowicy drukującej. Prześledzenie w ten sposób kolejnych warstw pozwala stwierdzić, czy slicer wykonał pracę prawidłowo, i to bez zużycia choćby grama tworzywa. Wykonując takie wirtualne wydruki przy różnych ustawieniach slicera, można dokładnie określić wpływ poszczególnych parametrów na ostateczny rezultat. Jeśli używasz ReplicatoraG, postaraj się o wizualizator Pleasant3D (jego wersja dla systemu Mac jest pokazana na rysunku 3.6), a dla Blendera (dostępnego na wszystkich platformach) odpowiedni będzie GCode Viewer. Programy Pronterface i Repetier-Host mają już wbudowane funkcje wizualizacji kodu G.



Rysunek 3.6. Wizualizacja kodu G w programie Pleasant3D. Interfejs tego programu umożliwia przeglądanie ścieżki narzędzia warstwa po warstwie

Sterowanie drukarką — oprogramowanie klienckie

Na końcu całego łańcucha oprogramowania druku 3D jest tzw. *klient*, czyli program sterujący drukarką w czasie rzeczywistym. Jego interfejs umożliwia uruchomienie procesu drukowania, zatrzymanie go lub przerwanie na określony czas, a także ustawienie temperatury głowicy i stolika (jeśli ten jest podgrzewany). Zazwyczaj użytkownik ma także dostęp do przycisków, za pomocą których może stopniowo przesuwać głowicę w dowolnym kierunku, co ułatwia poziomowanie stolika i ustalanie zerowego położenia głowicy na osi Z.

Początkowo do sterowania drukarkami był używany najczęściej ReplicatorG. Jednak ostatnio ustępuje on miejsca innym aplikacjom, które wprowadzają mnóstwo nowych rozwiązań. Najpopularniejsze są obecnie pakiety Printron (zawiera Pronterface) i Repetier-Host. Firma Ultimaker opracowała własny pakiet open-source'owy Cura, który też oferuje dużo funkcji i jest łatwy w obsłudze. Niektórzy producenci drukarek, na przykład PP3DP i MakerBot, zaopatrują swoje wyroby we własne programy klienckie, które na ogół oferują podobne zestawy funkcji.

W praktyce najważniejszym zadaniem programu klienckiego jest wysłanie do drukarki przez złącze USB lub WiFi instrukcji określających tor ruchu głowicy. Wiele drukarek może też działać w trybie „samodzielnym”, czyli bez połączenia z komputerem,

i wtedy żaden program kliencki nie jest potrzebny — drukarka sama odczytuje i wykonuje polecenia CAM, które pobiera bezpośrednio z karty SD lub pendrive'a. Zaletą takiego urządzenia jest to, że podczas długotrwałej pracy nie blokuje komputera, który może być wtedy wykorzystany do innych celów, a używanie kilku drukarek naraz nie oznacza konieczności posiadania równie wielu komputerów. Informacje CAM są zwykle zapisywane na nośnikach wymiennych w postaci instrukcji kodu G. Przegląd wszystkich dostępnych programów służących do sterowania drukarkami 3D znajdziesz w „Dodatku A”, w podrozdziałach „Interfejsy drukarek” i „Slicery”.

Co dalej?

Wydrukowane obiekty prowokują do wprowadzenia ulepszeń i wyzwają nowe pomysły. W istocie rzeczy proces wytwórczy ma charakter cykliczny.

Po opanowaniu podstaw druku przestrzennego możesz zrobić wszystko! Pamiętaj tylko, że trójwymiarowe projektowanie i drukowanie to procesy, w których rzadko udaje się osiągnąć sukces za pierwszym razem. Jeśli nie odpowiada Ci narzędzie, którego używasz, rozejrzyj się za innym — nie ma powodu, by ograniczać się do jednego tylko stylu pracy. Eksperymentuj, poprawiaj, sprawdzaj, powtarzaj! Ucz się na własnych błędach i nie zapominaj o dobrym humorze.

Matt Mets jest konstruktorem, którego elektroniczne zabawki uczą i inspirują.

Matt Griffin jest kierownikiem ds. kontaktów z klientami w Adafruit Industries, byłym menedżerem społecznościami w MakerBot i autorem mającej się wkrótce ukazać książki *Design and Modeling for 3D Printing*.

Modelowanie 3D dla zupełnych nowicjuszy

4

Zaprojektuj w kilka minut za pomocą programu Tinkercad nasadkę na ołówek w kształcie głowy robota

Autor: **Blake Maloof**

Drukowanie przestrzenne może być stosowane w wielu dziedzinach, począwszy od twórczości artystycznej, przez wzornictwo, aż po wyrób części zamiennych na własne potrzeby. Lecz u tych, którzy dopiero poznają tę technologię, przerażenie może budzić konieczność zdobycia umiejętności posługiwania się programem do modelowania przestrzennego i obsługiwanie drukarki. Nauczenie się wszystkiego, co jest potrzebne, aby zrealizować cały proces od pomysłu aż po ostateczny wydruk, nie należy do rzeczy łatwych, ale też nie ma potrzeby, żeby robić wszystko od razu samodzielnie. Jeśli tylko potrafisz stworzyć komputerowy model obiektu, możesz zlecić jego wydrukowanie profesjonalistom. Spróbuj, a przekonasz się, że nie jest to wcale takie trudne!

Tinkercad jest intuicyjną, działającą w ramach przeglądarki internetowej aplikacją typu CAD, która umożliwia szybkie wymodelowanie obiektu i wysłanie go do jednej z firm drukujących, takich jak Shapeways czy Sculpteo. Całą drogę od pomysłu do dającego się wydrukować modelu możesz pokonać w kilka minut i możesz to zrobić bez większego doświadczenia w modelowaniu.

Aby pokazać Ci, że naprawdę nie jest to trudne, poprowadzę Cię przez wszystkie etapy tworzenia przykładowego obiektu, jakim będzie nasadka na ołówek w postaci głowy robota. Potrzebny Ci będzie od tego jedynie komputer podłączony do internetu.

Przestrzeń pozytywna i negatywna

Aby w pełni wykorzystać potencjał Tinkercada, musisz wiedzieć, co kryje się pod określeniami „przestrzeń pozytywna” i „przestrzeń negatywna”. Otóż przestrzeń pozytywna to ta, którą wypełniają bryły pełne, a każdy otwór wydrążony w takiej bryle reprezentuje przestrzeń negatywną. Krótko mówiąc, otwory usuwają materiał z przestrzeni, którą zajmują.

Wszystko to okaże się istotne, gdy zdecydujesz się wysłać swój model do druku, bowiem całkowity koszt będzie zależny od ilości zużytego materiału, a więc od wielkości przestrzeni pozytywnej, jaką model zajmuje. Dla Twojego portfela będzie lepiej, jeśli drukowany przedmiot będzie miał jak najwięcej otworów.

1. Utwórz tinkercadowe konto

Zarejestruj się jako użytkownik programu Tinkercad (<http://tinkercad.com/>). Następnie kliknij przycisk *Create new design* (utwórz nowy projekt). Tinkercad nada Twojemu projektowi własną nazwę, ale po wybraniu z menu polecenia *Design/Properties* (projekt/właściwości) będziesz mógł ją zmienić.

2. Utwórz otwór

Aby wykonać dziurkę pasującą na gumkę ołówka, zmierz średnicę i wysokość tej gumki. Przyjmijmy, że jej średnica wynosi 8 mm. Przeciągnij więc z bocznego panelu walec (*Cylinder*) na płaszczyznę roboczą (niebieska siatka) i przeskaluj go tak, by miał średnicę 10 mm. Zapewni to 1-milimetrowy luz na całym obwodzie ołówka. Aby jakkolwiek obiekt przeskalować w Tinkercadzie, należy ten obiekt zaznaczyć przez kliknięcie, a następnie przeciągnąć jeden z białych kwadracików — zwanych uchwytami — rozmieszczonych wokół obiektu.

Żeby skalowanie było jednakowe we wszystkich kierunkach, przeciągaj uchwyt przy wciśniętym klawiszu *Shift*.

Powiedzmy, że wysokość gumki wynosi 20 mm. A zatem rozciągnij walec do takiej właśnie wysokości, używając do tego celu uchwytu górnego. Tym razem nie wciskaj klawisza *Shift*, bo zmienić masz tylko wysokość walca, a średnica ma pozostać bez zmiany.

Mając wciąż zaznaczony walec, kliknij przycisk *Hole* (otwór) znajdujący się w prawym górnym rogu okna obok przycisku *Color* (kolor). W ten sposób przekształcisz walec w przestrzeń negatywną, co zostanie zasygnalizowane szarymi paskami symbolizującymi przezroczystość (patrz rysunek 4.1).

Jeśli popełnisz błąd, kliknij przycisk *Undo* (cofnij) lub wciśnij klawisze *Ctrl+Z* (*Cmd+Z* — Mac OS), aby cofnąć ostatnią operację.

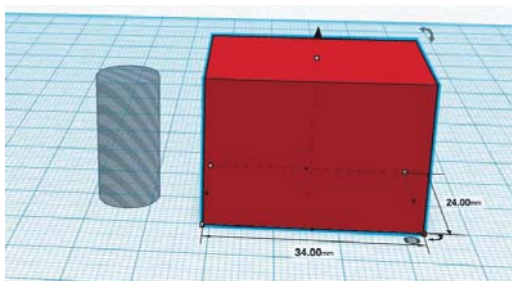
Podczas projektowania modelu zazwyczaj niezbędne jest oglądanie go z różnych stron. Aby zmienić kąt widzenia, kliknij odpowiedni przycisk czterokierunkowego manipulatora znajdującego się w lewym górnym rogu okna programu. Przyciski ze znakami + i – służą do przybliżania i oddalania widoku.



Rysunek 4.1. Obiekt stanowiący przestrzeń negatywną

3. Wstaw głowę robota

W charakterze głowy robota wstaw prostopadłościan (*Box*). Możesz mu nadać dowolne wymiary, byle tylko zmieścił się w nim negatywny walec z co najmniej 1- lub 2-milimetrowym zapasem z każdej strony. Ja nadałem mu 34 mm szerokości, 24 mm głębokości i 24 mm wysokości, a następnie ułożyłem go obok walca (patrz rysunek 4.2).

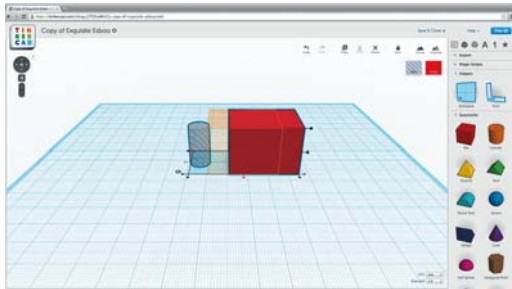


Rysunek 4.2. Prostopadłościan będzie głową robota

4. Wyrównaj położenia głowy i otworu

Do ustawienia otworu dokładnie w środku prostopadłościanu użyj narzędzia *Align* (wyrównaj). Aby to zrobić, musisz najpierw zaznaczyć oba obiekty. W tym celu wciśnij klawisz *Shift* i nie zwalniając go, kliknij kolejno każdy z tych obiektów albo przeciągnij myszą z wciśniętym lewym przyciskiem, by otoczyć oba obiekty ramką zaznaczenia, albo po prostu wciśnij klawisze *Ctrl+A* (*Cmd+A* — Mac OS), żeby zaznaczyć wszystko. Gdy już oba obiekty będą zaznaczone, kliknij na pasku narzędziowym przycisk *Adjust* (dopasuj) i wybierz polecenie *Align*.

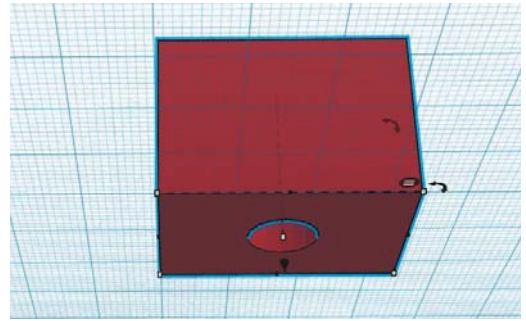
Zaznaczone obiekty zostaną otoczone punktami wyrównania. Kliknij kolejno oba punkty wyznaczające środek zaznaczenia na płaszczyźnie poziomej (patrz rysunek 4.3). Nie wyrównuj środków obiektów na osi pionowej, bo wtedy otwór schowałby się całkowicie wewnątrz prostopadłościanu i włożenie doń otwórka byłoby niemożliwe.



Rysunek 4.3. Ustaw otwór w środku głowy robota

5. Połącz głowę i otwór w jeden obiekt

Zachowując nadal zaznaczenie obu obiektów, kliknij na pasku narzędziowym przycisk *Group* (grupuj), aby całe zaznaczenie połączyć w jedną całość (patrz rysunek 4.4).

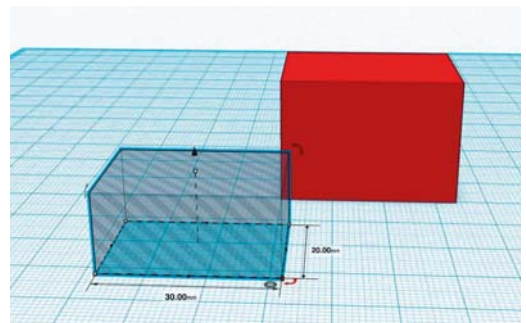


Rysunek 4.4. Połącz oba obiekty w jedną całość

6. Opróżnij wnętrze głowy

Przygotuj nową przestrzeń negatywną w postaci prostopadłościanu, który po umieszczeniu wewnątrz głowy robota usunie z niej zbędny materiał. Niech ten nowy prostopadłościan będzie węższy i płytszy od pierwotnego o 4 mm, a wtedy ścianki głowy będą miały grubość 2 mm.

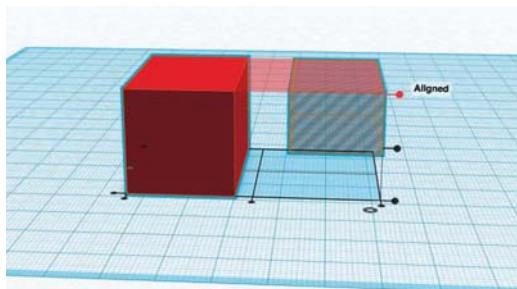
Głowa robota nie powinna być jednak całkiem otwarta od dołu, bo przecież tam ma być tylko mały otwór na ołówek. Ustal więc wysokość negatywnego prostopadłościanu o 10 mm mniejszą niż wysokość głowy robota. Ja swojemu prostopadłościanowi nadałem ostatecznie następujące wymiary: szerokość 30 mm, głębokość 20 mm i wysokość 14 mm (patrz rysunek 4.5).



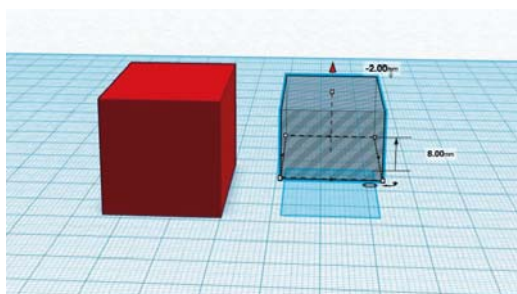
Rysunek 4.5. Przygotuj otwór wewnętrzny

Zaznacz oba obiekty i włącz narzędzie *Align*. Kliknij najwyższy punkt wyrównania, aby górne ścianki obu prostopadłościanów znalazły się na jednym

poziomie (patrz rysunek 4.6). Następnie zaznacz tylko prostopadłościan negatywny i za pomocą uchwytu w postaci strzałki obniż go o 2 mm (patrz rysunek 4.7).



Rysunek 4.6. Kliknij najwyższy punkt wyrównania



Rysunek 4.7. Zaznacz prostopadłościan negatywny i za pomocą uchwytu w postaci strzałki obniż go o 2 mm

Ponownie zaznacz oba prostopadłościany i wyrównaj je na płaszczyźnie poziomej (nie klikaj punktów wyrównania na osi pionowej, aby nie zmienić ustalonego przed chwilą położenia jednego prostopadłościanu względem drugiego).

Po upewnieniu się, że oba prostopadłościany są zaznaczone, kliknij przycisk *Group*, aby połączyć je w jeden obiekt. Teraz głowa robota ma 2-milimetrowe ścianki po bokach i od góry, a w środku jest pusta.

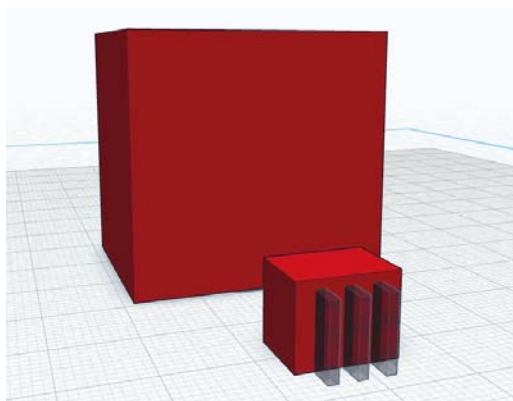
Przy ustawieniach domyślnych siatki funkcji przyciągania w przestrzeni roboczej ma skok wynoszący 1 mm. Do ręcznego ustawiania obiektów można używać klawiszy ze strzałkami, a każde wciśnięcie takiego klawisza przesuwa zaznaczony obiekt o 1 mm.

Zauważ, że zaznaczony obiekt znajdujący się nad płaszczyzną roboczą rzuca na nią cień, który pokazuje dokładnie, jakie jest położenie tego obiektu w płaszczyźnie poziomej. Jest to cenna pomoc przy rozstawianiu obiektów znajdujących się na różnych wysokościach.

7. Wykonaj usta robota

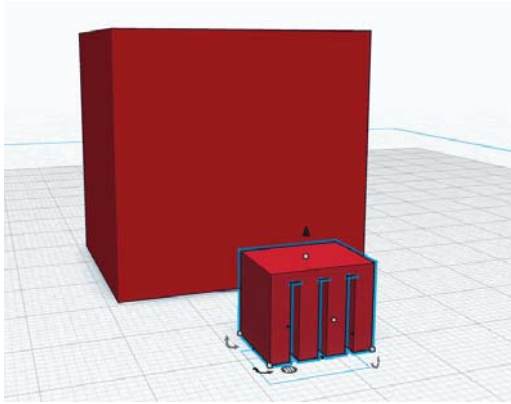
Modelowanie ust zacznij od wstawienia kolejnego prostopadłościanu i nadania mu wymiarów znacznie mniejszych od wymiarów głowy.

Aby utworzyć żebra osłony głośnika, przygotuj kilka jednakowych, jeszcze mniejszych prostopadłościanów stanowiących przestrzeń negatywną. Najlepiej utwórz jeden, a następnie skopiuj go kilkakrotnie — możesz to zrobić za pomocą polecenia *Edit/Copy* (edycja/kopiuj), znanych powszechnie skrótów klawiszowych lub przez przeciąganie obiektu przy wciśniętym klawiszu *Alt* (*Option* — Mac OS). Rozstaw je w równych odstępach, a następnie wsuń w prostopadłościan ust (patrz rysunek 4.8).



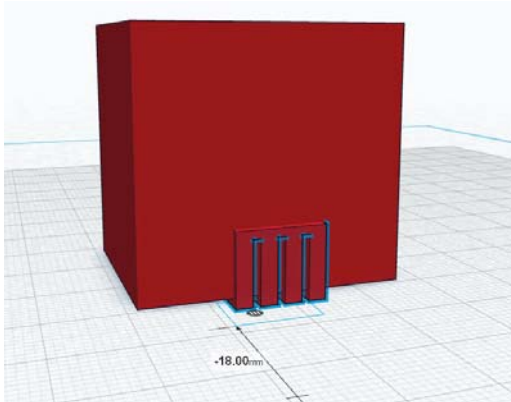
Rysunek 4.8. Utwórz żebra osłony głośnika

Zaznacz prostopadłościan ust i wszystkie negatywne prostopadłościany osłony głośnika, po czym kliknij przycisk *Group*. Prostopadłościany negatywne przestaną być widoczne, a w ustach zostaną wycięte otwory (patrz rysunek 4.9).



Rysunek 4.9. Wytnij w ustach otwory osłony głośnika

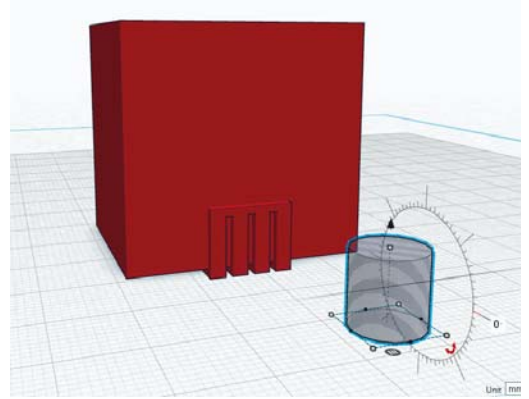
Wsuń model ust w głowę robota, tak aby wystawały z niej lekko z przodu i z dołu (nie wsuwaj ich zbyt głęboko, by nie kolidowały z okrągłym otworem na ołówki). Zgrupuj usta z głową (patrz rysunek 4.10).



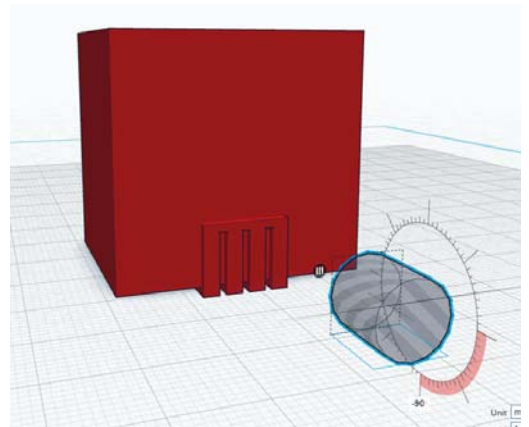
Rysunek 4.10. Zgrupuj usta z głową

8. Wymodeluj oczy robota

Aby wykonać oczy, przeciągnij do przestrzeni roboczej dwa walce i nadaj im status otworów. Widzisz te zakrzywione strzałki obok zaznaczonego walca? Przeciągnij je, aby obrócić walec we właściwym kierunku (patrz rysunki 4.11 i 4.12).



Rysunek 4.11. Wstaw walec

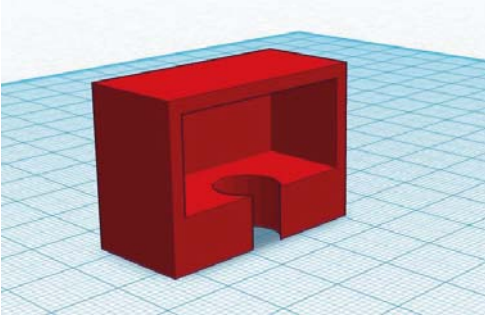
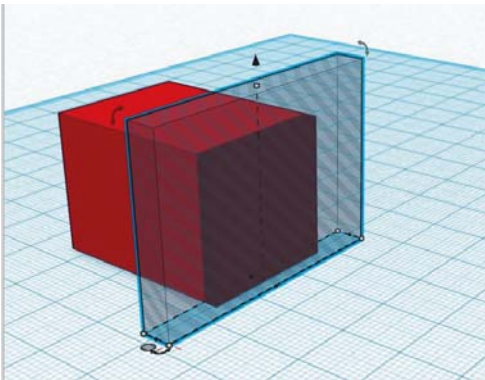


Rysunek 4.12. Ustaw go prostopadłe do głowy

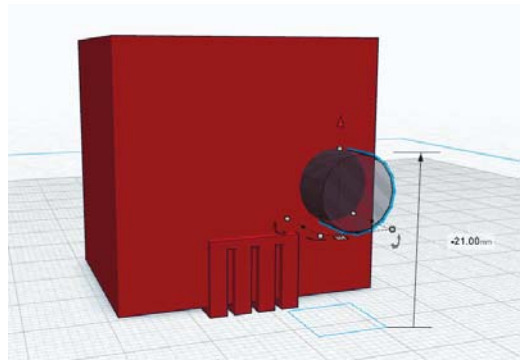
Podgląd wnętrza modelu

Jak możesz sprawdzić, czy otwory wewnątrz głowy są rozmieszczone prawidłowo? Otóż jest na to dość prosty sposób.

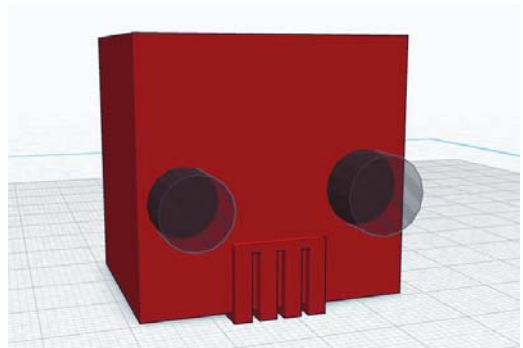
Umieść w przestrzeni roboczej nowy prostopadłościan, zamień go w otwór i powiększ do rozmiarów większych niż jedna ze ścian modelu głowy. Nasuń negatywny prostopadłościan na głowę robota w taki sposób, aby jej część znalazła się wewnątrz prostopadłościanu, zaznacz oba obiekty i kliknij przycisk *Group*. *Voilà!* Masz widok wnętrza modelu. Aby wrócić do właściwego widoku, cofnij odpowiednią liczbę ostatnich operacji.



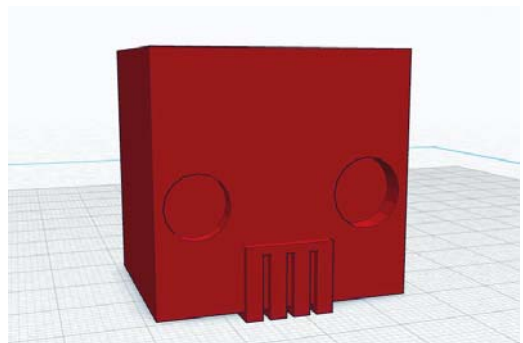
Aby umieścić walce nad ustami robota, musisz je umieścić nad płaszczyznę roboczą. W tym celu przeciągaj je za uchwyt w postaci strzałki skierowanej pionowo do góry. Nadaj walcom różne wymiary, przez co robot zyska trochę indywidualności. Wepchnij je w prostopadłościan głowy na głębokość nie większą niż 1 mm. Na koniec zaznacz wszystkie obiekty i zgrupuj je (patrz rysunki 4.13, 4.14 i 4.15).



Rysunek 4.13. Wciśnij walec w głowę na głębokość 1 mm

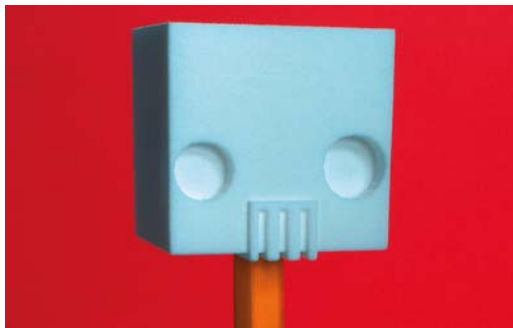


Rysunek 4.14. Zaznacz i zgrupuj walce



Rysunek 4.15. Gotowa do druku nakładka na ołówek

Tada! Twoja nasadka na ołówek w kształcie głowy robota jest gotowa do druku (patrz rysunek 4.16). Teraz tylko wybierz polecenie *Design/Order a 3D Print* (projekt/zleć drukowanie 3D), wybierz wykonawcę i zamów wydruk zabawki, którą zaprojektowałeś!



Rysunek 4.16. *Gotowe!*

Wykonany przeze mnie model nasadki jest dostępny pod adresem <http://makezine.com/go/topperbot>.

Blake Maloof jest projektantem gier w firmie Toys For Bob (twórcy gry Skylanders) i czasami pisze artykuły o grach dla czasopisma „Make”.

Poznajemy Slic3r

5

Slic3r jest darmowym programem, który przygotowuje pliki STL do druku przestrzennego

Autor: **Eric Weinhofer**

Masz już drukarkę 3D i plik z modelem do wydrukowania, więc czas na następny krok. Teraz musisz ten model podzielić na warstwy i utworzyć plik z kodem G, który będzie zrozumiały dla drukarki. Możesz do tego użyć jednego z dostępnych programów, a jest ich wiele, na przykład Slic3r, KISSlicer, CuraEngine, MakerBot Slicer czy Skeinforge (patrz punkt „Slicery” w „Dodatku A” na końcu książki). Niektóre z nich są zintegrowane z oprogramowaniem sterującym drukarką, a inne, jak Slic3r i KISSlicer, mogą być używane jako aplikacje samodzielne.

Slic3r zyskał sobie dużą popularność, ponieważ jest darmowy, wieloplatformowy, stosunkowo szybki i w pełni konfigurowalny.

Postaram się opisać, jak niektóre jego ustawienia wpływają na pracę drukarki i jak należy je skonfigurować, aby cały proces przebiegał w sposób optymalny. Nie mam doświadczenia w dostrajaniu wszystkich parametrów (jest ich mnóstwo), ale przynajmniej opiszę ich działanie.

Niedawno natrafiłem na znakomity poradnik *Slic3r is Nicer*, napisany przez RichRapa (<http://richrap.blogspot.com/2012/01/slic3r-is-nicer-part-1-settings-and.html>), i naprawdę polecam jego lekturę. Poradnik zawiera dużo ładnych zdjęć i szczegółowych objaśnień, ale ma już ponad rok i o wielu rzeczach, które zostały dodane do programu, nie ma

w nim mowy. Jest tam jednak opis kalibracji wyciskarki, co wprawdzie jest czynnością opcjonalną, ale może też być bardzo pożyteczną.

Producent drukarki może dołączyć do niej zestaw domyślnych ustawień slicing — w formie pliku *.ini*, który można zaimportować do programu Slic3r — ale może też dostarczyć tylko ciąg liczb, które trzeba wprowadzać ręcznie. Jeśli plik *.ini* jest dostępny, proponuję zacząć od jego zaimportowania — w programie Slic3r należy wybrać w tym celu polecenie *File/Import Config* (plik/importuj konfigurację) — a dopiero potem zabrać się za dostrajanie poszczególnych ustawień.

Nie istnieje jeden uniwersalny zestaw ustawień gwarantujący optymalne funkcjonowanie każdej drukarki. Podane przeze mnie wartości należy traktować raczej jako dobry punkt wyjścia do samodzielnych eksperymentów z konkretnym urządzeniem.

Program Slic3r możesz pobrać za darmo ze strony <http://slic3r.org>. A zatem uruchom go i zaczynajmy!

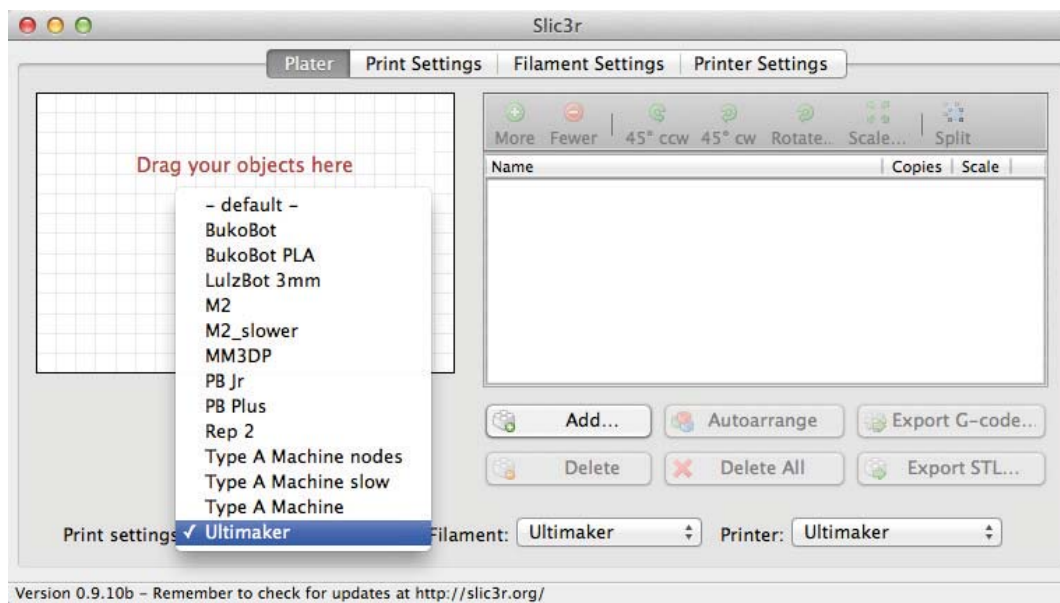
Autorem zdjęć ilustrujących proces druku jest John Abella.

Etap 1. Nadaj profilowi nazwę

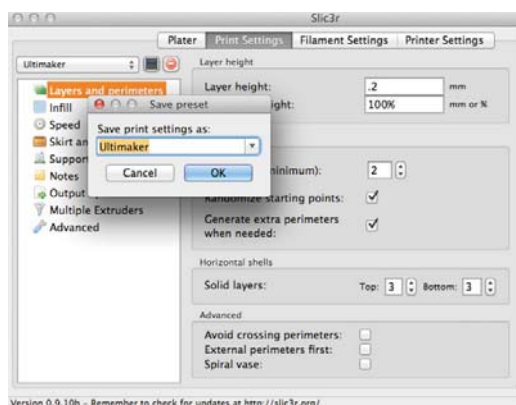
Interfejs programu składa się z czterech zakładek: *Plater* (plyta robocza), *Print Settings* (ustawienia druku), *Filament Settings* (parametry filamentu) i *Printer Settings* (ustawienia drukarki). Do pierwszej

zakładki, której znaczenie wyjaśnia już sama nazwa, zazwyczaj zagląda się na końcu, bezpośrednio przed pocięciem modelu na warstwy, i dlatego omówię ją jako ostatnią.

Cenną zaletą omawianego programu jest łatwość, z jaką można w nim tworzyć i potem przywoływać różne profile konfiguracyjne (patrz rysunek 5.1).



Rysunek 5.1. Wybieranie zapisanego profilu



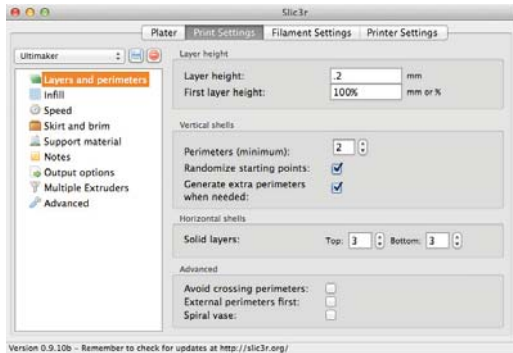
Rysunek 5.2. Zapisywanie profilu

Jeśli po zmianie jakiegokolwiek ustawienia klikniesz przycisk *Save* (zapisz), na ekranie pojawi się tekstowe okno dialogowe, w którym będziesz mógł wpisać nazwę profilu (patrz rysunek 5.2).

Staraj się tworzyć profile nie tylko dla różnych drukarek, lecz także dla różnych rodzajów druku, na przykład „Ultimaker — obiekt wydrążony” czy „Ultimaker — drukowanie szybkie”.

Etap 2. Ustawienia druku

Pierwsza kategoria ustawień druku nosi nazwę *Layers and perimeters* (warstwy i obrzeża) i jest pokazana na rysunku 5.3¹. Parametr *Layer height* (grubość warstwy) określa odległość, o jaką przesuwa się wyciskarka przy przejściu do następnej warstwy. Mniejsza wartość tego parametru daje zazwyczaj gładzi i lepiej wyglądający wydruk, ale też wydłuża czas jego wykonywania. Na początek można przyjąć coś pomiędzy 0,2 a 0,3 mm.



Rysunek 5.3. Ustawienie grubości warstwy

Wiele współczesnych drukarek może bez problemu tworzyć warstwy o grubości zaledwie 100 mikrometrów (0,1 mm).

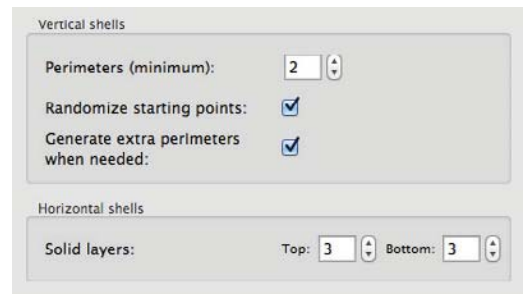
Obiekt drukowany przy parametrze *Layer height* ustawionym na 0,1 mm będzie zawierał dwa razy więcej warstw niż przy wartości 0,2 mm, a zatem dwa razy dłużej będzie trwało dzielenie go na warstwy i drukowanie.

Parametr *First layer height* (grubość pierwszej warstwy) określa wysokość pierwszej warstwy wydruku. Można ją podać w mm lub % (przy 200% warstwa ta będzie dwa razy wyższa od pozostałych). Pogrubienie pierwszej warstwy zapewnia solidniejszą bazę dla całego wydruku.

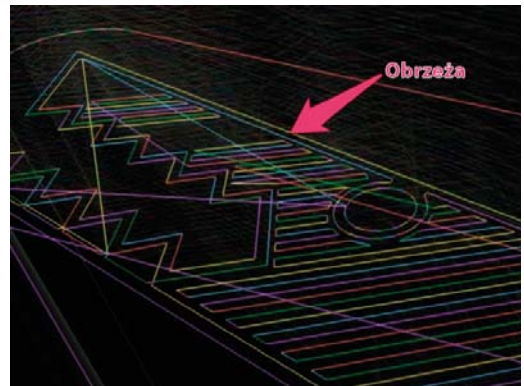
1 Aby uzyskać dostęp do wszystkich opisywanych tu ustawień, należy program przełączyć w tryb zaawansowany. W tym celu trzeba wybrać polecenie *File/Preferences* (plik/preferencje) i na liście *Mode* (tryb) wskazać opcję *Expert* — *przyp. tłum.*

Obrzeża i warstwy pełne

Duże znaczenie dla stabilności i wytrzymałości całego wydruku mają obrzeża (zwane też powłokami — *shells*). Ustawienie parametru *Perimeters* (obrzeża) na 2 (jak na rysunku 5.4) spowoduje, że drukarka utworzy na każdej warstwie podwójny kontur zewnętrzny modelu (patrz rysunek 5.5). Według mnie taka właśnie wartość jest na ogół wystarczająca, ale często stosowane są także obrzeża potrójne.



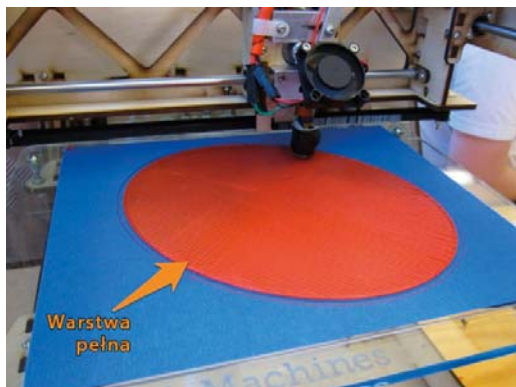
Rysunek 5.4. Parametry obrzeży i warstw wzmacniających



Rysunek 5.5. Warstwa z podwójnym obrzeżem

Rozpoczynanie druku obrzeża na każdej warstwie w innym miejscu zapobiega powstawaniu zauważalnych szwów na powierzchni obiektu, więc zalecam pozostawienie włączonej opcji *Randomize starting points* (losuj punkty początkowe). Dobrym pomysłem jest również włączenie opcji *Generate extra perimeters when needed* (w razie potrzeby utwórz dodatkowe obrzeże).

Warstwy pełne (*Solid layers*) są całkowicie wypełnione tworzywem (patrz rysunek 5.6) i warto je (przynajmniej kilka) umieścić w dolnych (*Bottom*) i górnych (*Top*) strefach modelu. Ja najczęściej umieszczam co najmniej dwie takie warstwy na dole i przynajmniej jedną u góry.

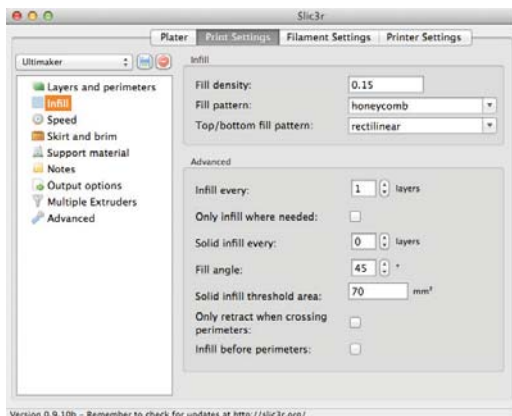


Rysunek 5.6. Warstwy pełne

Pamiętaj jednak, że im większy model, tym więcej czasu będzie potrzebne na wydrukowanie warstwy pełnej, a zatem nie zwiększaj tych wartości zbyt pochopnie, zwłaszcza jeśli bardziej zależy Ci na czasie niż na wytrzymałości modelu.

Wypełnienie

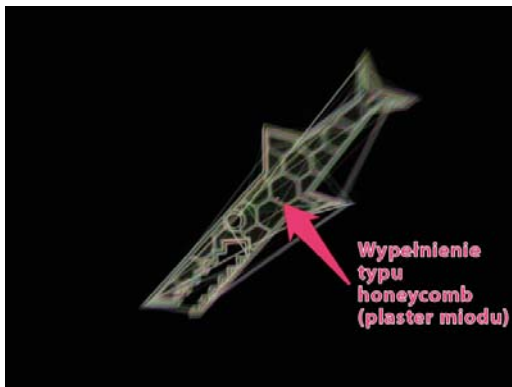
Ustawienia z kategorii *Infill* (wypełnienie) są pokazane na rysunku 5.7. *Infill density* (gęstość wypełnienia) określa stopień wypełnienia tworzywem każdej warstwy (0,2 = 20%). Jeśli drukowany przedmiot nie musi być szczególnie masywny, wystarczy wartość nieprzekraczająca 60%, a na ogół dobrą sztywność uzyskuje się już przy 20%. Oczywiście wszystko zależy od konkretnego przypadku i dobór właściwej wartości wymaga poeksperymentowania.



Rysunek 5.7. Ustalanie parametrów wypełnienia

Przy wypełnieniu zerowym wydrukuję się tylko obrzeże (obrzeża) i model będzie zupełnie pusty.

Fill pattern (wzór wypełnienia) ustala ścieżkę, jaką musi pokonać wyciskarka, aby wydrukować wypełnienie (patrz rysunek 5.8). Wybór takiego czy innego wzoru nie ma większego znaczenia dla sztywności modelu. Parametr *Top/bottom fill pattern* (wzór wypełnienia góry i dołu) określa wzór wypełnienia pełnych warstw górnych i dolnych.



Rysunek 5.8. Wzór wypełnienia wnętrza obiektu

W ustawieniach zaawansowanych (sekcja *Advanced*) można ustalić więcej parametrów wypełnienia, ale jak na razie nie widzę powodu, by tam cokolwiek zmieniać. Ustawienie *Infill every 2 layers* (wypełniaj co 2 warstwy) zmusi drukarkę do wstawiania na przemian warstwy pustej i wypełnionej (o zadanej gęstości wypełnienia). Przy ustawieniu *Infill every*

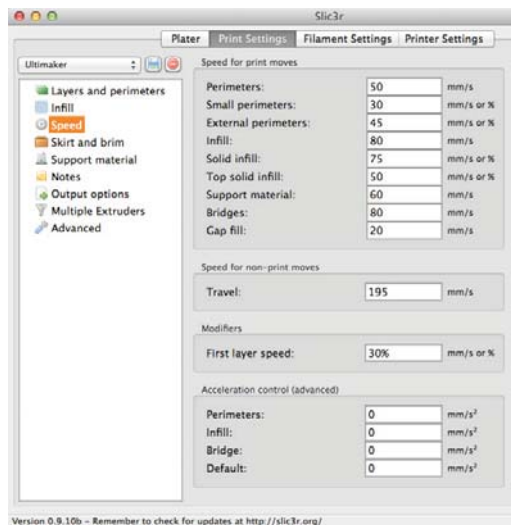
3 layers (wypełniaj co 3 warstwy) po każdej warstwie wypełnionej będą dwie warstwy puste itd. Ja zawsze pozostawiam tutaj wartość domyślną, czyli 1.

W celu dodatkowego usztywnienia modelu można wstawić co n-tą warstwę pełną (*Solid infill every n layers*). *Fill angle* (kął wypełnienia) określa kął, pod jakim wzór wypełnienia warstwy będzie ustawiony w stosunku do osi przesuwu wyciskarki. Nie sądzę, by zmiana tego parametru mogła wpłynąć znacząco na właściwości drukowanego obiektu, ale w pewnym stopniu może to zależeć od zastosowanego wzoru wypełnienia.

Opcję *Only retract when crossing perimeters* (gdy obrzeża się krzyżują, stosuj tylko retrakcję) zazwyczaj zostawiam wyłączoną. Na czym polega retrakcja i kiedy należy ją stosować wyjaśnię przy okazji omawiania ustawień drukarki.

Szybkość

A teraz ustawmy szybkość (patrz rysunek 5.9)! Pierwszy z parametrów wyznacza prędkość drukowania obrzeży (*Perimeters*). Dobrą wartością na początek jest 50 mm/s, ale warto sprawdzić w dokumentacji drukarki, czy nie można by tej wartości zwiększyć albo czy nie trzeba jej obniżyć, bo urządzenie nie jest do takich prędkości przystosowane. Szybkość druku małych obrzeży (*Small perimeters*) odnosi się do druku konturów niewielkich elementów i powinna być mniejsza od poprzedniej, aby tworzywo miało dostateczną ilość czasu na stygnięcie.



Rysunek 5.9. Ustawianie szybkości druku

Obrzeża zewnętrzne (*External perimeters*) stanowią wierzchnią powłokę obiektu, a więc są najważniejsze. Na początku ustawiam dla nich prędkość podobną lub taką samą jak dla zwykłych obrzeży i zmieniam ją tylko w razie wyraźnej potrzeby.

Parametr *Infill* odnosi się do szybkości druku wypełnień, a jako że precyzja i czystość nie są tutaj najważniejsze, można tę wartość trochę podkreślić! Zastosowana przeze mnie prędkość 80 mm/s jest dość zachowawcza, zwłaszcza dla Ultimakera, ale jako wartość wyjściowa wydaje mi się całkiem właściwa.

Jakość druku warstw pełnych (*Solid infill*) jest ważniejsza niż zwykłego wypełnienia, więc szybkość ich druku nie powinna być zbyt duża. Jednak nie należy obniżać jej za bardzo, bo przecież i tak drukowanie warstwy wypełnionej w 100% zajmuje trochę czasu.

Pełne warstwy górne (*Top solid infill*) powinny być wydrukowane szczególnie starannie, a zatem tę prędkość należy ustawić mniejszą niż pozostałe prędkości odnoszące się do wypełnień.

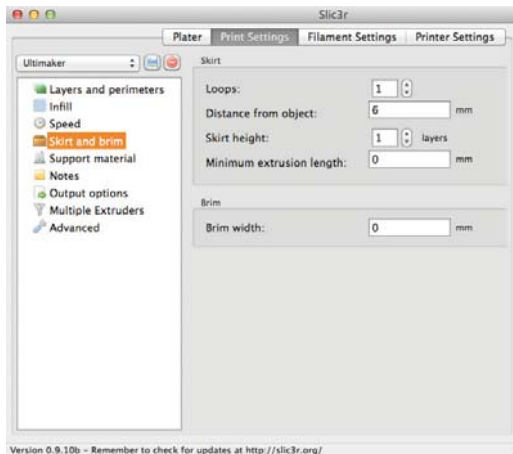
Mostki (*Bridges*) są tworzone przez rozciąganie filamentu w powietrzu od jednej ściany obiektu do drugiej. Jeśli odstęp między ścianami jest większy niż — powiedzmy — 0,5 cala, powstanie zwis

niezależnie od szybkości, z jaką wyciskarka będzie się przesuwająca, ale przy większych szybkościach maleje groźba powstania czegoś gorszego. Na wielkość zwisu mostków mają też wpływ rodzaj zastosowanego materiału i temperatura dyszy. Parametr *Travel* (podróż) określa prędkość ruchu jałowego, gdy wyciskarka się przemieszcza, ale nie drukuje. Jego wartość też można trochę podkręcić. Uważam, że dobrym punktem wyjścia dla dalszych eksperymentów może być wartość 175 mm/s. W drukarkach, które mają lekkie głowice połączone z wyciskarką przewodem Bowdena (tak jest w Ultimakerze), można tę prędkość zwiększyć nawet do 300 mm/s.

First layer speed (szybkość druku pierwszej warstwy) ma wpływ na jakość wykonania pierwszej warstwy wydruku. Ja najczęściej zaczynam od 50% i dopiero metodą eksperymentów ustaliam wartość optymalną. Jeśli chcesz się dowiedzieć więcej o prawidłowym wykonywaniu pierwszej warstwy, przeczytaj drugą część poradnika Richa (<http://richrap.blogspot.com/2012/01/slic3r-is-nicer-part-2-filament-and.html>).

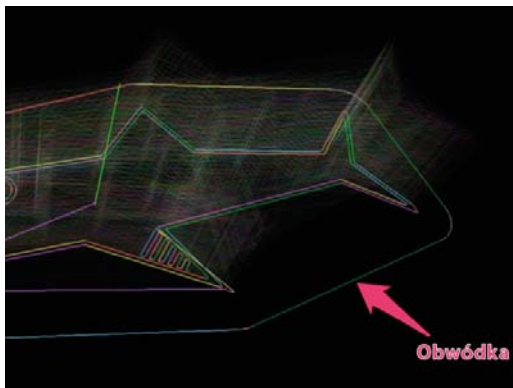
Obwódka

Obwódka (*Skirt*) jest to linia, jaką drukarka tworzy wokół obrzeża modelu jeszcze przed rozpoczęciem zasadniczego druku (patrz rysunek 5.10). Jest to dogodny moment do „załadowania” wyciskarki, sprawdzenia, czy dysza wyciskarki jest na właściwej wysokości, i przerwania druku, jeśli coś wymaga wyregulowania.



Rysunek 5.10. Konfigurowanie obwódki

Jeśli drukarka potrzebuje kilku sekund na wyciśnięcie pierwszej porcji tworzywa, zwiększ wartość parametru *Loops* (pętle), aby wyciskarka okrążyła model więcej niż jeden raz. Zazwyczaj wystarczy obwódka o wysokości (*Skirt height*) jednej warstwy i w odległości (*Distance from object*) 3 – 4 mm od obiektu (patrz rysunek 5.11).



Rysunek 5.11. Obwódka

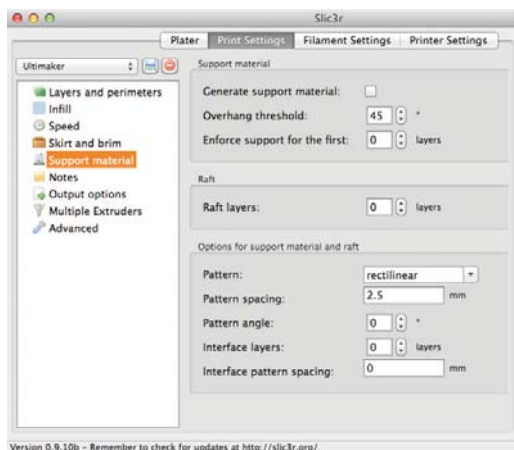
Materiał podporowy

Automatyczne wyznaczanie podpór (patrz rysunek 5.12) w trakcie cięcia modelu na warstwy i generowania kodu G zmusza drukarkę do budowania specjalnych rusztowań podtrzymujących elementy wystające lub nachylone pod zbyt ostrym kątem. Oczywiście podpory te należy potem usunąć. Aby

Slic3r wzięt na siebie całą związaną z tym pracę, wystarczy w kategorii *Support material* (materiał podporowy) włączyć opcję *Generate support material* (generuj materiał podporowy). Wszystkie ustawienia z tej kategorii są pokazane na rysunku 5.13.



Rysunek 5.12. Podpory



Rysunek 5.13. Ustawianie parametrów podpór

Overhang threshold (odchylenie progowe) oznacza progową wartość kąta odchylenia drukowanego elementu od pionu. Po jej przekroczeniu element zostanie podparty dodatkową konstrukcją. Aby zapobiec drukowaniu podpór dla niewielkich występow, które nie muszą być podpierane, ustaw tę wartość na 45°.

Dla podpór można wybrać także wzór (*Pattern*), podobnie jak robiliśmy to wcześniej dla wypełnienia, ale tym razem ma to większe znaczenie, ponieważ jedne wzory są łatwiejsze do usunięcia w postpro-

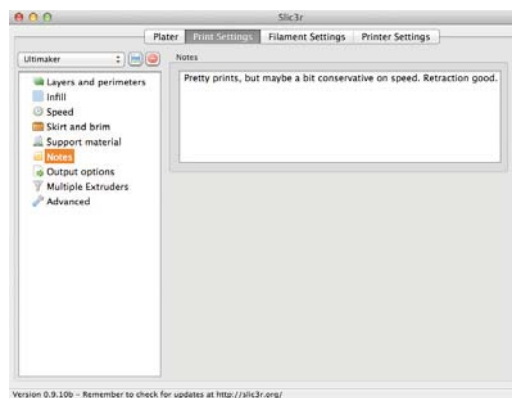
dukcji niż inne. Dość łatwo usuwa się podpory o wzorze prostoliniowym (*rectilinear*).

Na strukturę podpór, a zatem i łatwość ich usuwania, duży wpływ ma także parametr *Pattern spacing* (odstęp wzoru) — im większa jest jego wartość, tym bardziej ażurowa jest podpora i łatwiej ją odłamać. *Pattern angle* (kąt wzoru) określa kąt względem osi X i Y, pod jakim podpory będą drukowane.

Przy zbyt małych odstępach wzoru podpory zyskują gęstość zbliżoną do głównego obiektu, a wtedy trudno je od niego oddzielić. Oczywiście nie można też przesadzić w drugą stronę, bo za duże odstępy mogą obniżyć wytrzymałość podpór i te nie spełnią swojej roli.

Uwagi i inne ustawienia

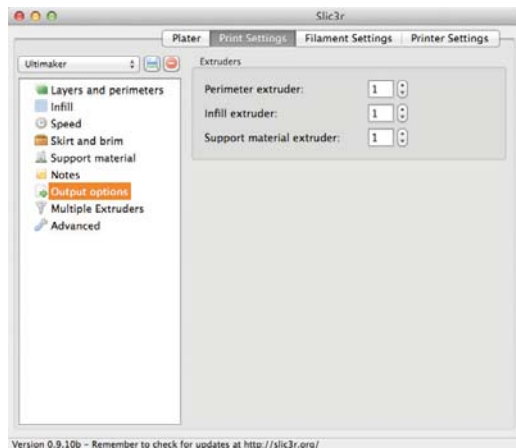
Kategoria o nazwie *Notes* (uwagi) oferuje pole tekstowe, w którym można zapisać własne notatki (patrz rysunek 5.14). Jest to całkowicie opcjonalne i nie ma żadnego wpływu na proces drukowania. Po zakończeniu pracy i sprawdzeniu jakości wydruku zanotuj tutaj swoje spostrzeżenia, aby na przyszłość wiedzieć, co należy zmienić.



Rysunek 5.14. Sporządzanie notatek

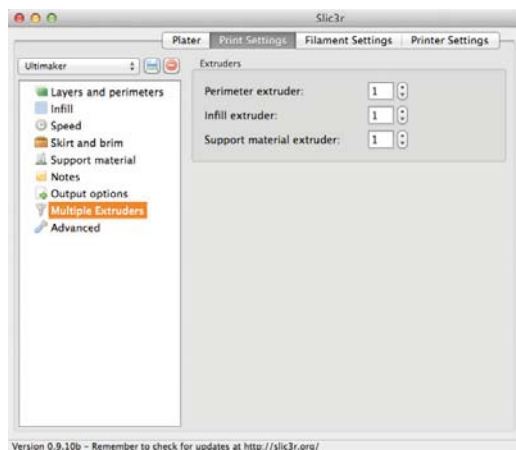
Ustawienia druku sekwencyjnego (*Sequential printing*) są istotne tylko dla tych, którzy mają zautomatyzowany proces usuwania wydruku ze stolika drukarki i chcą drukować wiele obiektów jeden po drugim. Nigdy też nie zajmowałem się ustawieniami z kategorii *Output options* (opcje wyjściowe) — są

pokazane na rysunku 5.15 — ale mogą okazać się one przydatne, jeśli zechcesz na przykład zdefiniować standardowy format nazwy plików z kodem G.



Rysunek 5.15. Opcje wyjściowe

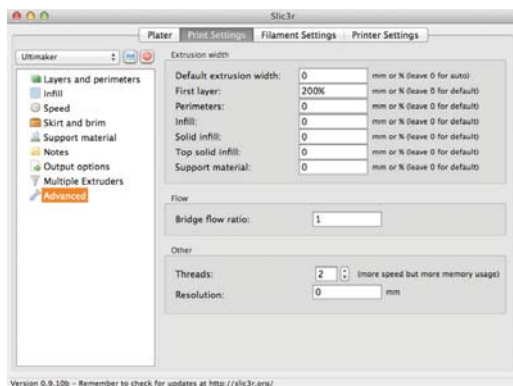
Ustawienia z kategorii *Multiple Extruders* (wyciskarki wielokrotne), pokazane na rysunku 5.16, są przeznaczone dla drukarek wyposażonych w więcej niż jedną wyciskarkę. Tutaj można każdej wyciskarce przypisać inne zadanie — jedna może drukować obrzeża, inna wypełnienia, a jeszcze inna podpory.



Rysunek 5.16. Konfigurowanie wielu wyciskarek

Ustawienia zaawansowane

Nigdy nie eksperymentowałem z ustawieniami należącymi do kategorii zaawansowanych (*Advanced*), z wyjątkiem szerokości wytłoczyny (*Default extrusion width*) (patrz rysunek 5.17). Na podstawie informacji o tworzywie i dyszy (o ich wprowadzaniu powiem już za chwilę) Slic3r samoczynnie dostosuje wysokość położenia wyciskarki, aby uzyskać zadaną szerokość wytłoczyny.

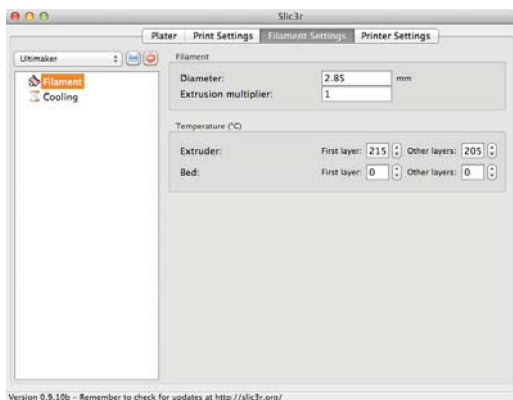


Rysunek 5.17. Ustawienia zaawansowane

Można się pokusić o zwiększenie szerokości pierwszej warstwy powyżej 100%, aby uzyskać lepsze przyleganie tworzywa do stolika, ale co do pozostałych parametrów, to nigdy nie widziałem potrzeby ich zmieniania.

Etap 3. Parametry filamentu

Przejdźmy teraz do drugiej zakładki z parametrami filamentu (patrz rysunek 5.18). Prawdopodobnie wraz z drukarką otrzymałeś trochę tworzywa, a może nawet już kupiłeś kilka szpul w różnych kolorach. Zapewne masz podaną jego grubość, na przykład 3 mm lub 1,75 mm, ale w rzeczywistości jest ona zawsze trochę inna.



Rysunek 5.18. Parametry filamentu

Weź więc suwmiarkę lub mikromierz, zmierz grubość posiadanego filamentu w kilku miejscach (patrz rysunek 5.19) i uśredniony wynik wpisz w polu *Diameter* (średnica).



Rysunek 5.19. Pomiar średnicy filamentu

Parametr *Extrusion multiplier* (mnożnik wyciskania) służy do regulowania ilości wyciskanego tworzywa. Jeśli nie masz specjalnych powodów, aby jego wartość zmieniać, pozostaw 1.

Istotnymi parametrami są temperatury wyciskarki (*Extruder*) i stolika (*Bed*). W obu przypadkach można ustalić inne wartości na czas tworzenia pierwszej warstwy. Na wszelki wypadek ustaw wyższą niż zwykle temperaturę początkową wyciskarki, aby uzyskać lepszą przyczepność tworzywa do stolika.

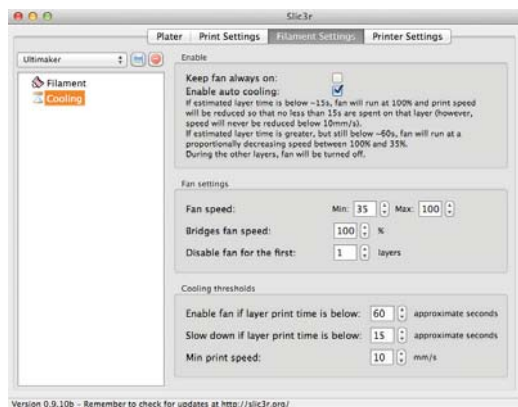
Dla tworzywa PLA temperatura wyciskarki wynosząca 185 będzie prawdopodobnie odpowiednia (fabryczny profil drukarki Ultimaker jest wykonany dla tworzywa PLA). Dla ABS-u zalecałbym zwiększenie tej wartości do 220.

Jeśli Twoja drukarka ma podgrzewany stolik, ustaw dla niego temperaturę według własnego uznania — każde podgrzanie będzie z korzyścią dla druku. Jeśli używasz tworzywa PLA, zacznij od wartości 60, a dla ABS-u zastosuj 110 (chyba że rozgrzewanie stolika do takiej temperatury trwa w nieskończoność, to wtedy zmniejsz ustawienie do takiego poziomu, przy którym nie będziesz musiał czekać kilku godzin, aby rozpocząć drukowanie).

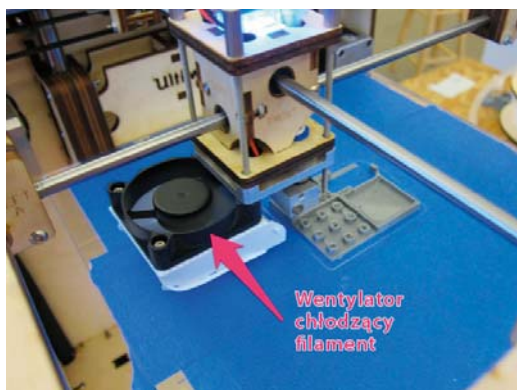
Jeśli stolik jest niepodgrzewany, pozostaw jego temperaturę na poziomie 0. W przeciwnym razie drukowanie nigdy się nie rozpocznie.

Chłodzenie

Następna kategoria ustawień, *Cooling* (chłodzenie), jest pokazana na rysunku 5.20. Zacznij od skonfigurowania pracy wentylatora. Jeśli drukarka nie ma wentylatora skierowanego na wyciskarkę lub stolik (patrz rysunek 5.21), możesz ten etap pominąć. Jeśli wentylator istnieje, zaznacz opcję *Enable auto cooling* (włącz chłodzenie automatyczne) i przeczytaj objaśnienie wyświetlane, gdy wskaźnik myszy znajduje się w jej obrębie — automatyczne chłodzenie działa tylko wtedy, gdy to jest konieczne, a gdy jest zbędne, wentylator jest wyłączony.



Rysunek 5.20. Ustawienia chłodzenia



Rysunek 5.21. Wentylator drukarki Ultimaker

Po skonfigurowaniu opisanych niżej ustawień wróć do opisu widocznego pod opcją włączającą chłodzenie automatyczne i zobacz, jak wprowadzone zmiany wpłyną na pracę systemu chłodzenia podczas drukowania.

Prędkość wentylatora (*Fan speed*) jest wyrażona w procentach, a konkretną wartość należy dobrać eksperymentalnie. Wykonaj kilka wydruków z włączonym chłodzeniem i zwiększ szybkość wentylatora, jeśli zauważysz, że tworzywo opada lub nadmiernie przywiera do dyszy. Parametr *Bridges fan speed* (mostkowa szybkość wentylatora) decyduje o prędkości, z jaką wentylator powinien wirować podczas tworzenia mostków — pozostaw tę wartość na wysokim poziomie, aby zintensyfikować chłodzenie i ograniczyć przez to opadanie tworzywa.

Przy drukowaniu pierwszej warstwy lubię wyłączyć wentylator (*Disable fan for the first n layers*), aby tworzywo było maksymalnie płynne i lepkie, bo wtedy dobrze przylega do stolika (takie postępowanie jest wskazane zwłaszcza wtedy, gdy materiałem roboczym jest tworzywo PLA). Oczywiście można też włączyć opcję *Keep fan always on* (pozostaw wentylator zawsze włączony), a wtedy chłodzenie będzie aktywne przez cały czas trwania druku.

W części *Cooling thresholds* (progi chłodzenia) można dokładniej ustalić, kiedy wentylator powinien się włączać i kiedy powinien zwalniać obroty. Ogólnie warstwy o krótkich czasach drukowania (na przykład wierzchołek stożka) są dla drukarki największym wyzwaniem i dodatkowy przepływ powietrza jest wtedy jak najbardziej wskazany.

Dokładne ustalenie progów dla zmniejszonych prędkości druku wymaga praktyki i wielu eksperymentów, ale sądzę, że na początek można przyjąć następujące wartości:

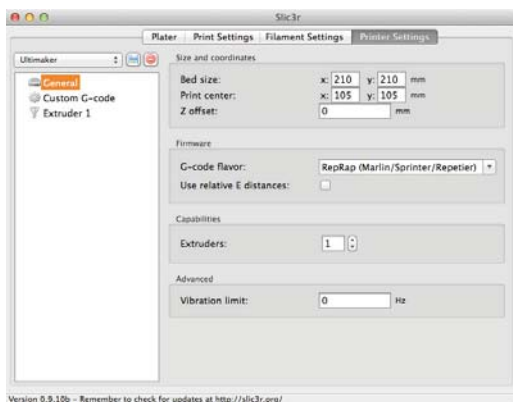
<i>Enable fan if layer print time is below</i> (włącz wentylator, gdy czas drukowania warstwy jest krótszy niż)	60 sekund
<i>Slow down if layer print time is below</i> (zwolnij, gdy czas drukowania warstwy jest krótszy niż)	15 sekund
<i>Min print speed (minimalna prędkość drukowania)</i>	10 mm/s

Minimalną prędkość drukowania można ustawić bardzo małą; zaowocuje to dużym zróżnicowaniem tej prędkości podczas trudnych wydruków.

Może się też okazać, że dla różnych modeli potrzebne są różne progi chłodzenia, a wtedy warto pokusić się o przygotowanie odrębnych profili dla poszczególnych rodzajów modeli — na przykład jeden dla obiektów z wieloma kolumnami, drugi dla obiektów pustych, trzeci dla popiersi (w których szczegóły są bardzo ważne) itd.

Etap 4. Ustawienia drukarki

W końcu możemy przejść do ostatniej zakładki, *Printer Settings* (ustawienia drukarki), pokazanej na rysunku 5.22. Jednak zanim zaczniesz cokolwiek tutaj zmieniać, weź linijkę i zmierz długość oraz szerokość obszaru roboczego drukarki. Wyniki pomiarów wpisz w odpowiednich polach w wierszu *Bed size* (wymiary stolika). W polach *Print center* (środek druku) wpisz wartości o połowę mniejsze — wtedy drukowanie rozpocznie się dokładnie na środku stolika.



Rysunek 5.22. Ustawienia drukarki

Wartością domyślną parametru *Z offset* (przesunięcie wzdłuż osi Z) jest 0 i nie należy jej zmieniać, jeśli do każdego drukowania używany jest ten sam stolik (lub o takiej samej grubości). Jeśli używasz zdejmowalnej nakładki podgrzewanej, możesz utworzyć dla niej zestaw profili z parametrem *Z offset* równym jej grubości. Potem drukarka będzie samoczynnie ustawiać wyciskarkę na odpowiedniej wysokości.

Z listy rozwijanej *G-code flavor* (odmiana kodu G) wybierz pozycję, która będzie najlepiej pasowała do Twojej drukarki. W wielu przypadkach dobrze sprawdza się opcja *RepRap (Marlin/Sprinter/Repetier)*.

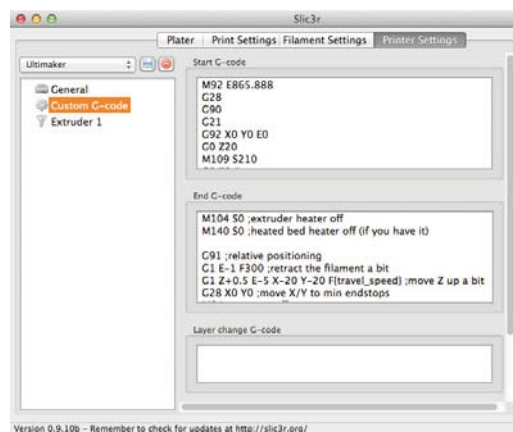
Pole wyboru *Use relative E distances* (zastosuj odległości względne) pozostaw niezaznaczone, chyba że masz absolutną pewność co do tego, że drukarka wyznacza położenie wyciskarki w sposób względny. W większości przypadków stosowane są współrzędne bezwzględne — końcowe poło-

żenie w bieżącym ruchu wyciskarki jest określone w kodzie G niezależnie od miejsca, z którego ten ruch się rozpoczyna.

Wartość parametru *Extruders* (wyciskarki) należy ustawić zgodnie z liczbą wyciskarek. Jeśli jest ich więcej niż jedna, trzeba też wrócić do zakładki z ustawieniami druku i wprowadzić odpowiednie zmiany w kategorii *Multiple Extruders*.

Własny kod G

W kategorii *Custom G-code* (własny kod G), pokazanej na rysunku 5.23, istnieje możliwość zmiany domyślnych ustawień kalibracyjnych (kroków na mm), umiejscowienia wyciskarki w odpowiednim punkcie startowym, a także wielu innych rzeczy.



Rysunek 5.23. Zmiana ustawień za pomocą kodu G

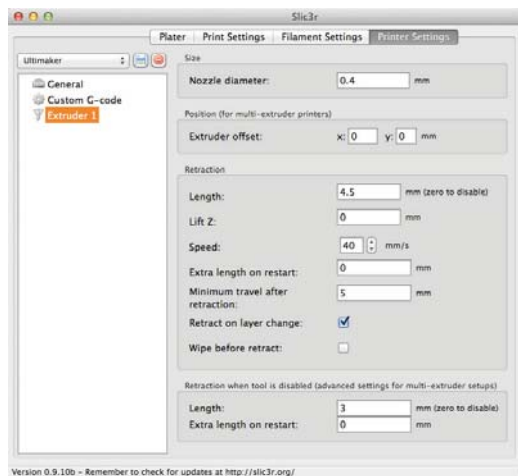
Własny kod G jest niemal zawsze zależny od modelu drukarki, więc zanim zaczniesz tu cokolwiek zmieniać, zapoznaj się z odpowiednim rozdziałem dokumentacji swojego sprzętu.

W części *Start G-code* (kod G rozruchu) zawarte są polecenia zerowania wszystkich trzech osi, rozgrzewania wyciskarki i stolika, testowania wyciskarki i rozpoczynania druku.

Polecenia z części *End G-code* (kod G zakończenia) zazwyczaj obejmują wyłączenie silnika wyciskarki i grzałki stolika, ponowne wyzerowanie wszystkich trzech osi i obniżenie stolika w celu ułatwienia wyjęcia modelu.

Ustawienia wyciskarki

Pozostała jeszcze do omówienia kategoria *Extruder 1* (wyciskarka 1), pokazana na rysunku 5.24. Wartość parametru *Nozzle diameter* (średnica dyszy) powinna być podana w dokumentacji technicznej drukarki, a jeśli nie masz dostępu do takich danych, weź cyfrową suwmiarkę i sam wykonaj odpowiedni pomiar. Zazwyczaj będzie to 0,35, 0,4 lub 0,5 mm.



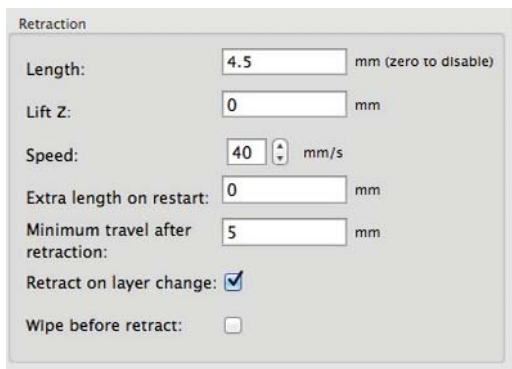
Rysunek 5.24. Ustawienia wyciskarki

Jeśli drukarka ma tylko jedną wyciskarkę, parametr *Extruder offset* (odstęp wyciskarki) możesz pominąć. Przy wielu wyciskarkach służy on do ustawiania między nimi odstępów w poziomie i w pionie.

Następna grupa ustawień dotyczy retrakcji, ale ponieważ sama retrakcja wymaga szerszego omówienia, postanowiłem przeznaczyć na to cały odrębny punkt.

Retrakcja

Możliwość ustawienia parametrów retrakcji (patrz rysunek 5.25) jest jedną z większych zalet programu Slic3r i pomaga zdecydowanie poprawić jakość druku. Wycofywanie gorącego filamentu przez silnik wyciskarki na czas jej jałowego ruchu zapobiega wyciekaniu roztopionego tworzywa. Długość wycofanego filamentu będzie zależała w dużej mierze od silnika i przekładni mechanizmu wyciskającego.



Rysunek 5.25. Ustawienia retrakcji

Jeśli nie wiesz, jaką długość (*Length*) retrakcji ustawić, zacznij od 0,75 mm i zwiększaj tę wartość, jeśli nadal podczas jałowych ruchów wyciskarki ciągnie się za nią cienka nić tworzywa. Zaproponowana przeze mnie wartość jest tak duża ze względu na zastosowaną w Ultimakerze przekładnię wyciskarki.

Lift Z (zwiększ Z) powoduje uniesienie wyciskarki (lub obniżenie stolika) na czas retrakcji. Powrotne obniżenie następuje dopiero po przesunięciu wyciskarki do początku nowej ścieżki. Cały ten zabieg ma na celu zapobieżenie uderzeniom dyszy o fragmenty już wydrukowane. Jeśli drukowany obiekt jest wąski i wysoki, takie uderzenie mogłoby go łatwo strącić ze stolika. W takiej sytuacji warto podnieść wyciskarkę na wysokość równą grubości jednej warstwy. Z kolei gdy przedmiot jest raczej niski i ma szeroką podstawę, można pozostawić wartość 0.

Parametr *Speed* (szybkość) określa szybkość, z jaką filament ma być przesuwany podczas retrakcji. Ruch ten powinien być dość szybki, więc dobrze jest wykonać kilka prób w celu ustalenia, jaka szybkość jest możliwa do osiągnięcia przy danej wyciskarce. Proponuję zacząć od 15 mm/s i zwiększać tę wartość stopniowo, obserwując, czy przy nowej prędkości silnik i przekładnia wyciskarki są w stanie skutecznie przesunąć filament w kierunku przeciwnym do roboczego.

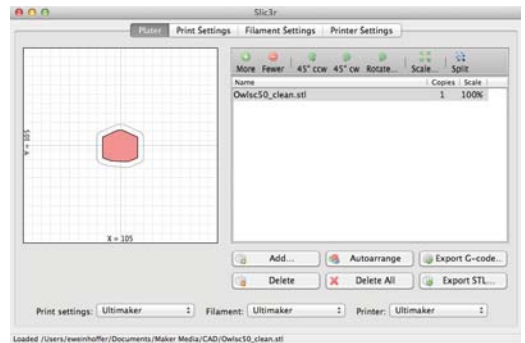
Extra length on restart (dodatkowa długość przy ponownym starcie) oznacza długość filamentu wyciśniętego przed rozpoczęciem następnej ścieżki druku. Ja tego nie używam, bo nie chcę, żeby tworzywo opadało w miejscu, w którym go być nie powinno. Jedynym uzasadnieniem wpisania tutaj wartości różnej od zera mogłyby być trudności z wznowieniem normalnej pracy przez wyciskarkę po retrakcji, ale w takich przypadkach, radziłbym raczej zmniejszenie długości retrakcji i (lub) jej szybkości.

Minimum travel after retraction (minimalny przesuw po retrakcji) określa minimalną długość ruchu jałowego wyciskarki, przed którym retrakcja w ogóle powinna być wykonana. Jeśli ustawisz, powiedzmy, 3 mm, a odległość między kolejnymi ścieżkami druku będzie mniejsza, wyciskarka przeskoczy od jednej do drugiej bez retrakcji. Jest to swego rodzaju zabezpieczenie silnika wyciskarki przed wykonywaniem niepotrzebnej pracy. Sądzę, że na początek można ustawić tę odległość równą 2 mm.

Dwie ostatnie opcje odnoszą się do systemów wielogłowicowych. Gdy jedna z wyciskarek jest wyłączona, można ją zmusić do wykonania retrakcji, aby nie wyciekła z niej tworzywo w czasie, gdy inne pracują. W układzie wielogłowicowym poszczególne wyciskarki są często bezczynne przez dłuższy czas, aby wszystkie naraz mogły przejść do następnej warstwy, a to oznacza, że parametr *Extra length on restart* może być jak najbardziej przydatny.

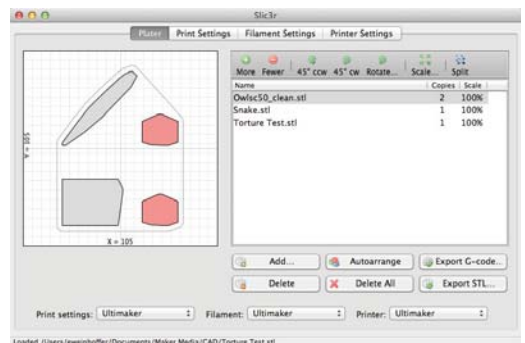
Etap 5. Powrót do zakładki Plater

Wreszcie nadszedł czas na omówienie zawartości zakładki *Plater*! Kliknij przycisk *Add* (dodaj), aby wczytać plik z projektem obiektu, który ma być drukowany. Plik możesz otworzyć również przez przeciągnięcie go na kratkowane pole w lewej części okna programu. Obiekt zostanie automatycznie osadzony dokładnie na środku obszaru roboczego (patrz rysunek 5.26).



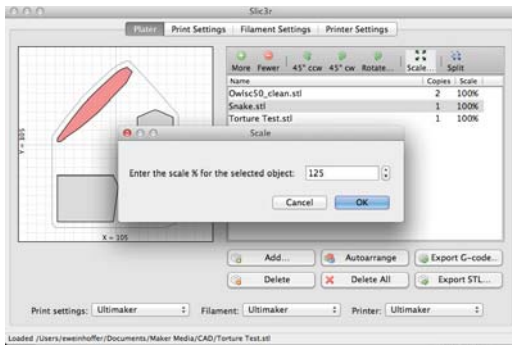
Rysunek 5.26. Model z otwartego pliku jest umieszczany na środku płyty roboczej

W ten sam sposób możesz dodać następne modele, a za pomocą przycisku *More* (więcej) możesz skopiować te, które już są na płycie i wcześniej je zaznaczyłeś (modele zaznaczone są wyróżnione kolorem czerwonym). Dodawane modele są automatycznie rozmieszczane w obszarze roboczym (patrz rysunek 5.27).



Rysunek 5.27. Dodawanie następnych obiektów do druku

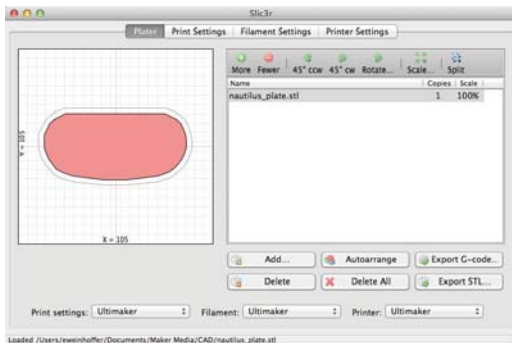
Za pomocą przycisków *45° ccw* (45° w lewo) i *45° cw* (45° w prawo) możesz obracać modele o 45° w lewo lub w prawo, a po kliknięciu przycisku *Rotate* (obróć) uzyskasz dostęp do okna dialogowego (patrz rysunek 5.28), w którym będziesz mógł wpisać dowolny kąt obrotu. Podobne okno, otwierane za pomocą przycisku *Scale* (skaluj), służy do skalowania modeli.



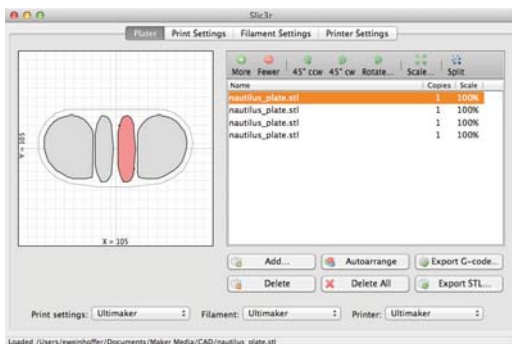
Rysunek 5.28. Obracanie modeli

Praca z kilkoma modelami naraz

Jeśli zaimportujesz plik zawierający kilka modeli, możesz te modele wyodrębnić za pomocą przycisku *Split* (podziel). Sytuację taką ilustrują rysunki 5.29 i 5.30.

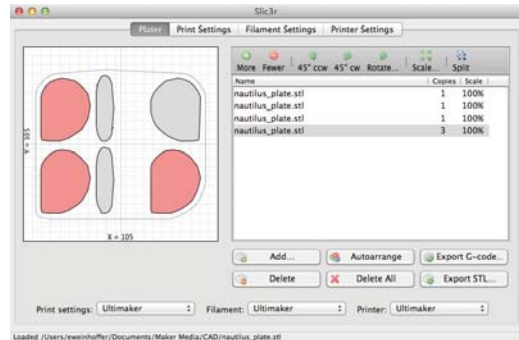


Rysunek 5.29. Plik źródła przed podziałem



Rysunek 5.30. Po wyodrębnieniu części składowych

Możliwość takiego podziału przydaje się, gdy zależy nam na wydrukowaniu jakichś części w kilku egzemplarzach, a nie chcemy powielać wszystkich (patrz rysunek 5.31).



Rysunek 5.31. Powielanie wybranych elementów

Dobrej zabawy!

To już wszystko! Powodzenia w pracy z programem Slic3r!

Autorem pokazanego na kilku rysunkach wizualizatora kodu G jest Jeremy Herrman. Wizualizator ten nazywa się *GCode Viewer* (<http://jherrm.github.io/gcode-viewer/>) i działa w ramach przeglądarki internetowej.

Eric Weinhofer jest inżynierem pracującym w Maker Shed na stanowisku technologa. Przygotowuje zestawy do samodzielnego montażu i gromadzi produkty, które później są sprzedawane w sklepie Maker Shed. Gdy trafia na coś interesującego, pisze o tym na blogu i na łamach czasopisma.

CZĘŚĆ III

Skanowanie 3D

Wykonywanie skanów przestrzennych i poprawianie ich

6

Użyj Kinecta wraz z programami ReconstructMe i 123D Catch, aby tworzyć trójwymiarowe modele rzeczywistych obiektów i przygotowywać je do druku przestrzennego

Autor: **Anna Kaziunas France**

Rozdział ten jest fragmentem książki *Getting Started with MakerBot* autorstwa Bre Pettisa, Anny Kaziunas France i Jaya Shergilla.

Wszystko to jest eksperymentem.
Tu nie ma „metody”.

— Bre Pettis

Żeby utworzyć dobrej jakości skan trójwymiarowego obiektu, który nadawałby się do wydrukowania, wcale nie trzeba mieć zaawansowanego technologicznie i drogiego skanera 3D. Obecnie jest coraz więcej stosunkowo tanich sposobów na kopiowanie fizycznie istniejących przedmiotów do wirtualnego świata cyfrowego. Niektóre wymagają użycia dodatkowego sprzętu z kamerą RGB i czujnikami głębi, na przykład Microsoftowego Kinecta czy Asusowego Xtiona (patrz rysunek 6.1; porównanie tych urządzeń znajdziesz w ramce „Kinect kontra Xtion”), ale również można wykorzystać zdjęcia zrobione za pomocą cyfrowego aparatu fotograficznego — wystarczy nawet taki, jaki jest w większości telefonów komórkowych. Przy użyciu odpowiednich programów komputerowych można na podstawie takich zdjęć wykonać cyfrowy model, który będzie się nadawał do wydrukowania w trzech wymiarach.



Rysunek 6.1. *Microsoftowy Kinect i Asusowy Xtion*

Na czym polega skanowanie 3D?

Skaner przestrzenny analizuje powierzchnię obiektu i na tej podstawie tworzy jego trójwymiarową reprezentację cyfrową. Urządzenia takie jak Kinect i Xtion emitują w stronę obiektu wiązki promieniowania podczerwonego i mierzą odległości, w jakich każda z nich jest odbijana. Na tej podstawie generowana jest tzw. *chmura punktów* (patrz rysunek 6.2). Każdy punkt w takiej chmurze jest reprezentowany przez współrzędne X, Y i Z.

Kinect kontra Xtion

Gdy tylko hackerzy rozszyfrowali działanie Kinecta i zaczęli wymyślać dla niego inne zastosowania niż to, do którego został fabrycznie przystosowany, jako pierwsze na liście znalazło się skanowanie 3D. Kinect choć wspaniały i niezwykły nie był jedynym tego rodzaju urządzeniem. Nowe urządzenie stworzyła izraelska firma PrimeSense i udostępniła ogółowi pakiet narzędzi programistycznych (SDK) o nazwie OpenNI (Open Natural Interaction), szybko znalazły się też firmy, takie jak PROFACTOR GmbH (jej dziełem jest ReconstructMe), które zaczęły pracować nad nowymi sposobami programowego wykorzystania tego rewelacyjnego sprzętu. A najlepsze jest to, że ich programy można z łatwością przystosować do współpracy z każdym urządzeniem zbudowanym w oparciu o technologię wymyśloną w PrimeSense.

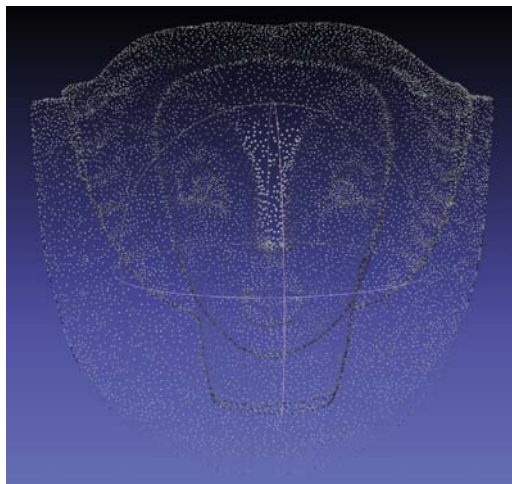
Jednym z takich programów jest opracowany przez firmę Asus Xtion (kosztuje 160 dolarów), który ma kilka istotnych zalet w porównaniu z Kinectem:

1. Samo urządzenie jest znacznie mniejsze (mniej więcej o połowę).
2. Jest też lżejsze (o pół funta).
3. Nie wymaga oddzielnego zasilania (może być zasilane przez złącze USB).

Niestety, Xtion ma też swoje wady:

1. Jest droższy.
2. Nie współpracuje ze wszystkimi aplikacjami napisanymi dla Kinecta.
3. Nie ma sterowanego programowo silnika (silnik zainstalowany w Kineccie może służyć do poruszania kamerą).

Mimo wszystko, jeśli szukasz przenośnej kamery umożliwiającej skanowanie 3D, Xtion jest wart rozważenia.



Rysunek 6.2. Chmura punktów

Chmura jest następnie przetwarzana (*przebudowywana*) przez program skanujący, w wyniku czego otrzymujemy cyfrową reprezentację obiektu w formie *siatki* (patrz rysunek 6.3). Siatka jest podobna do chmury punktów, z tym że oprócz samych punktów (wierzchołków) zawiera jeszcze krawędzie, które łączą sąsiednie wierzchołki i wyznaczają brzegi ścianek (płaskich powierzchni ograniczonych krawędziami). Wszystkie te elementy formują kształt trójwymiarowego obiektu. W takiej właśnie postaci (jako powierzchnia złożona z trójkątnych ścianek) obiekt jest zapisywany w pliku STL.



Rysunek 6.3. Siatka

Działanie programu 123D Catch polega na analizie zestawu (od 20 do 40) zdjęć ukazujących ten sam obiekt z różnych punktów widzenia. (Analizę tę wykonują działające w chmurze systemy komputerowe firmy Autodesk). W wyniku takiej analizy program jest w stanie odtworzyć trójwymiarowy kształt obiektu prezentowanego na zdjęciach.

Ograniczenia

Ograniczenia w skanowaniu 3D zależą od zastosowanej technologii. Przykładowo skanery optyczne mają problem ze skanowaniem obiektów przezroczystych i błyszczących, a stykowe sondy digitalizujące mogą skanować jedynie górną powierzchnię obiektu. Także wszystkie omawiane tutaj programy mają swoje mocne i słabe strony.

Wybór programu do skanowania zależy od wielkości obiektu i sprzętowej konfiguracji komputera. Najpopularniejszymi aplikacjami tego typu są 123D Catch oraz ReconstructMe, i właśnie na ich przykładzie pokażę, jak należy się takimi narzędziami posługiwać. Każdy z tych skanujących pakietów ma swoje wady i zalety.

Dawniej do skanowania przestrzennego potrzebny był zaawansowany technologicznie skaner i drogie oprogramowanie, ale dzięki wspomnianym wyżej aplikacjom można teraz bez wydawania wielkich sum wykonać skan w pełni nadający się do druku.

123D Catch

123D Catch jest darmowym programem rozwijanym i udostępnianym przez firmę Autodesk. Umożliwia on wygenerowanie cyfrowego modelu 3D na podstawie zestawu zdjęć rzeczywistego obiektu. Program można pobrać i zainstalować na komputerze z systemem Windows, na iPadzie i na iPhone, ale można go też uruchomić w przeglądarce internetowej. Jego działanie polega na pobraniu zdjęć ukazujących obiekt z różnych stron i przekazaniu ich w celu przetworzenia do serwera pracującego w chmurze. Po wykonaniu swojego zadania, czyli złożeniu z tych zdjęć trójwymiarowego modelu, serwer odsyła uzyskany rezultat do dalszej edycji. Omawiany program można pobrać lub uruchomić za pośrednictwem strony <http://www.123dapp.com/catch>.

Posługiwanie się programem 123D Catch

Jakość skanu zwróconego przez program 123D Catch zależy w dużej mierze od jakości i spójności zdjęć, które mu dostarczysz. Oto kilka wskazówek, które Ci pomogą wybrać obiekt i należyście go obfotografować, aby uzyskany rezultat był zgodny z oczekiwaniami.

Unikaj pewnych obiektów

Do skanowania za pomocą programu 123D Catch nie wybieraj obiektów błyszczących (patrz rysunek 6.4), na których tworzą się odbłaski, a także takich, które mają powierzchnie lustrzane bądź przezroczyste. Przykładowo okna odbijające światło wyjdą powyginane jak krzywe zwierciadła w lunaparku, a przezroczyste szkła okularów spowodują powstanie dziur w modelu.



Rysunek 6.4. Unikaj obiektów lśniących — program 123D Catch nie radzi sobie z nimi najlepiej

Zaplanuj sesję zdjęciową

Zanim przystąpisz do fotografowania, zaplanuj kolejność, w jakiej będziesz wykonywał kolejne ujęcia. Ważny jest również wybór długości ogniskowej. Jeśli to tylko możliwe, ustaw obiekt na stoliku, wokół którego możesz się swobodnie przemieszczać, i staraj się zachować stałą odległość od niego przy robieniu kolejnych zdjęć. Dokładne zaplanowanie tych czynności jest niezbędne, aby wszystko się udało.

Oznacz kierunki

Jeśli obiekt ze wszystkich stron wygląda bardzo podobnie, pomyśl nad jakimś systemem znaczników ułatwiających ustalenie kierunków. Program 123D Catch ma problem z obiektami symetrycznymi i trzeba mu pomóc w określeniu stron modelu. Do prawidłowego złożenia wybranego zdjęcia z dwoma innymi potrzebne są przynajmniej cztery punkty orientacyjne. Dobrze sprawdzają się w tej roli kontrastowe kawałki taśmy lub karteczki samoprzylepne. Porozmieszczaj je tak, aby na każdym zdjęciu były widoczne co najmniej cztery.

Wykorzystaj obiekty w tle

W miarę możliwości fotografuj również elementy tła widoczne wokół obiektu. Ułatwi to programowi właściwą ocenę głębi. Tło w postaci gładkich ścian jest tu bezużyteczne. Nie fotografuj obiektu na tle jednokolorowych płaskich powierzchni, takich jak biały obrus. Lepszy rezultat uzyskasz, jeśli w tle będzie jakiś wyraźny deseń (patrz rysunek 6.5), bo wtedy program będzie mógł łatwiej odróżnić interesujący Cię obiekt od powierzchni, na której spoczywa.



Rysunek 6.5. Zastosuj kontrastowe tło

Jakim aparatem fotografować?

Wystarczy zwykły aparat kompaktowy, a nawet ten z telefonu komórkowego lub iPada, byleby miał matrycę o rozdzielczości co najmniej 3 megapikseli. Mnie udało się uzyskać całkiem dobry rezultat ze zdjęć zrobionych za pomocą iPhone'a 4S.

Obejrzyj filmy szkoleniowe na temat programu 123D Catch

Więcej przydatnych informacji na temat używania programu 123D Catch znajdziesz pod adresem <http://www.123dapp.com/howto/catch>.

Fotografowanie

Po zaplanowaniu i przygotowaniu sesji zdjęciowej czas na jej realizację. Musisz w sposób metodyczny obfotografować obiekt ze wszystkich stron. Oto kilka praktycznych uwag na temat tego etapu.

Dostarcz programowi dostateczną ilość informacji

Aby program mógł na podstawie Twoich zdjęć wygenerować trójwymiarowy model sfotografowanego obiektu, musi mieć do tego odpowiednią ilość danych. Fotografując, zmieniaj kąt widzenia między kolejnymi ujęciami o 5 – 10° (patrz rysunek 6.6), tak aby te ujęcia nachodziły na siebie przynajmniej w połowie. Przemieszczaj aparat w stałych odstępach i zgodnie z łatwym do przewidzenia schematem — od lewej do prawej i z góry w dół. Każdy punkt obiektu powinien się znaleźć na przynajmniej czterech zdjęciach. Jeśli

zdjęcia nie będą zawierały należytych danych, możesz otrzymać model z pełną powierzchnią w miejscu, w którym powinna być pustka, lub z pustką zamiast ciągłej powierzchni.



Rysunek 6.6. Kąt między kolejnymi ujęciami nie powinien być większy niż $5 - 10^\circ$

Wypełnij kadr

Fotografuj tak, aby obiekt wypełniał kadr, ale też by mieścił się w nim całkowicie (patrz rysunek 6.7). Postępuj systematycznie, fotografując od góry do dołu i od lewej do prawej. Uporządkowanie ujęć pozwoli Ci później szybko ustalić, które z nich jest powodem błędu w wygenerowanym modelu (a błędy zawsze się zdarzają). Gdy już zaczniesz fotografować, nie zmieniaj ogniskowej obiektywu, bo to mogłoby wprowadzić zniekształcenia obrazu i uniemożliwić programowi właściwe ułożenie zdjęć.



Rysunek 6.7. Ujęcie jest prawidłowe, gdy obiekt wypełnia cały kadr

Zastosuj jednorodne oświetlenie

Upewnij się, że obiekt jest jednakowo oświetlony ze wszystkich stron. Zadbaj też, by zdjęcia nie były ani prześwietlone, ani niedoświetlone, bo to może doprowadzić do pominięcia ważnych szczegółów modelu.

Bezpośrednie światło słoneczne nie jest najlepsze, ponieważ tworzy zarówno jaskrawe odbłaski, jak i mocne cienie, co utrudnia utrzymanie stałego poziomu ekspozycji wszystkich ujęć. Najłatwiej można to osiągnąć przy świetle rozproszonym, jakie występuje podczas dni pochmurnych i o zmierzchu. Jeśli planujesz sesję plenerową, zorganizuj ją w takich właśnie warunkach.

Utrzymaj stałą ostrość zdjęć i nie zmieniaj orientacji kadrów

Zdjęcia poruszone i nieostre znacznie pogarszają jakość otrzymanego później rezultatu. Zanim zakończysz sesję, przejrzyj pod tym kątem wszystkie zarejestrowane zdjęcia i jeśli zauważysz, że któreś z nich jest niezbyt ostre, wykonaj je ponownie. Zarówno iPady i iPhone'y, jak i cyfrowe aparaty fotograficzne umożliwiają natychmiastowy podgląd zarejestrowanych obrazów, więc wykorzystaj to i nie kończ sesji, dopóki nie będziesz pewny, że wszystkie zdjęcia są dobrej jakości.

Wszystkie zdjęcia powinny mieć też jednakową *głębokość ostrości*. Jeśli przy pierwszym ujęciu ustawiłeś ostrość na fotografowanym obiekcie, a tło pozostawiłeś rozmyte, nie zmieniaj tego już do końca sesji. Nie zmieniaj również orientacji kadru — wybierz układ pionowy lub poziomy i zachowaj go przez cały czas fotografowania.

Ile potrzeba zdjęć?

Zbyt duża liczba zdjęć nie spowoduje, że rezultat będzie lepszy. Ważne jest, aby wszystkie były zrobione w regularnych odstępach i w dostatecznym stopniu zachodziły na siebie. Przy dużej ich liczbie czas przetwarzania będzie odpowiednio dłuższy, a jeśli będą niespójne, wynik i tak

będzie kiepski. W zależności od obiektu na ogół wystarcza od 20 do 55 zdjęć, a resztą, jeśli fotografujesz za pomocą iPada lub iPhone'a, i tak nie zrobisz ich więcej niż 40.

Fotografowanie szczegółów

Jeśli chcesz uchwycić drobne szczegóły, najpierw obfotografuj cały obiekt, a dopiero potem przejdź do fotografowania detali. Zadbaj jednak, aby również nowe zdjęcia w połowie zachodziły na te, które zrobiłeś z większej odległości. Tylko wtedy program będzie mógł wszystko dobrze poskładać. Przejście od ogółu do szczegółu należy wykonać bardzo starannie. Każde następne zbliżenie powinno w połowie nachodzić na poprzednie. Nie rób nagłego zbliżenia, bo program nie wykona skanowania lub wykona je błędnie.

Przez wykonanie całej serii zdjęć zbliżeniowych na jednym tylko poziomie uzyskałem bardzo dobry skan szczegółu. Nawet naprawdę małą głębia została wiernie odtworzona.

— Michael Curry „Skimbal”

W przypadku obiektów dużych, jak pomniki, uchwycenie zarówno całości, jak i najdrobniejszych szczegółów może być niemożliwe. W takich sytuacjach dla detali trzeba wykonać odrębne skany i nie obejdziesz się bez eksperymentowania. Kilka razy zdarzyło mi się, że aplikacja w moim iPhonie odmówiła przetworzenia takiej serii zdjęć i tylko wyświetliła duży biały znak ×. Jednak zanim się okaże, czy zdjęcia są użyteczne, czy nie, zawsze upływa trochę czasu, więc warto przygotować sobie jeszcze jeden lub dwa zestawy (zwłaszcza gdy się jest w podróży i nie ma pewności, że się jeszcze kiedyś w to samo miejsce wróci) na wypadek, gdyby pierwszy okazał się nieudany.

Jeśli takie połączenie ogółu i szczegółu nie wychodzi, spróbuj wykonać oddzielne skany dla całego obiektu i dla detalu.

Nie zniechęcaj się pierwszymi niepowodzeniami; próbuj nadal, a wkrótce poczujesz, na czym ten cały proces polega, i będziesz wiedział, co trzeba zrobić, aby zminimalizować problemy.



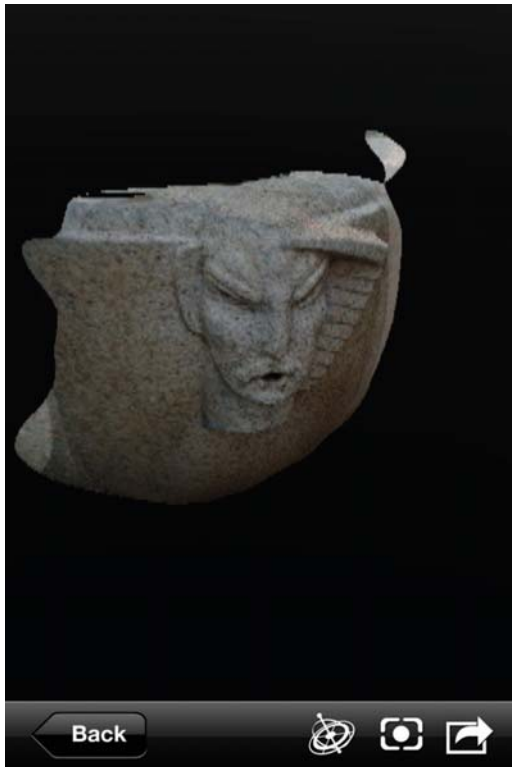
Nie edytuj ani nie przycinaj zdjęć przed ich wczytaniem do programu! Każda zmiana kolorystyki lub jasności może wprowadzić w błąd aplikację skanującą i spowodować, że otrzymany później rezultat nie będzie optymalny. Wyślij do serwera w chmurze zdjęcia w takim stanie, w jakim zostały zarejestrowane.

Wysyłanie zdjęć do serwera w chmurze

Zbierz wykonane w opisany wyżej sposób zdjęcia i wyślij je do serwera 123D Catch za pomocą wybranej przez siebie aplikacji.

Jeśli używasz iPhone'a lub iPada

Jeśli robisz zdjęcia przy użyciu iPhone'a lub iPada i masz zainstalowaną na tym urządzeniu odpowiednią wersję aplikacji 123D Catch, użyj jej i wyślij zdjęcia do serwera (patrz rysunek 6.8). Gdy ich przetwarzanie się zakończy, aplikacja natychmiast Cię poinformuje, że skan, zwany inaczej fotosceną (*photoscene*), jest już gotowy.



Rysunek 6.8. Gotowa fotoscena w iPhone

Jeśli używasz komputera z systemem Windows

Przenieś zdjęcia do komputera, uruchom aplikację 123D Catch i wybierz *Create a New Capture* (utwórz nowy model). Otworzy się okno dialogowe, za którego pośrednictwem będziesz musiał się zalogować na swoim koncie w firmie Autodesk (albo utworzyć takie konto).

Jeśli używasz aparatu fotograficznego i nie masz systemu Windows

Przenieś zdjęcia do komputera, a następnie otwórz stronę internetową <http://apps.123dapp.com/catch> i za jej pośrednictwem prześlij je do serwera. Przetwarzanie ich zajmie serwerowi trochę czasu, ale nie musisz czekać na zakończenie tej pracy. Gotowa fotoscena zostanie umieszczona w dziale *Models* (modele) Twojego konta.

Przy wysyłaniu zdjęć za pomocą aplikacji windowsowej lub internetowej możesz zaznaczyć je wszystkie i wysłać naraz, a nie pojedynczo.

Pobieranie wygenerowanej siatki

Gdy fotoscena będzie już gotowa, pobierz ją w formacie umożliwiającym dalszą edycję.

Po przetworzeniu zdjęć zaloguj się na swoje konto. Bez względu na sposób, w jaki przesyłałeś zdjęcia, wygenerowany skan będzie dostępny w sekcji *Models*.

Kliknij model, aby go otworzyć. Teraz możesz pobrać plik STL i wydrukować model w domu albo możesz go edytować online za pomocą aplikacji z pakietu 123D.

Plik STL ma zawsze nazwę *viewable.stl*.

Zarówno w wersji online, jak i desktopowej aplikacja 123D Catch zawiera narzędzia umożliwiające podział modelu na warstwy w celu przygotowania go do druku 3D, z tym że wersja online jest zawsze bardziej aktualna i ma lepsze narzędzia. Podczas edytowania siatki możesz stosować techniki opisane w podrozdziale „Porządkowanie i naprawianie skanów przeznaczonych do druku 3D”.

ReconstructMe

ReconstructMe jest to system odtwarzania obiektów przestrzennych, który umożliwia podgląd rezultatów skanowania modelu w czasie rzeczywistym. Współpracuje z Microsoftowym Kinectem (w wersjach dla Xboksa i PC) oraz Asusowym Xtionem Pro. Obecnie dostępne są dwie wersje tego oprogramowania: darmowa (niekomercyjna) i płatna (komercyjna). System doskonale nadaje się do skanowania dużych obiektów, takich jak ludzie, a gorzej radzi sobie z obiektami małymi i bogatymi w drobne szczegóły.

Skorzystanie z ReconstructMe to obecnie najłatwiejszy sposób na pozyskiwanie kompletnych skanów, ale program ma też kilka technicznych ograniczeń. Po pierwsze, działa tylko w systemie Windows, chociaż można go uruchomić również na innych platformach w ramach maszyn wirtualnych (w systemie Mac można użyć do tego celu aplikacji o nazwie Boot Camp). Po drugie, wymaga bardzo wydajnej karty graficznej. I po trzecie, jest bardzo kapryśny, jeśli chodzi o wersję OpenGL (biblioteki z funkcjami realizującymi operacje w sterowniku karty graficznej). ReconstructMe jest ciągle unowocześniany, więc żeby go w pełni poznać, musisz zajrzeć do aktualnej dokumentacji (<http://reconstructme.net/usage/>). Przyda Ci się także znajomość parametrów karty graficznej.

ReconstructMe QT (<http://reconstructme.net/projects/reconstructmeqt/>) jest odmianą systemu wyposażoną w graficzny interfejs użytkownika (ReconstructMe jest aplikacją konsolową). Wykorzystuje ReconstructMe SDK i jest dostępny w darmowej wersji niekomercyjnej oraz płatnej komercyjnej.

Instalacja programu ReconstructMe

Pobierz program

Otwórz stronę internetową <http://reconstructme.net/pricing/> i pobierz z niej darmową wersję Lite programu ReconstructMe.

Instalowanie ReconstructMe w systemie Mac przy użyciu maszyny wirtualnej

Aplikację ReconstructMe można zainstalować w systemie Mac bez używania Boot Campa — wystarczy uruchomić wirtualną maszynę Parallels lub VMware Fusion i postępować niemal tak samo jak podczas instalacji w systemie Windows. Jedyną różnicą polega na tym, że nie ma tu możliwości zaktualizowania sterownika karty graficznej przez pobranie najnowszej wersji od producenta karty. Trzeba też samodzielnie zainstalować obsługę OpenCL. Bibliotekę uruchomieniową OpenCL CPU dla Windows można pobrać ze strony <http://software.intel.com/en-us/vcsource/tools/opencl-sdk>.

Jeśli wybierzesz takie rozwiązanie, nie będziesz w stanie wykonać skanu w czasie rzeczywistym. Zamiast tego będziesz musiał najpierw zapisać obiekt za pomocą narzędzia *ReconstructMe Record* (zapis) i dopiero potem przeprowadzić skanowanie przy użyciu narzędzia *ReconstructMe Replay* (odtworzenie).

Możliwość zainstalowania ReconstructMe przy użyciu maszyny wirtualnej ma charakter eksperymentalny i rezultaty mogą być rozmaite.

Jak odtworzyć samego siebie (lub inną osobę)

Po zainstalowaniu programu zajrzyj do jego dokumentacji i dowiedz się, jak go uruchomić. Istnieje kilka różnych trybów i rozdzielczości skanowania obiektów za pomocą systemu ReconstructMe i wciąż dodawane są nowe funkcje.

Jeśli skanowanie nie powiedzie się zarówno w trybie standardowym, jak i wysokorozdzielczym, będziesz musiał uruchomić narzędzie *ReconstructMe Record* (zapis). Po zapisaniu skanu możesz go odtworzyć za pomocą narzędzia *ReconstructMe Replay* (odtworzenie) i zapisać w pliku STL.

Po uporaniu się z instalacją programu ReconstructMe i upewnieniu się, że wszystko działa, możesz spróbować zeskanować samego siebie (lub kogoś innego). Oto krótka podpowiedź, jak należy to zrobić:

1. Usiądź na biurowym fotelu obrotowym.
2. Ustaw Kinecta lub Xtiona w taki sposób, aby w obszarze skanowania znalazła się tylko górna część Twojego ciała.
3. Powoli wykonaj pełny obrót wraz z fotelem, ale nie zmieniaj ułożenia swojego ciała.
4. Zapisz plik w formacie STL (zrób to natychmiast po zakończeniu skanowania, gdy konsola jest otwarta, bo inaczej cały skan przepadnie).
5. Jeśli z powodu mało wydajnej karty graficznej lub zbyt małej ilości RAM-u proces skanowania zostanie przerwany, spróbuj zastosować narzędzie *ReconstructMe Record*, aby zapisać skan, a następnie odtwórz go w celu wygenerowania siatki.

Gdy będziesz skanował samego siebie, usiądź tyłem do Kinecta (Xtiona), a przodem do komputera. Dzięki temu ruchy ręki wciskającej klawisze w celu rozpoczęcia i zakończenia skanowania nie będą rejestrowane.

Po zapisaniu pliku STL otwórz go w programie MeshLab lub Pleasant3D i dokładnie obejrzyj wygenerowany model. Na rysunku 6.9 pokazany jest skan Anny.



Rysunek 6.9. Skan popiersia Anny Kaziunas France

Do wykonania prezentowanych tu skanów użyto programu ReconstructMe zainstalowanego przy użyciu Boot Campa na pochodzącym z połowy 2010 roku 15 calowym MacBooku Pro z systemem OS X 10.8.1 (Mountain Lion), procesorem Intel Core i7 2.66 GHz, pamięcią 8 GB i kartą graficzną NVIDIA GeForce GT 330M 512 MB. Przy takiej konfiguracji byliśmy w stanie wykonać skan w czasie rzeczywistym, ale tylko w trybie standardowym. Ograniczenie co do rozdzielczości spowodowało brak szczegółów na twarzy. Jednak z fałdami tkanin system skanujący radzi sobie znakomicie, więc Anna specjalnie włożyła kapelusz i szal, żeby zatuzszować brak innych detali. Na ogół gładkie elementy garderoby, takie jak kołnierzyki koszul i krawaty, a także gładko ułożone włosy skanują się bardzo dobrze.

Zastosuj uchwyt lub statyw!

Jeśli skanujesz inne osoby lub przedmioty, przydać Ci się może specjalny uchwyt do Kinecta (<http://www.thingiverse.com/thing:18125>) lub złączka umożliwiająca montaż na statywie (<http://www.thingiverse.com/thing:6930>) (patrz rysunek 6.10).



Rysunek 6.10. Kinect z uchwytem

Porządkowanie i naprawianie skanów przeznaczonych do druku 3D

Chociaż coraz łatwiej jest uzyskać skan wysokiej jakości, przekształcenie go w nadający się do druku przestrzennego model bywa czasami dość trudne. Zazwyczaj trzeba włożyć jeszcze sporo pracy w porządkowanie, edycję i naprawę takiego skanu, aby można go było wydrukować.

Najczęstsze wady trójwymiarowych skanów to:

- dziury,
- luźne fragmenty,
- „wtręty” z najbliższego otoczenia modelu lub elementy służące do ustalania jego położenia,
- otwarte ścianki obiektu.

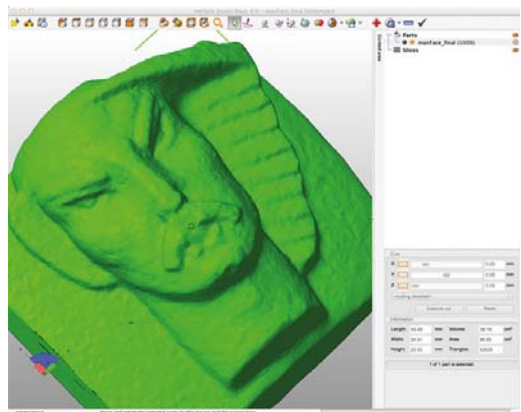
Jednak analizowanie plików STL i wyłapywanie w nich błędów nigdy nie było tak łatwe jak teraz. Każdy z opisanych niżej programów jest już potężnym narzędziem, a użyte razem pozwalają w łatwy sposób przygotować do druku i wydrukować wspólnie wyglądające skany.

Wiele informacji zawartych w tym rozdziale pochodzi z nowatorskiego filmu szkoleniowego zrealizowanego przez Tony'ego Busera (film ten dostępny jest pod adresem <http://www.vimeo.com/38764290>).

Tony zrealizował także nowy, aktualniejszy film pokazujący usprawnione procedury czyszczenia skanów (patrz <https://plus.google.com/101036414115172779753/posts/TFbYJ3Ldv44>).

netfabb

Program netfabb (patrz rysunek 6.11) umożliwia oglądanie i edycję siatek. Za pomocą dostępnych w nim narzędzi można łatwo i szybko wykryć błędy w pliku STL i je naprawić. Z łatwością można odciąć poszarpane fragmenty skanu i go wyrównać. Najczęściej takie odcinanie jest potrzebne w dolnej części, w której trzeba też utworzyć płaską powierzchnię, późniejszą podstawę wydrukowanego modelu.

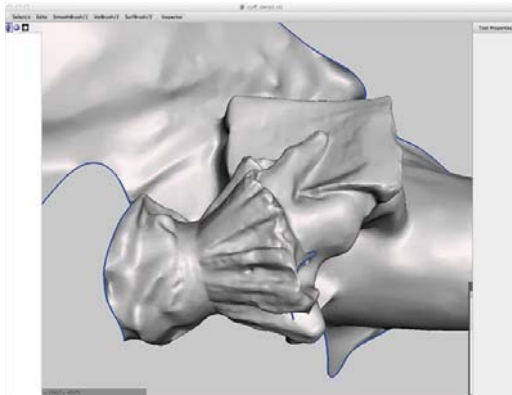


Rysunek 6.11. Skan kamiennej rzeźby wykonany za pomocą aplikacji 123D Catch i wyświetlony w netfabbie

netfabb (<http://www.netfabb.com/>) jest dostępny zarówno w tradycyjnej wersji instalacyjnej, jak i w formie usługi w chmurze. Dla iPhone'a istnieje także w postaci przeglądarki plików STL z dostępem do usługi chmurowej. Z kolei netfabb Studio występuje w wersji płatnej Professional i darmowej Basic. Obie wersje są dostępne dla systemów Windows, Linux i Mac.

Autodesk MeshMixer

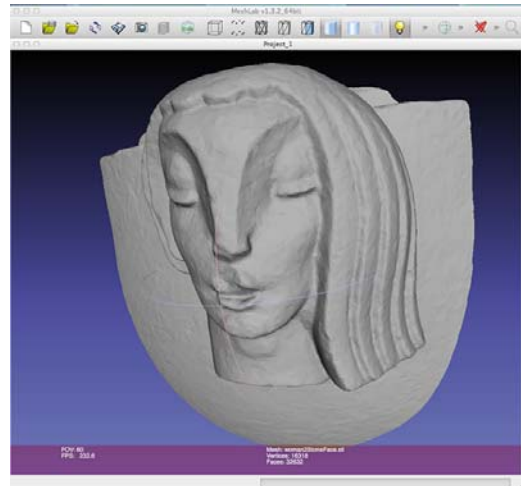
MeshMixer (<http://www.meshmixer.com/>) jest doskonałym narzędziem do łączenia różnych siatek w jeden nowy model (patrz rysunek 6.12). Potrafi też wygładzać nierówności, zgrubienia i inne dziwne artefakty, jakie często występują w zeskanowanych modelach. Umożliwia również szybkie dopełnianie modeli, którym brak spodu, boku lub góry, aby stały się bryłami zamkniętymi.



Rysunek 6.12. Skan rzeźby wykonany za pomocą aplikacji 123D Catch i wyświetlony w programie MeshMixer

MeshLab

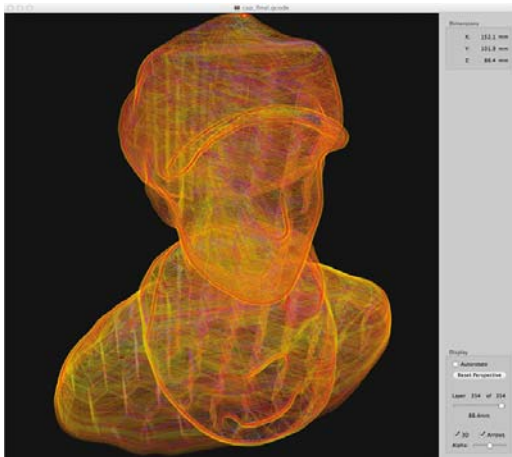
MeshLab (<http://meshlab.sourceforge.net/>) umożliwia naprawianie i edytowanie siatek, ale najcenniejszy jest w nim filtr o nazwie *Poisson*, który znakomicie porządkuje i wygładza skany, czyniąc je zdatnymi do druku (patrz rysunek 6.13). Wyświetlaną siatkę można swobodnie obracać za pomocą myszy, a zatem jest to również niezła przeglądarka plików STL. Program jest dostępny w wieloplatformowej wersji instalacyjnej, a dla systemów iOS i Android jest oferowany w formie przeglądarki modeli. Więcej informacji na temat tego programu znajdziesz w punkcie „Wygładzanie powierzchni siatek”.



Rysunek 6.13. Skan kamiennej rzeźby wykonany za pomocą aplikacji 123D Catch i wyświetlony w programie MeshLab

Pleasant3D

Pleasant3D (<http://www.pleasantsoftware.com/developer/pleasant3d/>) jest programem dostępnym tylko dla systemu Mac i doskonale nadaje się do przeglądania i skalowania modeli STL. Podobnie jak MakerWare umożliwia zmianę wymiarów modelu o ściśle określoną wartość. Potrafi także konwertować pliki STL ASCII na postać binarną i wyświetlać wizualizację kodu G, co pozwala sprawdzić ostateczny wygląd modelu jeszcze przed jego wydrukowaniem (patrz rysunek 6.14).



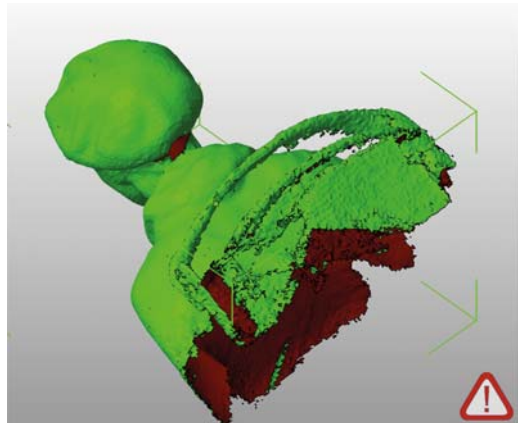
Rysunek 6.14. Wizualizacja kodu G w programie Pleasant3D

Naprawianie typowych skanów

Większość skanów wykonanych za pomocą opisywanych tu systemów będzie miała siatki prawie kompletne, nie licząc sporadycznych dziur, niechcianych dodatków i innych mankamentów, które trzeba będzie naprawić. Jeśli Twojemu skanowi brakuje znacznej części siatki i ma olbrzymią dziurę albo jest skanem samej fasady budynku bądź płaskorzeźby, szukaj porady w podrozdziale „Domykanie skanów reliefowych”. Na razie zajmiemy się naprawianiem mniejszych uszkodzeń.

Naprawianie i porządkowanie skanu w netfabbie

Uruchom program netfabb Studio Basic i za pomocą polecenia *Project/Open* (projekt/otwórz) otwórz w nim plik STL ze skanem modelu (patrz rysunek 6.15).



Rysunek 6.15. Skan wykonany za pomocą aplikacji *ReconstructMe* i wyświetlony w *netfabbie*

Aby naprawić i uporządkować model, postępuj zgodnie z poniższymi wskazówkami.

Wyświetl platformę

Aby ułatwić sobie orientację w ustawieniu modelu, wybierz polecenie *View/Show Platform* (widok/pokaż platformę). Jeśli nie widzisz żółtych konturów platformy, prawdopodobnie musisz oddalić widok modelu.

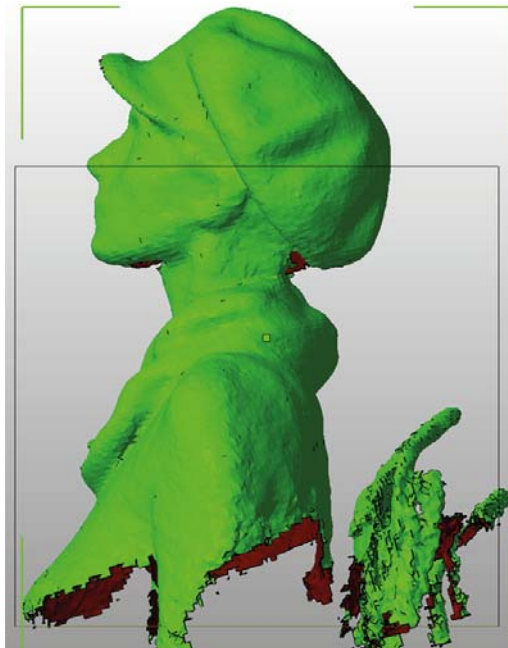
Ustaw model w odpowiednim położeniu

Aby ustawić obiekt na środku platformy, wybierz *Part/Move* (element/przesuń) i w oknie dialogowym, które się otworzy, kliknij kolejno przyciski *To Origin* (na środek) i *Move* (przesuń).

Teraz zbliż widok modelu przez wybranie polecenia *View/Zoom To/All Parts* (widok/przybliż widok/wszystkich elementów).

Kliknij narzędzie zaznaczania (strzałkę) i zaznacz model. Następnie umieść kursor na jednym z zielonych narożników, jakie pojawią się wokół zaznaczonego obiektu.

Gdy kursor przyjmie postać symbolizującą obrót, wciśnij przycisk myszy i obróć model, tak aby głowa była skierowana do góry, a reszta ciała w dół w kierunku platformy (patrz rysunek 6.16).



Rysunek 6.16. Skan wyprostowany

Aby w netfabbie przesunąć widok, przeciągnij myszą, trzymając wciśnięty klawisz *Alt*.

Popraw ułożenie modelu

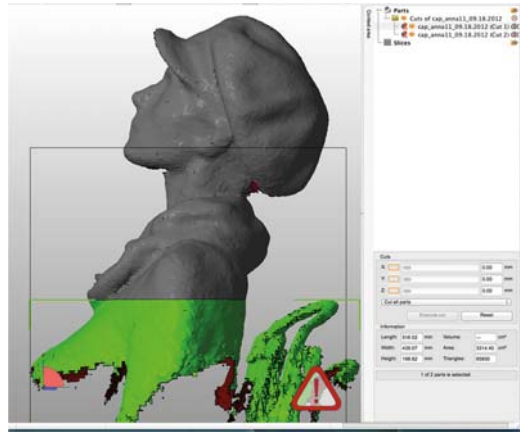
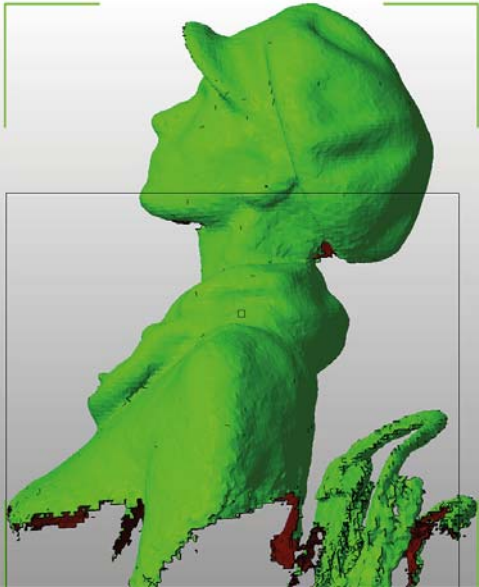
Aby dobrze ustawić model na platformie, musisz go obejrzeć ze wszystkich stron i w razie potrzeby wykonać dodatkowe obroty. Staraj się go ustawić tak, aby ramiona były na tej samej wysokości.

Kierunek patrzenia możesz zmieniać za pomocą poleceń z menu *View* albo przez kliknięcie na pasku narzędziowym odpowiedniej ikony w kształcie kostki z zaznaczoną ścianką. Ustaw model pionowo względem platformy.

Nie zapomnij o przechyleniu modelu lekko w tył, aby zminimalizować ryzyko powstania nawisu pod brodą (przypomnij sobie zasadę 45° z punktu „Generowanie plików STL”).

Uważaj na nawisy

Prezentowany model ma sporych rozmiarów występ w postaci brody. Postaraj się zminimalizować ryzyko powstania w tym miejscu *nawisu* — pomoże przechylenie modelu do tyłu. Groźnym występowaniem jest też tylna część czapki i tutaj już nie obeszło się bez zastosowania podpory. Natomiast broda i daszek czapki mimo braku podpór wydrukowały się całkiem dobrze!



Rysunek 6.17. Na zielono oznaczona jest część przeznaczona do usunięcia

Usuń odcięte fragmenty

W prawym górnym rogu okna programu jest wyświetlana lista obrabianych elementów — sekcja *Parts* (elementy). Kliknij ikonę ze znakiem \times obok wyróżnionej nazwy (jest to nazwa zaznaczonego fragmentu modelu). Program zapyta, czy *naprawdę* chcesz ten element usunąć. W odpowiedzi kliknij *OK*.

Teraz model ma ładną, równiutką dolną krawędź.

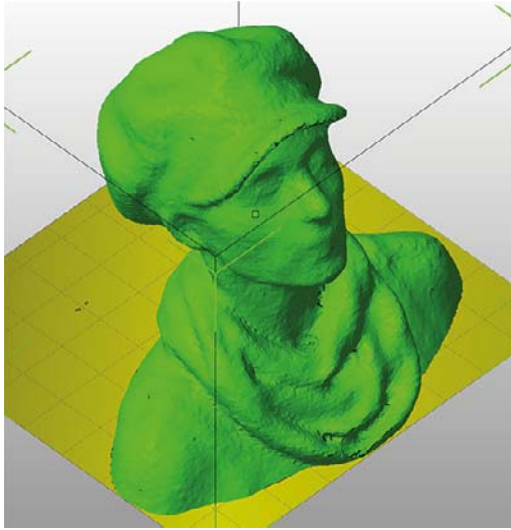
Umieść model na platformie

Pozostałą część modelu ustaw na platformie. W tym celu wybierz *Part/Move* i w oknie dialogowym, które się otworzy, kliknij kolejno przyciski *To Origin* i *Move* (patrz rysunek 6.18).

Obetnij sterczące kawałki

Za pomocą ustawień w sekcji *Cuts* (cięcia) panelu zajmującego prawą stronę ekranu obetnij cały poszarpany dół modelu. Po prostu przeciągnij suwak *Z* na taką odległość, aby niebieska linia tnąca znalazła się powyżej strzępiastych fragmentów, po czym kliknij kolejno *Execute Cut* (wykonaj cięcie) i *Cut* (tnij).

Następnie wskaż kliknięciem tę część modelu, która ma być usunięta. Wskazana część zostanie oznaczona kolorem zielonym (patrz rysunek 6.17).



Rysunek 6.18. Pozostałą część modelu ustaw na platformie

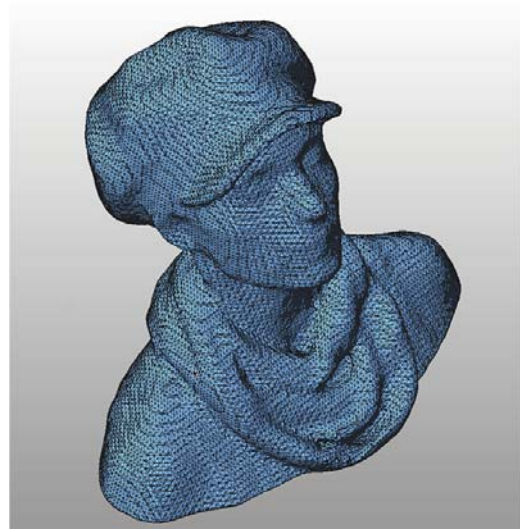
Załataj dziury

Następny krok to załatanie dziur w modelu. Dziury powstają w miejscach, z których skaner nie pobrał żadnych informacji. Prawdopodobnie będzie to czubek głowy i podbródek.

Uaktywnij narzędzie *Repair* (naprawa) — kliknij przycisk z czerwonym krzyżykiem. Model przyjmie barwę niebieską i widoczne staną się trójkąty siatki. Miejsca wymagające interwencji będą oznaczone kolorem żółtym. Aby zlecić programowi ich naprawę, kliknij przycisk *Automatic Repair* (naprawa automatyczna).

W oknie dialogowym, które się otworzy, wskaż opcję *Default Repair* (naprawa standardowa) i kliknij przycisk *Execute* (wykonaj). Na pytanie, czy chcesz usunąć starą część, odpowiedz *Yes* (tak).

Następnie kliknij w prawym dolnym rogu ekranu przycisk *Apply Repair* (zatwierdź naprawę). I znowu na pytanie, czy chcesz usunąć starą część, odpowiedz *Yes*. Naprawiony model jest pokazany na rysunku 6.19.



Rysunek 6.19. Przypatrz się tym wszystkim trójkątom!

Zapisz model w wewnętrznej formie netfabb

Zapisz projekt netfabb, aby zachować możliwość jego dalszej edycji — *Project/Save As* (projekt/zapisz jako).

Wyeksportuj do formatu STL

Aby zapisać model w formacie STL, użyj polecenia *Part/Export Part/STL* (element/eksportuj element/STL).

W tym momencie netfabb może Cię poinformować, że model stwarza problemy. Jeśli przy próbie wyeksportowania modelu zobaczysz duży czerwony znak \times , kliknij w oknie dialogowym eksportu przycisk *Repair*. Gdy naprawa zakończy się sukcesem, czerwony znak \times zmieni się w zielony znak zatwierdzenia.

Na koniec kliknij przycisk *Export* (eksportuj), aby zapisać plik STL.

Wyglądanie powierzchni siatek

Czasami będzie Ci zależało na uzyskaniu gładkich powierzchni modelu, które po wydrukowaniu byłyby równiutkie i lśniąco. Do takiego wygładzania siatek służy filtr Poissona z programu MeshLab.

Jeśli uda Ci się wykonać za pomocą aplikacji ReconstructMe skan o wysokiej rozdzielczości, prawdopodobnie będziesz musiał go lekko wygładzić przed przekazaniem do druku. Przy standardowej rozdzielczości skanu możesz ten etap pominąć, aby przez wygładzanie nie zlikwidować ważnych szczegółów modelu.

Otwórz program MeshLab

Wybierz polecenie *File/New Empty Project* (plik/nowy pusty projekt), aby utworzyć nowy projekt.

Następnie otwórz w MeshLabie plik STL — użyj do tego polecenia *File/Import Mesh* (plik/importuj siatkę).

Gdy otworzy się okno dialogowe z pytaniem, czy chcesz połączyć zdublowane wierzchołki (*Unify Duplicated Vertices*), kliknij OK.

Włącz warstwy

Rozwiń menu *View* i wybierz w nim polecenie *Show Layer Dialog* (pokaż okno warstwy).

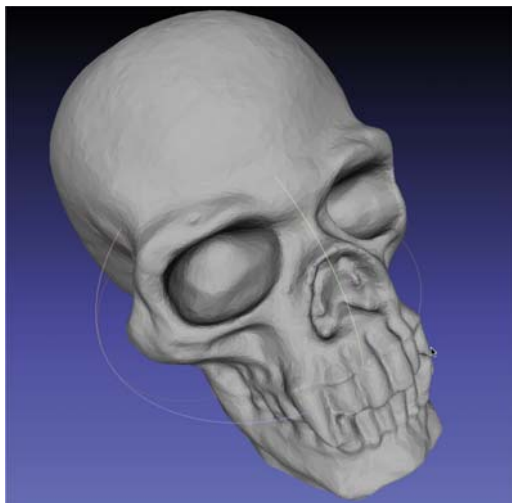
Zastosuj filtr Poissona

Wybierz polecenie *Filters/Point Set/Poisson Filter/Surface Reconstruction Poisson* (filtry/zbiór punktów/filtr Poissona/odtworzenie powierzchni metodą Poissona). W oknie dialogowym tego polecenia ustaw *Octree Depth* (głębokość drzewa ósemkowego) na 11 (im większa wartość, tym lepiej; „dobrą” wartością jest 11). Jeśli wpiszesz większą liczbę, MeshLab może się zawiesić.

Kliknij przycisk *Apply* (zastosuj).

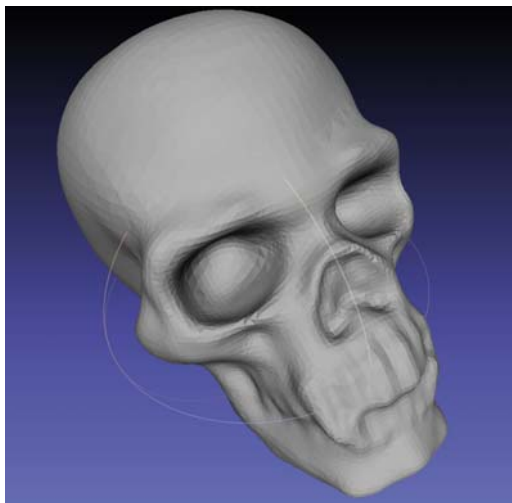
Ukryj siatkę oryginalną

Kiedy zastosujesz filtr *Poisson*, będziesz miał dwie warstwy: jedną oryginalną (rysunek 6.20) i drugą o nazwie *Poisson Mesh* (siatka Poissona).



Rysunek 6.20. Siatka oryginalna

Kliknij zieloną ikonę w kształcie oka obok nazwy pliku, aby ukryć siatkę oryginalną, a pozostawić widoczną tylko siatkę Poissona. Będzie ona wyraźnie gładzsza od oryginalnej (patrz rysunek 6.21).



Rysunek 6.21. Siatka wygładzona za pomocą filtra Poissona

Zapisz siatkę w pliku STL

Wybierz polecenie *File/Export Mesh As* (plik/eksportuj siatkę jako) i zastosuj ustawienia domyślne.

Obrobiona w ten sposób i wydrukowana czaszka jest pokazana na rysunku 6.22.



Rysunek 6.22. Wydruk zeskanowanej czaszki demonstrowany podczas World Maker Faire w Nowym Jorku

Usuwanie zgrubień i wybrzuszeń

Czasami po naprawie i (ewentualnym) wygładzeniu pozostają rozmaite zgrubienia lub wybrzuszenia, które wypadaloby usunąć. Jeśli Twój model nie wymaga tego typu dodatkowych zabiegów, możesz od razu przejść do następnego punktu.

Zaimportuj plik STL

Uruchom MeshMixera i na górnym pasku narzędziowym kliknij przycisk *Import* (importuj), a następnie wskaż plik STL ze swoim modelem.

Wygładź odpowiednie miejsca

Wybierz *Sculpt/Brushes* (rzeźbienie/pędzle) i w bocznym panelu nawigacyjnym ustaw jedną z opcji wygładzania (*Smoothing Options*). Za pomocą odpowiednich suwaków ustaw rozmiar, siłę, głębokość i inne parametry narzędzia.

Klikaj i przeciągaj myszą w miejscach ze zgrubieniami, aby je wygładzić. Gdy już uznasz, że model wygląda dobrze, wyeksportuj go do pliku STL.

Ostatnie czynności porządkujące w netfabbie

Ponownie otwórz plik STL w netfabbie.

Jeśli podczas pracy w MeshLabie stosowałeś filtr Poissona, gładki wcześniej spód modelu będzie teraz wybrzuszony. Żeby to naprawić, musisz jeszcze raz obciąć całą dolną część.

Naprawiony model wyeksportuj jako STL.

Drukowanie

W końcu model jest wyczyszczony, naprawiony i gotowy do wydrukowania! Otwórz go w programie MakerWare i po odpowiednim usytuowaniu oraz ewentualnym przeskalowaniu wydrukuj (patrz rysunek 6.23).



Rysunek 6.23. Drukowana wersja skanu utworzonego za pomocą aplikacji ReconstructMe

Domykanie skanów reliefowych

Siatki uzyskane w wyniku skanowania budynków lub płaskorzeźb często nie mają spodu, boku lub wierzchu i żeby dało się je wydrukować, trzeba te braki uzupełnić. Z taką sytuacją zetkniesz się zawsze, gdy za pomocą programu 123D Catch wygenerujesz siatkę obiektu, którego nie da się zeskanować ze wszystkich stron. Do łatania

takich dużych, a także znacznie mniejszych, dziur oraz do usuwania zbędnych fragmentów najlepsze są programy MeshMixer i netfabb.

Jeśli model ma dużo zbędnych „dodatków”, najlepiej jest je obciąć w netfabbie jeszcze przed obróbką siatki w MeshMixerze. Jednak czasami takie zwykłe odcięcie małego elementu bywa niemożliwe. Wtedy możesz spróbować zaznaczyć i usunąć taki niechciany dodatek za pomocą narzędzia typu lasso w MeshMixerze.

MeshMixer nie ma żadnych opisanych kontrolerek służących do przesuwania i przybliżania bądź oddalania widoku — trzeba w tym celu stosować skróty klawiszowe w połączeniu z przesuwaniem myszy lub palca po trackpadzie (patrz również <http://www.meshmixer.com/help/index.html>).

Podstawowe kombinacje do sterowania widokiem modelu są następujące:

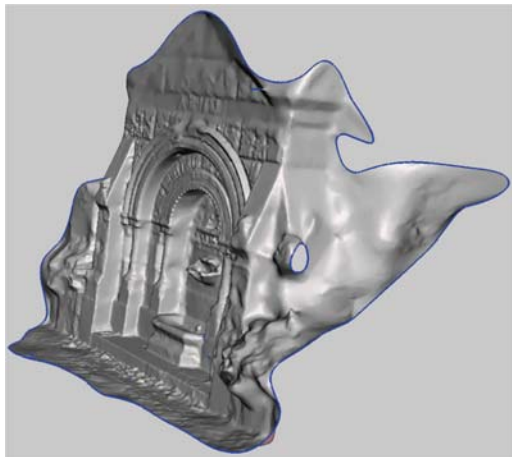
- *Alt*+lewy przycisk myszy — krążenie kamerą wokół obiektu,
- *Alt*+prawy przycisk myszy — zbliżanie i oddalanie,
- *Alt*+*Shift*+lewy przycisk myszy — przesuwanie kamery na boki.

Postępowanie z dziurami, miejscami niejednoznacznymi i elementami rozłącznymi

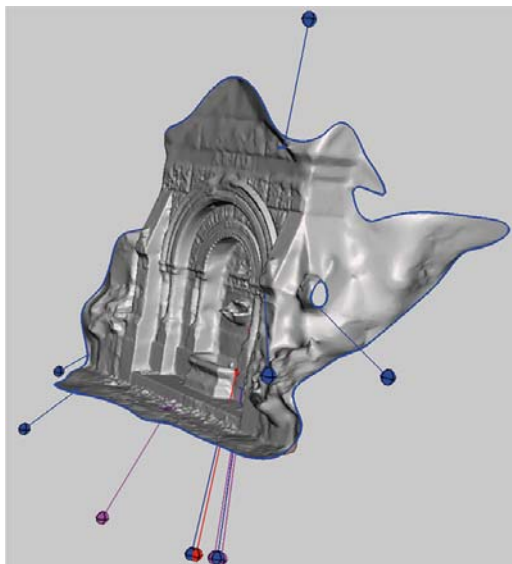
Jeśli wygenerowana siatka jest niekompletna, możemy mieć do czynienia z dziurami, obszarami o nieokreślonej strukturze i elementami niepołączonymi z całością. Wszystkie tego typu błędy muszą być naprawione, aby siatka nadawała się do druku. Oto przepis na postępowanie w takich sytuacjach.

Uruchom MeshMixera i zaimportuj plik STL lub OBJ (patrz rysunek 6.24).

W bocznym panelu nawigacyjnym kliknij *Analysis* (analiza). Teraz wokół modelu pojawią się kolorowe kulki połączone z niektórymi jego obszarami (patrz rysunek 6.25).



Rysunek 6.24. Skan zaimportowany do MeshMixera



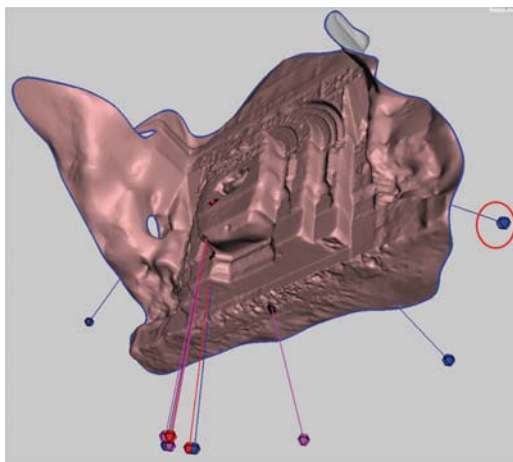
Rysunek 6.25. Kolorowe kulki wskazują problematyczne obszary siatki

- Kulki czerwone wskazują miejsca o niejednoznacznej strukturze.
- Kulki fioletowe wskazują składniki niepołączone z całością.
- Kulki niebieskie wskazują dziury.

Odszukaj kulkę wskazującą dużą dziurę

Obejrzyj model z różnych stron (przeciągaj myszą z wciśniętym lewym przyciskiem przy wciśniętym klawiszu *Alt*) i znajdź kulkę powiazaną z niebieską krawędzią otaczającą dużą dziurę, którą należałoby zatkać. W naszym przykładowym modelu będzie to tylna część skanu fontanny.

Zapamiętaj tę kulkę, bo będziesz ją edytował jako ostatnią. Na rysunku 6.26 jest ona oznaczona czerwoną linią. Wcześniej zajmij się jednak mniejszymi dziurami, a do tej zaznaczonej wrócimy, gdy będziemy zamykać tył modelu.



Rysunek 6.26. Otoczona czerwoną linią kulka wskazuje brzeg otwartej siatki



Do naprawiania siatek z dużymi dziurami lub z brakującymi całymimi fragmentami nie używaj narzędzia *Auto-Repair All* (automatyczne naprawianie wszystkiego), bo możesz doprowadzić do natychmiastowego zawieszenia programu. Poza tym lepiej zrobisz, domykając siatkę własnoręcznie, ponieważ program nie zawsze wykona to zgodnie z Twoimi oczekiwaniami. Najczęściej zamiast ładnego, płaskiego domknięcia otrzymałbyś coś, co przypominałoby raczej jedno wielkie wyrzuczenie.

Napraw problematyczne obszary

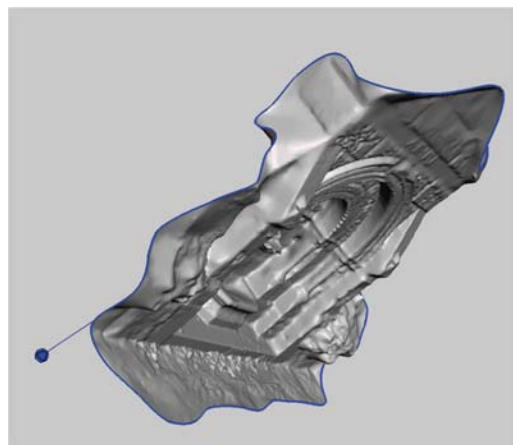
Kliknięcie kulki spowoduje automatyczne naprawienie wskazywanego przez nią obszaru. Kliknięcie jej prawym przyciskiem myszy spowoduje zaznaczenie problematycznego miejsca i umożliwi ręczną edycję tej części siatki. Gdy klikniesz prawym przyciskiem myszy, po prawej stronie okna programu staną się dostępne opcje edycyjne.

Najpierw kliknij lewym przyciskiem myszy każdą kulkę czerwoną i niebieską, aby pozamykać wszystkie obszary o niejednoznacznej strukturze i zespolić wszystkie składniki modelu. Po kliknięciu kulka i linia łącząca ją z obiektem znikną, co będzie znaczyło, że problem został rozwiązany.

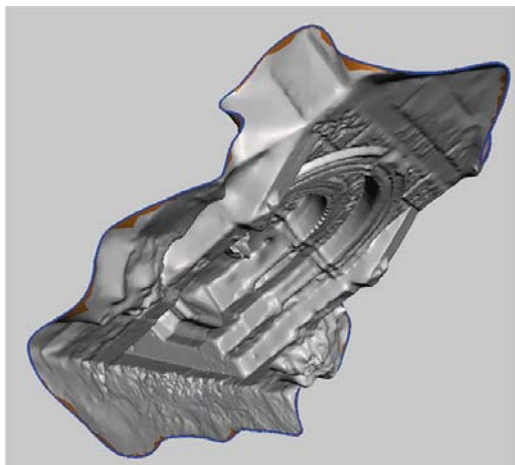
Potem załataj wszystkie dziury, klikając po kolei wszystkie kulki niebieskie z wyjątkiem tej, która wskazuje brak dużego, zamykającego fragmentu siatki. Na koniec jeszcze raz obejrzyj model ze wszystkich stron, aby sprawdzić, czy wszystkie kulki zniknęły.

Zajmij się ostatnią kulką

Następnie kliknij prawym przyciskiem myszy ostatnią niebieską kulkę, wskazującą brzeg otwartej siatki (patrz rysunek 6.27). W miejscach, w których siatka zostanie zaznaczona, pojawi się teraz ciemnopomarańczowe zabarwienie (patrz rysunek 6.28).



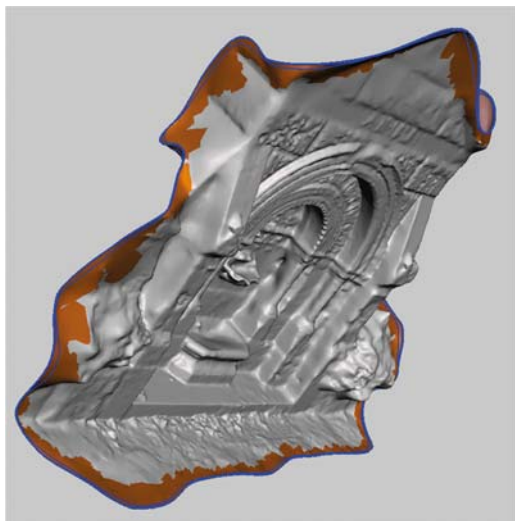
Rysunek 6.27. Pozostała jedna kulka — czas domknąć siatkę



Rysunek 6.28. Zaznaczone krawędzie siatki

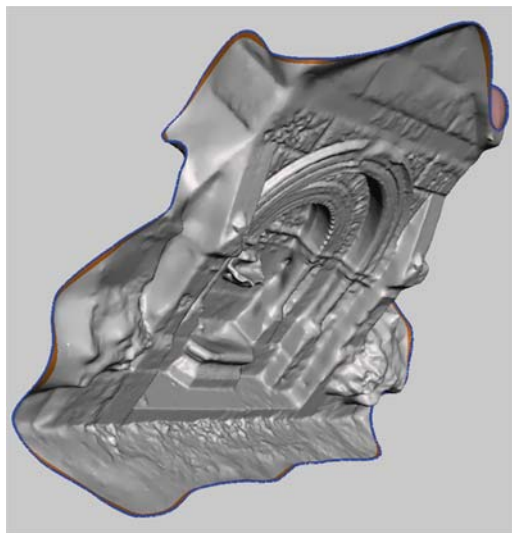
Wygładź brzegi

Z menu w górnej części ekranu wybierz najpierw *Analysis*, a potem *Smooth Boundary* (wygładź brzeg), aby uzyskać efekt taki jak na rysunku 6.29.



Rysunek 6.29. Wygładzone brzegi siatki

Teraz w górnym menu kliknij *Accept* (zatwierdź). Rezultat wygładzania brzegów siatki jest pokazany na rysunku 6.30.



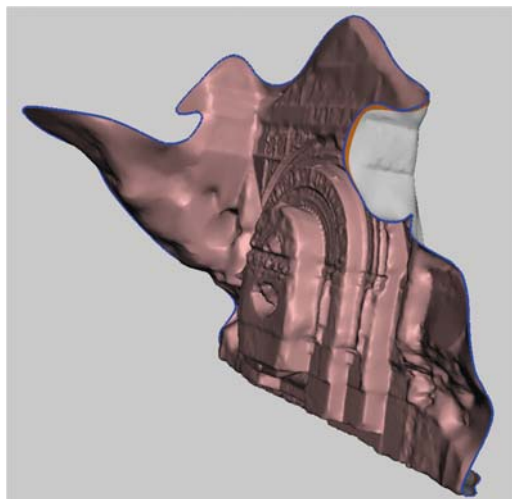
Rysunek 6.30. Siatka z gładkimi brzegami

Domykanie siatki

Po naprawieniu modelu i wygładzeniu brzegów wykonaj następujące czynności.

Obróć model (jeśli to konieczne)

Aby móc wytłoczyć boki naszego modelu, musieliśmy go najpierw obrócić (patrz rysunek 6.31). Czasami takie obracanie jest potrzebne choćby po to, żeby lepiej widzieć miejsce, w którym siatki brakuje.



Rysunek 6.31. Model obrócony

Uaktywnij narzędzie *Extrude* (wytlaczanie)

Zachowując nadal zaznaczenie brzegów siatki, wybierz z bocznego menu *Select/Edit/Extrude* (zaznacz/edytuj/wytłocz).

W MeshMixerze zaznaczenie pozostaje aktywne, dopóki go nie wyłączysz za pomocą polecenia *Select/Clear Selection* (zaznacz/usuń zaznaczenie) lub klawisza *Esc*.

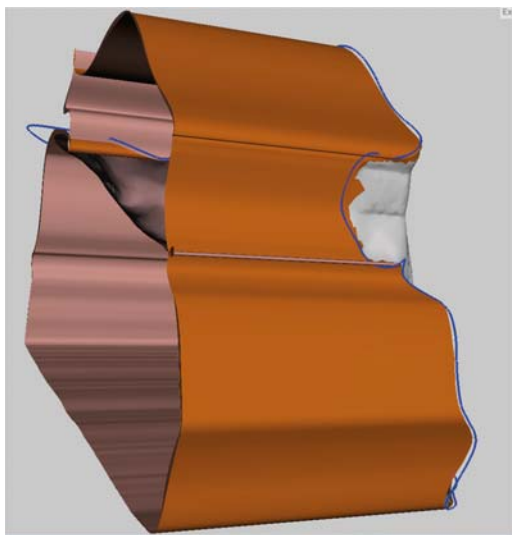
Wytłocz brzeg siatki

W panelu z opcjami wytłaczania wybierz z rozwijanej listy *EndType* (rodzaj zakończenia) pozycję *Flat* (płaskie).

Suwakiem *Offset* (odsunięcie) ustaw jakąś wartość ujemną. Przez przesuwanie tego suwaka możesz zmieniać wielkość wytłoczenia i stronę, w którą ma być wykonane.

Żeby uzyskać właściwe wytłoczenie, czasami trzeba też zmienić parametr *Direction* (kierunek). W naszym przykładzie wybraliśmy opcję *Y Axis* (oś Y).

Gdy uznasz, że rezultat jest dobry, kliknij przycisk *Accept*. Po tych zabiegach nasz model wyglądał tak jak na rysunku 6.32.



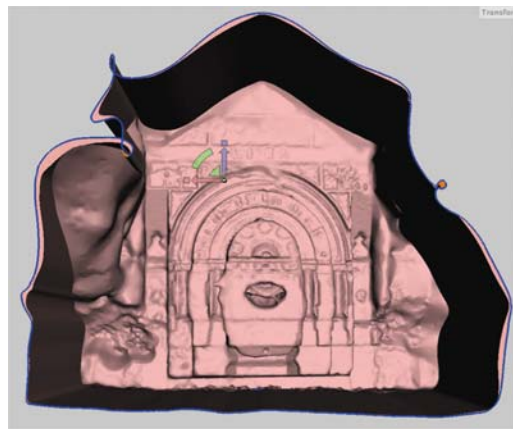
Rysunek 6.32. Model z wytłoczonymi brzegami

Wyglądź, a potem obróć

Na górnym pasku nawigacyjnym kliknij *Modify Selection* (modyfikuj zaznaczenie) i wybierz *Smooth Boundary* (wyglądź brzeg).

Kliknij *Accept*.

Obróć model, aby widzieć go wprost przez otwarte wytłoczenie (patrz rysunek 6.33).



Rysunek 6.33. Model obrócony

Czasami MeshMixer w tym momencie odmawia współpracy, ale na ogół pozwala ponownie otworzyć plik z modelem. Dlatego żeby nie stracić wprowadzonych zmian, zapisuj często plik w wewnętrznym formacie MeshMixera *.mix*.

Przekształć ścianki

Z menu *Deform* (zniekształcanie) wybierz *Transform Faces* (przekształć ścianki).

W centrum zaznaczenia pojawi się manipulator ze strzałkami X, Y i Z. Przeskaluj wytłoczenie ku środkowi, przeciągając w tym celu biały kwadrat widoczny między strzałkami. Nie zamykaj otworu całkowicie — pokazuje to rysunek 6.34.



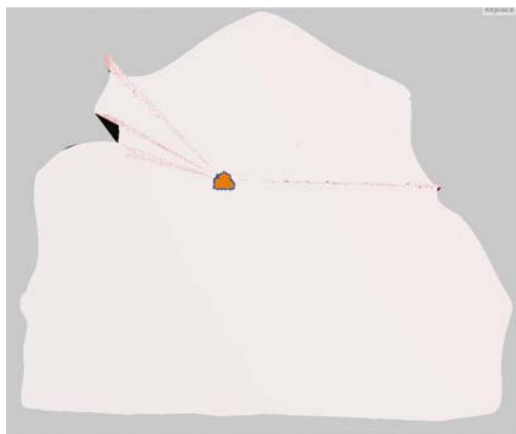
Rysunek 6.34. Zamykające ścianki

Kliknij *Accept*.

Usuń i wypełnij

Teraz musisz zamknąć pozostawiony otwór. Z menu *Select/Edit* wybierz *Erase & Fill* (usuń i wypełnij).

Następnie kliknij *Accept*. Rezultat jest pokazany na rysunku 6.35.



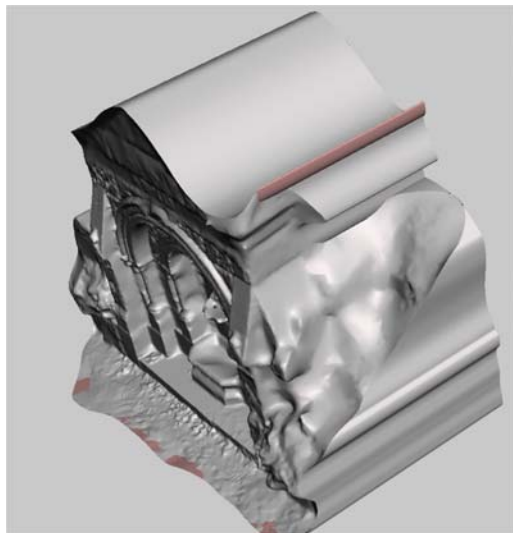
Rysunek 6.35. Usuwanie i wypełnianie

Model powinien mieć już regularną strukturę i być domknięty z tyłu płaską powierzchnią.

Usuń zaznaczenie

Podczas wytłaczania brzegów nasz model zyskał kilka zbędnych fałdów w górnej części i teraz trzeba je zlikwidować.

Kliknij menu *Select* w panelu nawigacyjnym, a następnie kliknij przycisk *Clear Selection*, aby usunąć aktywne dotąd zaznaczenie (patrz rysunek 6.36).



Rysunek 6.36. Przygotowania do likwidacji fałdów

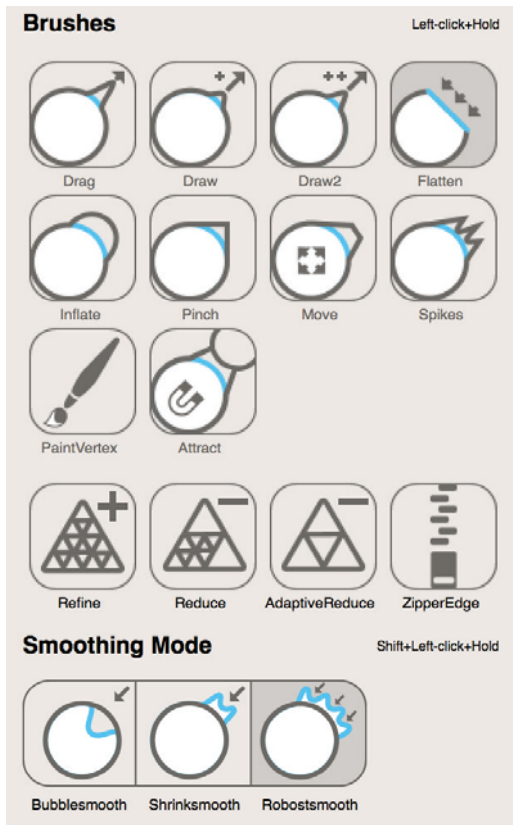
Wygładź fałdy za pomocą pędzli Flatten (spłaszczanie) i Reduce (zmniejszanie)

Powstałe fałdy są za duże, aby udało się je usunąć za pomocą pędzla *Smooth* (wygładzanie), więc musimy użyć dodatkowych narzędzi.

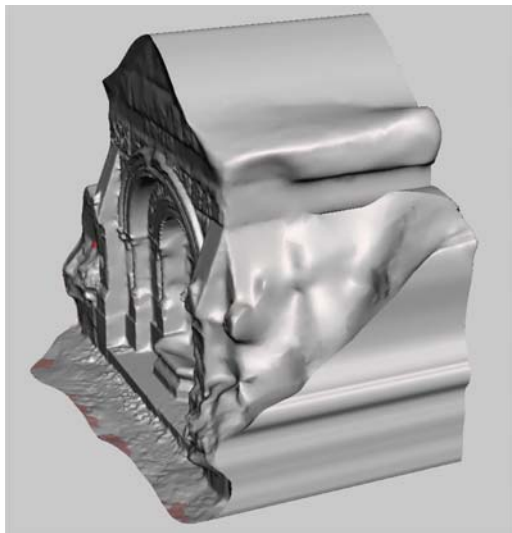
Za pomocą pędzli *Flatten* i *Reduce* (patrz rysunek 6.37) wyrównaj wszystkie niechciane wybrzuszenia.

Następnie wygładź pozostałą po nich powierzchnię. Rezultat jest pokazany na rysunku 6.38.

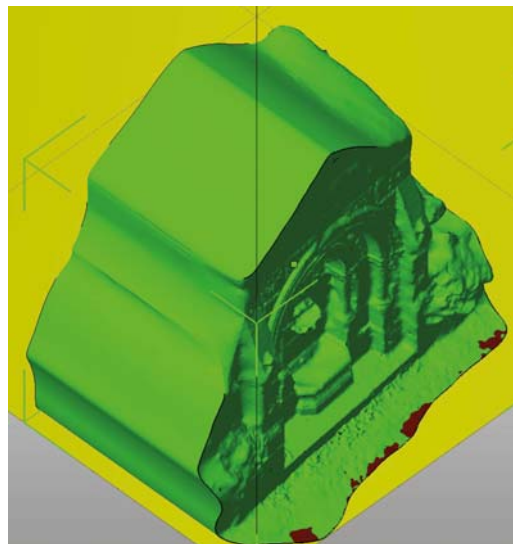
Wyeksportuj model do pliku STL, a następnie otwórz go w netfabbie (patrz rysunek 6.39).



Rysunek 6.37. Pędzle MeshMixera



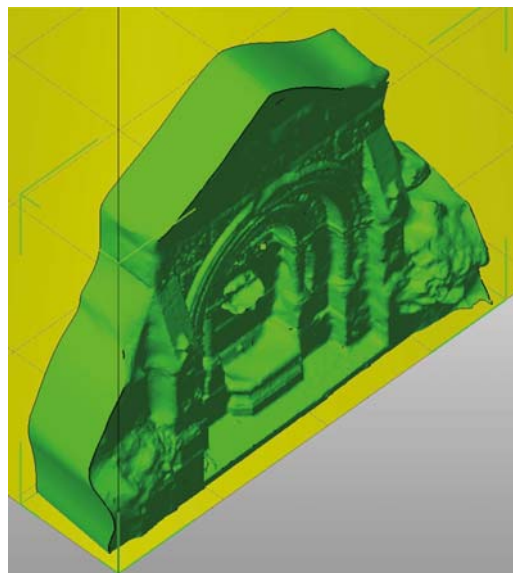
Rysunek 6.38. Wygląd pozostałości po wstępnym spłaszczeniu fałdów



Rysunek 6.39. Model w netfabbie

Przytnij i napraw w netfabbie

W netfabbie wykonaj procedurę opisaną w punkcie „Naprawianie i porządkowanie skanu w netfabbie”, aby odciąć niepotrzebne fragmenty modelu i naprawić siatkę. Następnie wyeksportuj go jako binarny plik STL. Po tym wszystkim model powinien być zamknięty, przycięty i gotowy do druku (patrz rysunek 6.40)!



Rysunek 6.40. Model gotowy do druku

Na rysunku 6.41 jest pokazana fotografia naszego przykładowego modelu po wydrukowaniu.



Rysunek 6.41. Wydrukowany skan gotyckiej fontanny znajdującej się przed biblioteką Providence Athenaeum

Skanuj swój świat

Za pomocą opisanych w tym rozdziale narzędzi i technik możesz zeskanować wszystko, co tylko będziesz w stanie nakłonić do pozostania przez chwilę w bezruchu. A nawet jeśli uzyskana siatka nie będzie całkiem dobra, poradzisz sobie z jej wadami i przygotujesz ją do druku. Krótko mówiąc, jesteś teraz w stanie wydrukować niemal wszystko, co tylko uda Ci się zeskanować. Nadszedł więc czas, byś zaczął digitalizować świat wokół siebie.

Skany i modele prezentowane w tym rozdziale są dostępne w serwisie Thingiverse (<http://www.thingiverse.com/akaziuna>) oraz w galerii pakietu 123D (<http://www.123dapp.com/Search/kaziunas>).

Anna Kaziunas France jest redaktorem w Maker Media, specjalizuje się w problematyce wytwórstwa cyfrowego. Jest również dziekanem ds. studenckich w Fab Academy i współautorką książki *Getting Started with MakerBot*. Wcześniej prowadziła kurs szybkiego prototypowania „Jak wyprodukować prawie wszystko” w ramach Providence Fab Academy. Więcej informacji na jej temat znajdziesz na jej stronie internetowej (<http://kaziunas.com/>), a spora część jej projektów jest dostępna w serwisie Thingiverse (<http://thingiverse.com/akaziuna>).

Wydrukuj swoją głowę w 3D!

7

Wykorzystaj cyfrowe zdjęcia oraz drukarkę 3D i zrób sobie plastikową replikę swojej głowy

Autor: **Keith Hammond**

Znakomitym pomysłem na rozpoczęcie przygody z drukiem 3D może być wykonanie trójwymiarowego modelu własnej głowy i wydrukowanie go z twardego plastiku (patrz rysunek 7.1).



Rysunek 7.1. Stolik drukarki pełen głów

Drukarka przestrzenna tworzy obiekt przez wyciskanie roztopionego plastiku i układanie go warstwami. Ponieważ polega to na dodawaniu materiału, a nie wycinaniu w nim, drukowanie przestrzenne zaliczane jest do *wytwórstwa addytywnego*. Wysyłasz do drukarki plik z trójwymiarowym modelem obiektu — obudowy iPod'a, części zamiennej do roweru, własnej głowy — a ona zamienia go w rzeczywisty przedmiot. Maszyny takie są już teraz na tyle tanie, że na ich zakup może sobie pozwolić szkoła, laboratorium, biblioteka, a nawet rodzina. Jest też dużo programów komputerowych służących do tworzenia modeli nadających się do druku.

Na nasze potrzeby najlepszy będzie program 123D firmy Autodesk, ponieważ jest darmowy, działa w internetowej chmurze, więc można go używać na każdym komputerze, i — najważniejsze — potrafi utworzyć trójwymiarowy model na podstawie cyfrowych zdjęć. Dzięki temu możesz zrobić wszystko samodzielnie w domu bez szukania dostępu do skanera laserowego lub eksperymentowania z Kinectem.

Najważniejszym Twoim zadaniem będzie przygotowanie cyfrowego modelu, bo już samo drukowanie możesz zlecić wyspecjalizowanej firmie. Jest dużo takich firm, które przyjmują zlecenia drogą internetową, a gotowy wydruk dostarczają przesyłką kurierską. Ja wydrukowałem swoją głowę za pomocą drukarki Ultimaker z oprogramowaniem Cura. Było to naprawdę łatwe!

Pomyśl, co jeszcze mógłbyś w ten sposób wydrukować. Zamiast własnej głowy mógłbyś przecież wykonać replikę jakiejś budowli czy cennego eksponatu muzealnego. Możesz także wykonać model swojego zwierzątka lub samochodu — niemal wszystkiego, co da się sfotografować.

Niezbędne narzędzia

- Komputer z dostępem do internetu i zainstalowaną przeglądarką internetową.
- Program MeshMixer (opcjonalnie) dostępny za darmo pod adresem <http://www.meshmixer.com>.
- Drukarka 3D i komputer z jej oprogramowaniem (opcjonalnie). Jeśli nie masz bezpośredniego dostępu do drukarki, po prostu wyślij swój model do firmy usługowej. Tam go wydrukują i gotowy odeślą na Twój adres (patrz etap 10.).

1. Zarejestruj się w Autodesk 123D

Otwórz stronę <http://123dapp.com> i załóż całkowicie darmowe konto. Do zrealizowania naszego projektu będzie potrzebna aplikacja 123D Catch. To ona potrafi „zszyć” trójwymiarowy model z cyfrowych fotografii.

W ramach przeprowadzonej niedawno modernizacji programu firma Autodesk dała nam możliwość drukowania modelu na dwa sposoby: albo wysyłasz go do specjalistów, albo pobierasz na swój komputer i drukujesz we własnym zakresie. (Istnieje też rozbudowana wersja instalacyjna programu 123D

Catch, ale na potrzeby naszego projektu wystarczy wersja chmurowa).

2. Zrób cyfrowe zdjęcia swojej głowy

Na tym etapie pracy będzie Ci potrzebna pomoc drugiej osoby. Jako aparatu fotograficznego możesz użyć telefonu komórkowego lub drogiej lustrzanki cyfrowej — im lepszego aparatu użyjesz, tym lepiej swoje zadanie wykona później program 123D Catch. Najlepiej sprawdzą się też zdjęcia zrobione w cieniu, a nie w pełnym słońcu.

Siedź nieruchomo, gdy przyjaciel będzie fotografował Twoją głowę. Powinien zrobić od 30 do 40 zdjęć, wykonując dwa pełne okrążenia z aparatem trzymanym na dwóch różnych poziomach — przy pierwszym okrążeniu niżej, a przy drugim na wysokości, z której czubek głowy będzie dobrze widoczny. Zapobiegnie to powstaniu niepożądanych dziur w miejscach, z których program nie będzie w stanie pozyskać żadnych danych. Aby uzyskać jak najlepszy rezultat, zadbaj, by Twoja głowa wypełniała większą część każdego kadru.

Jeśli zamierzasz się fotografować z wystawionym językiem lub jakąś wymyślną miną, poproś fotografa, by pracował szybko, abyś mógł wytrzymać do końca sesji. Jednak niech uważa, żeby żadne ze zdjęć nie było poruszone lub źle wyostrome, bo





każde rozmycie spowodowane ruchem aparatu lub złym ustawieniem ostrości może wprowadzić aplikację w błąd i spowodować wygenerowanie dziwnych rogów na Twojej głowie.

3. Zleć przetwarzanie zdjęć

W programie 123D Catch załaduj wszystkie zdjęcia swojej głowy. Z rozwijanej listy *Capture Resolution* (rozdzielczość modelu) wybierz *High* (wysoka). Nadaj modelowi nazwę i kliknij *Process Capture* (przetwórz zapis).

Serwery firmy Autodesk automatycznie połączą wszystkie fotografie i na ich podstawie wygenerują trójwymiarowy model. Model ten zostanie umieszczony w dziale *My Projects* (moje projekty).

4. Otwórz model

Masz okazję zobaczyć siebie jako trójwymiarowego modela! Ma realistycznie wyglądającą teksturę, zupełnie jak na oryginalnych zdjęciach. Za pomocą narzędzi z przybornika po prawej stronie możesz przesuwać, obracać, przybliżać i oddalać widok modelu.

W tym samym przyborniku włącz opcję *Material & Outlines* (materiał i kontury), aby zobaczyć siatkę będącą podłożem pod teksturę. Super!

5. Popraw swój model

Mój model miał spory róg z tyłu głowy, bo prawdopodobnie niektóre zdjęcia były niezbyt ostre lub zostały zrobione ze zbyt dużej odległości. Wokół modelu znalazły się także elementy tła (patrz rysunek 7.2), których nie miałem zamiaru drukować. Aby się pozbyć takich niechcianych detali, zaznacz je za pomocą narzędzia *Select* (zaznacz) i kliknij przycisk *Delete* (usuń). Możesz też zaznaczyć sam model i kliknąć najpierw przycisk *Invert Selection* (odwróć zaznaczenie), a potem *Delete*.



Rysunek 7.2. Elementy tła

Aby obciąć róg (patrz rysunek 7.3), użyj narzędzia *Delete & Fill* (usuń i wypełnij), a następnie wyrównaj to miejsce pędzlem *Smooth Surface* (wygładzanie powierzchni), tak jak na rysunku 7.4. Przytnij model do odpowiednich rozmiarów i zapisz go pod nową nazwą.



Rysunek 7.3. Wyszukiwanie rogów



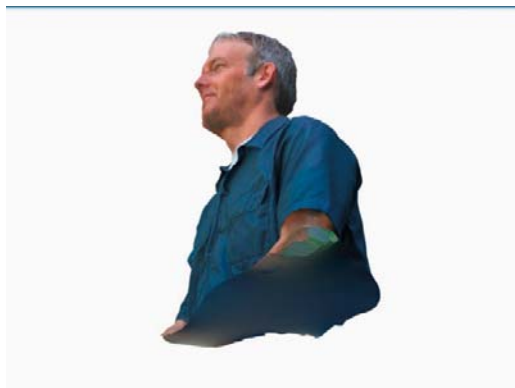
Rysunek 7.4. Przycinanie rogu

6. Uszczelnij go

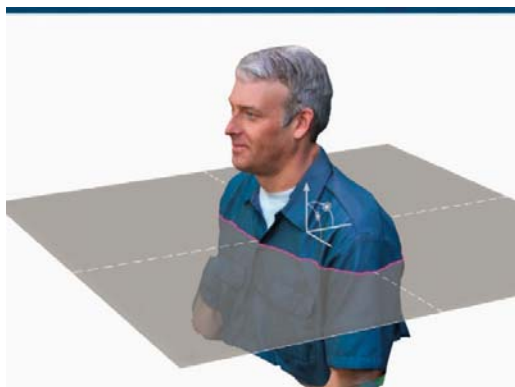
Kliknij kolejno przyciski *Heal Mesh* (napraw siatkę) i *Fill All* (wypełnij wszystko), aby automatycznie załatać wszystkie dziury.

Dół modelu będzie już teraz zamknięty, ale raczej nie będzie płaski, lecz mocno wybruszony (patrz rysunek 7.5), co praktycznie przekreśli możliwość wydrukowania całości — model powinien dobrze przylegać do stolika drukarki, a więc powinien mieć płaską podstawę. Kliknij *Plane Cut* (cięcie płaszczyzną), a następnie ustaw (przez przesuwanie i ewentualnie obracanie) płaszczyznę tnącą w miejscu,

w którym chciałbyś odciąć dół modelu (patrz rysunek 7.6). Po zatwierdzeniu cięcia — za pomocą przycisku *Apply* — model będzie idealnie płaski od spodu. Zapisz go ponownie w dziale *My Projects*.



Rysunek 7.5. Widok od dołu



Rysunek 7.6. Odcinanie dolnej części

W tym momencie możesz wyeksportować model do pliku STL i przekazać go do druku, ale możesz też poddać go dalszej edycji w programie MeshMixer, i właśnie na tym będzie polegał etap 7.

7. Wyczeluj go (opcjonalnie)

MeshMixer (do pobrania za darmo ze strony <http://meshmixer.com>) to dobre narzędzie do edytowania modeli 3D i łączenia ich w jedną całość. Niedawno program stał się własnością firmy Autodesk i odtąd jest regularnie unowocześniany. Przed jego użyciem

warto obejrzeć kilka filmów szkoleniowych zamieszczonych w serwisie YouTube (<http://youtube.com/user/meshmixer>).

Żeby szybko wykonać prosty piedestał, otwórz plik STL w MeshMixerze, zaznacz całą siatkę (*Ctrl+A* lub *Cmd+A*), wybierz polecenie *Edit/Plane Cut* (edycja/cięcie płaszczyzną) i odetnij spód modelu. Następnie zaznacz dolną ściankę i wybierz *Select/Edit/Extrude* (zaznacz/edycja/wytłocz). W panelu *Tool Properties* (właściwości narzędzia) ustaw *EndType* (typ końcówki) na *Flat* (płaska). Za pomocą suwaka *Offset* (przesunięcie) wytłocz spód modelu na odpowiednią głębokość, aby uzyskać prosty i idealnie płaski piedestał dla swojego popiersia. Kliknij *Accept* (zaakceptuj) i zapisz nowy plik STL.

W celu połączenia popiersia z bardziej fantastycznym piedestałem wróć do siatki pochodzącej z programu 123D, która jest nadal otwarta od dołu. Zaznacz ją całą, wybierz *Select/Edit/Convert to Part* (zaznacz/edycja/konwersja na część składową) i kliknij *Accept*. Spójrz na panel *Parts* (składniki) widoczny po lewej stronie¹ — Twoja głowa jest częścią składową, którą można połączyć z innymi częściami. Teraz zaimportuj plik STL z wybranym przez siebie piedestałem — mnie podobają się pionki szachowe z kolekcji Marka Durbina „Column #Chess” (<http://thingiverse.com/thing:19659>). Przeskaluj go tak, by rozmiarowo pasował do Twojego popiersia, a następnie przeciągnij na niego popiersie, żeby oba elementy połączyć. Jeśli nie uda Ci się za pierwszym razem, spróbuj zastosować polecenie *Select/Edit/Remesh* (zaznacz/edycja/nowa siatka). Rezultat zapisz jako nowy plik STL.

MeshMixer pozwala na znacznie więcej (patrz rysunek 7.7). Dodaj do swojej głowy uszy zająca lub macki ośmiornicy albo zrób z siebie monstrum o dwóch głowach. Albo umieść swoją głowę na dozowniku cukierków Pez!



Rysunek 7.7. *Keithornica*

8. Udostępnij swój model innym (opcjonalnie)

Po zakończeniu prac nad modelem wybierz *Publish to Gallery* (opublikuj w galerii). Odtąd każdy będzie mógł go otworzyć w przeglądarce internetowej i bawić się nim. (Jeśli używasz instalowanej wersji programu 123D Catch, możesz dodatkowo przygotować animowaną prezentację modelu i umieścić ją w serwisie YouTube).

9. Zapisz ostateczną wersję modelu w formie nadającej się do druku (opcjonalnie)

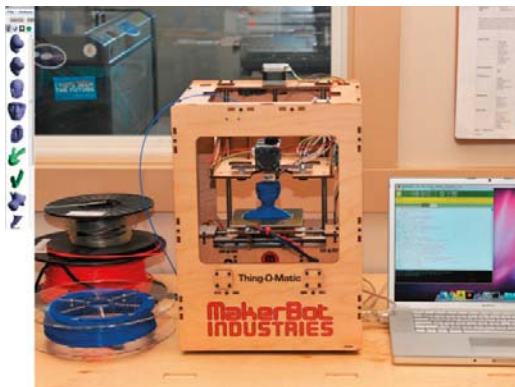
Aby wydrukować swoje popiersie, musisz mieć kopię modelu zapisaną w formacie zrozumiałym dla drukarki 3D. Musisz go więc wyeksportować z programu 123D Catch (lub z MeshMixera) jako plik STL.

Jeśli zamierzasz skorzystać z usług drukarskich firmy Autodesk, możesz ten etap pominąć.

¹ Aby wyświetlić ten panel, należy w przyborniku po lewej stronie kliknąć przycisk *Meshmix* — *przyp. tłum.*

10. Wydrukuj swoją głowę!

Ja swoją głowę wydrukowałem w pracowni MAKE Labs na drukarce Ultimaker, która jest szybka i dokładna — i można ją kupić jako zestaw do samodzielnego montażu. Dobry rezultat możesz także uzyskać, drukując na urządzeniu Thing-O-Matic firmy MakerBot (patrz rysunek 7.8).



Rysunek 7.8. Drukowanie głowy

Najpierw otwórz plik STL w programie sterującym drukarką, który powie jej, gdzie dokładnie ma wycisnąć gorące tworzywo, aby powstał zaprojektowany przez Ciebie obiekt. A konkretnie, jeśli tym programem jest ReplicatorG, zaimportuj plik STL, ustaw

model na środku obszaru roboczego, opuść go do poziomu platformy, na której ma być drukowany, i nadaj mu odpowiednie wymiary. Następnie wybierz *Generate GCode* (generuj kod G), wskaż domyślny profil drukarki i zaznacz pole wyboru *Use Print-O-Matic* (użyj interfejsu Print-O-Matic). Na koniec kliknij *Print* (drukuj).

Patrz, jak Twoja głowa materializuje się na Twoich oczach.

Jeśli nie masz bezpośredniego dostępu do drukarki 3D, nic nie szkodzi — jest wiele firm usługowych, które chętnie Twój model wydrukują. Na stronie <http://123dapp.com> wskaż swój projekt i wybierz *Fabricate/3D Printing* (wytwarzanie/druk 3D), aby wysłać plik do punktu usługowego firmy Autodesk. Potem odbierzesz swoją plastikową głowę na pocztę. Za głowę o wysokości 3 cali zapłacisz raptem około 10 dolarów.

Możesz też skorzystać z usług takich firm jak Shapeways (<http://shapeways.com>) lub Ponoko (<http://ponoko.com>), a w Europie możesz się zwrócić do Sculpteo lub i.materialise. Niektóre firmy mogą wydrukować Twoją głowę z ceramiki, szkła, stali, złota, srebra, a nawet tytanu!

Keith Hammond jest redaktorem czasopisma „Make”. Wychował się na lekturze takich czasopism jak „Scientific American”, „National Geographic” i „Spy”. W latach 90. był współwydawcą magazynów „The Nose” i „Mother Jones Online”. Na początku XXI wieku lobbował w Kongresie za ochroną dzikiej przyrody, a w roku 2007 został pracownikiem Maker Media.

CZĘŚĆ IV

Materiały

Tworzywa do druku trójwymiarowego

8

Przegląd filamentów stosowanych w druku 3D — od twardych, przez miękkie jak guma, aż po całkiem rozpuszczalne

Autorzy: Sean Ragan i Matt Stultz

W małych drukarkach 3D zwykle się używać filamentów tylko dwóch rodzajów: ABS i PLA, ale obecnie na rynku istnieje szereg innych materiałów, które również można stosować. Podawane przez nas zakresy temperatur należy traktować jedynie orientacyjnie, bo dokładne temperatury dyszy i stolika zależą nie tylko od rodzaju zastosowanego filamentu, lecz także od jego producenta i modelu użytej drukarki. Poza tym przy drukowaniu ze zwiększoną prędkością zalecane jest rozgrzewanie dyszy do temperatury bliskiej górnej granicy podanego przedziału, aby zapewnić ciągłość wypływu tworzywa i zapobiec zatykaniu się dyszy.

Listę firm oferujących filamenty do drukarek 3D znajdziesz w podrozdziale „Drukarki, filamenty i części zamienne” na końcu książki.

Polilaktyd (PLA)

Tworzywa PLA są dostępne w wielu kolorach i mogą być przezroczyste bądź matowe. W drukarstwie przestrzennym dużą popularnością cieszą się filamenty PLA wytwarzane z roślin (kukurydzy lub ziemniaków), które są całkowicie biodegradowalne. Specjalnymi odmianami PLA są LayWoo-d3, LayBrick i FlexPLA. Wszystkie dobrze przywierają do kaptonu lub szkła w temperaturze 60°C, co pozwala uzyskać gładkie wykończenie dolnej powierzchni drukowanego obiektu.

<i>Temperatura dyszy</i>	185–235°C
<i>Temperatura stolika</i>	od temp. pokojowej do 60°C
<i>Powierzchnia stolika</i>	niebieska taśma malarska, podgrzewane szkło, taśma kaptonowa, winylowa folia dekoracyjna

Polilaktyd (PLA miękkie i elastyczne)

Miękkie PLA jest po wydrukowaniu elastyczne jak guma, ale występuje w niewielu kolorach. Wymaga stosowania mniejszych prędkości druku niż zwykłe PLA.

<i>Temperatura dyszy</i>	210–240°C
<i>Temperatura stolika</i>	temp. pokojowa
<i>Powierzchnia stolika</i>	niebieska taśma malarska, podgrzewane szkło

LAYWOO-D3

Ten filament wygląda i pachnie jak drewno (w 40% składa się z przetworzonego drewna i polimerowego spoiwa). Może mieć też różne odcienie drewna, a dodatkowo zmienia swoją jasność w zależności od temperatury druku — ciemniej, gdy temperatura rośnie. Podczas jałowych ruchów głowicy drukującej lubi pozostawiać cienkie niteczki.

<i>Temperatura dyszy</i>	<i>175–250°C</i>
<i>Temperatura stolika</i>	<i>temp. pokojowa</i>
<i>Powierzchnia stolika</i>	<i>niebieska taśma malarska</i>

LAYBRICK

Obiekty wydrukowane z tego tworzywa mają fakturę przypominającą skałę piaskową. Mogą być kruche i łamliwe. Gładkie wykończenie otrzymują przy temperaturach druku z zakresu 165–190°C, a szorstkie przy 210–230°C.

<i>Temperatura dyszy</i>	<i>165–230°C</i>
<i>Temperatura stolika</i>	<i>temp. pokojowa</i>
<i>Powierzchnia stolika</i>	<i>niebieska taśma malarska</i>

Kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy (ABS)

Z tego tworzywa produkowane są klocki LEGO. Może występować we wszystkich kolorach tęczy. Jest powszechnie stosowane w drukarstwie trójwymiarowym, ale żeby model dobrze przylegał do stolika, ten ostatni musi być podgrzewany.

<i>Temperatura dyszy</i>	<i>215–250°C</i>
<i>Temperatura stolika</i>	<i>90–115°C</i>
<i>Powierzchnia stolika</i>	<i>taśma kaptonowa</i>

Polistyren wysokoudarowy (HIPS)

Tworzywo HIPS może być używane do drukowania ostatecznych wersji modeli lub jako rozpuszczalny w limonenie materiał podporowy. Jest tańsze od PVA i lepiej od niego sprawdza się w druku. Tworzy gładkie powierzchnie bez widocznych linii oznaczających warstwy druku. O stosowaniu tego tworzywa w roli materiału podporowego możesz przeczytać w artykule Matta Stultza zamieszczonym na stronie <http://www.3dppvd.org/wp/2013/02/soluble-support-material/>.

<i>Temperatura dyszy</i>	<i>220–235°C</i>
<i>Temperatura stolika</i>	<i>115°C</i>
<i>Powierzchnia stolika</i>	<i>taśma kaptonowa</i>

Nylon

Łatwo się farbuje (patrz rozdział 12.), ale w druku stwarza problemy, ponieważ ma tendencję do kurczenia się, deformowania i skręcania. Nadaje się do produkcji elementów poślizgowych i mocnych, a w cienkich warstwach jest niezwykle elastyczny.

<i>Temperatura dyszy</i>	<i>235–260°C, ale najlepiej wiąże się przy 245°C</i>
<i>Temperatura stolika</i>	<i>temp. pokojowa</i>
<i>Powierzchnia stolika</i>	<i>nacinana folia nylonowa, Garolite</i>

Poli(tereftalan etylenu) (PET)

Jest to filament krystalicznie czysty, bezbarwny, mocny i odporny na uderzenia. Przy większych grubościach warstw można uzyskać lepszą czystość optyczną wydruku.

<i>Temperatura dyszy</i>	210–220°C
<i>Temperatura stolika</i>	od temp. pokojowej do 65°C
<i>Powierzchnia stolika</i>	niebieska taśma malarska, taśma kaptonowa, szkło

Poliwęglan (PC)

Drukowanie z tego tworzywa wymaga stosowania dysz wysokotemperaturowych, takich jak Prusa. Jest to filament z rodzaju eksperymentalnych.

<i>Temperatura dyszy</i>	280–305°C
<i>Temperatura stolika</i>	85–95°C
<i>Powierzchnia stolika</i>	taśma kaptonowa

Polietylen o dużej gęstości (HDPE)

Tworzywo to jest trudne w użyciu, ponieważ kurczy się, deformuje i skręca. Dlatego jest rzadko stosowane.

<i>Temperatura dyszy</i>	225–230°C
<i>Temperatura stolika</i>	temp. pokojowa
<i>Powierzchnia stolika</i>	folia polipropylenowa

Polikaprolakton (PCL)

Ten biodegradowalny poliester zwany jest także elastycznym filamentem MakerBota. Ma bardzo niską temperaturę topnienia (58–60°C) i można go łatwo formować po zanurzeniu w ciepłej wodzie. Inne powszechnie stosowane nazwy tego tworzywa to InstaMorph i Polymorph.

<i>Temperatura dyszy</i>	100°C
<i>Temperatura stolika</i>	temp. pokojowa
<i>Powierzchnia stolika</i>	akryl

Poli(alkohol winylu) (PVA)

Tworzywo PVA jest często stosowane jako materiał podporowy, ponieważ dobrze rozpuszcza się w wodzie. Jest drogie i problematyczne w użyciu.

<i>Temperatura dyszy</i>	180–200°C
<i>Temperatura stolika</i>	50°C
<i>Powierzchnia stolika</i>	folia polipropylenowa

W najbliższym czasie mają się pojawić na rynku nowe odmiany filamentu PVA, które będą wymagały innych, niż tutaj podano, temperatur roboczych. Przytoczone wyżej wartości odnoszą się do tworzywa dostępnego w chwili pisania książki.

Matt Stultz jest liderem grupy 3D Printing Providence, organizatorem warsztatów HackPittsburgh i wychowankiem firmy MakerBot z dużym doświadczeniem w drukowaniu z rozmaitych materiałów.

Przemysłowe materiały i metody druku 3D

9

Przegląd materiałów oferowanych przez firmy świadczące usługi w zakresie druku 3D

Autor: **Stuart Deutsch**

Nigdy nie było lepszych czasów na zakup drukarki 3D niż obecnie, mimo że nadal dla wielu ludzi jest to urządzenie zbyt drogie. Jeśli zakup takiej maszyny przekracza możliwości Twojego portfela, zawsze możesz skorzystać z usług świadczonych przez firmy lokalne lub przyjmujące zlecenia drogą internetową. Wśród tych ostatnich najbardziej znane są Ponoko, Shapeways i i.materialise. Są to wyspecjalizowane przedsiębiorstwa, które stosują rozmaite technologie druku przestrzennego i mogą Twój cyfrowy model zamienić w rzeczywisty obiekt, używając nie tylko termoplastycznych tworzyw, lecz także wielu innym materiałów.

materiałami utwardzającymi i zabezpieczającymi przed promieniami UV może zwiększyć jego wytrzymałość mechaniczną i zapobiec płowieniu barw.



Rysunek 9.1. Królik Bowie wydrukowany z mineralnego proszku przy użyciu kolorowych lepiszczy

Kompozyty i ceramika

W drukarkach 3D działających w oparciu o technologię proszkową głowica drukująca funkcjonuje podobnie jak w drukarce atramentowej, tyle że zamiast tuszu wypluwa kropelki lepiszcza, i nie na papier, lecz na cienką warstwę proszku. Po wydrukowaniu jednej warstwy stolik drukarki obniża się, a specjalny wałek nanosi następną warstwę proszku i ubija ją. Wydrukowany w ten sposób obiekt składa się z warstw proszku sklejonych za pomocą lepiszcza. W niektórych drukarkach jest możliwe stosowanie spoiwa barwionego, a to pozwala na tworzenie wydruków wielobarwnych (patrz rysunek 9.1). Odpowiednia obróbka modelu oraz pokrycie go

W opisaną wyżej technologię proszkową można drukować także ceramiczne przedmioty bezpieczne dla żywności (patrz rysunek 9.2). Stosowanie proszków ceramicznych stało się bardzo popularne wśród firm przyjmujących zlecenia online, obecnie oferujących możliwość wykonania takiego wydruku w każdym kolorze tęczy. Surowy model wydobyty ze stosu niezlepionego proszku jest poddawany obróbce termicznej, polegającej na suszeniu, wypalaniu i pokrywaniu glazurą, co w sumie nadaje mu większą wytrzymałość i poprawia wygląd.



Rysunek 9.2. Ceramika bezpieczna dla żywności, wydrukowana metodą proszkową i poddana obróbce termicznej



Rysunek 9.3. Proszek nylonowy scalony metodą selektywnego spiekania laserowego

Tworzywa

Stereolitografia (SLA)

Stereolitografia jest pierwszą techniką druku 3D, w której płynna żywica jest miejscowo utwardzana przez intensywne naświetlanie, często za pomocą lasera. Gdy laser kończy rysowanie warstwy, model jest zanurzany w żywicy i proces utwardzania zaczyna się od nowa — światło lasera przebiega po świeżej warstwie tworzywa, wiążąc ją z poprzednią. Dzięki SLA można tworzyć wydruki o wyjątkowo gładkich powierzchniach.

Selektywne spiekanie laserowe (SLS)

W technologii SLS laser dużej mocy roztopia i spaja cząsteczki plastikowego proszku, najczęściej nylonu (patrz rysunek 9.3). Światło lasera przebiega po wygładzonej i ubitej warstwie proszku, a gdy skończy rysowanie całego przekroju modelu, stolik zostaje obniżony i nakładana jest nowa warstwa. Pod wpływem tego światła cząsteczki proszku roztopiają się i łączą między sobą oraz z warstwą poprzednią. Cząsteczki niezwiązane pełnią funkcję materiału podporowego i z tego powodu technika SLS jest często stosowana do drukowania modeli o cienkich ściankach, dużych wypustkach lub skomplikowanych kształtach.

SLS jest jedną z najbardziej ekonomicznych metod drukowania przestrzennego i najmniej wymagającą, jeśli chodzi o geometrię modelu. Większość firm wycenia usługę druku na podstawie ilości zużytego materiału, więc można zaoszczędzić trochę pieniędzy, projektując model pusty w środku. Większość firm każe sobie płacić również za materiał „uwięziony”, więc trzeba zaplanować przynajmniej jeden mały otwór w skorupie modelu, przez który będzie można wysypać nieużyty proszek.

Drukowanie z fotopolimerów

Drukowanie z fotopolimerów polega na przesuwaniu głowicy, która, podobnie jak w drukarce atramentowej, zostawia po sobie niewielkie kropelki fotoutwardzalnej żywicy. Za tą głowicą podąża lampa UV, której światło utwardza świeżo nałożone tworzywo. W metodzie tej przewiduje się również drukowanie podpór, które po zakończeniu druku można usunąć mechanicznie lub przez rozpuszczenie. Z fotopolimerów można drukować modele o bardzo drobnych szczegółach i gładkich powierzchniach. Same fotopolimery mogą być barwione, czyste, twarde, miękkie itd. (patrz rysunek 9.4). Jednak technika ta nie jest jeszcze powszechnie dostępna w usługowych firmach drukarskich.



Rysunek 9.4. Króliczek wydrukowany z akrylu utwardzanego promieniami UV

Metale

Bezpośrednie stapianie metalu laserem (DMLS)

Metoda ta przypomina selektywne spiekanie laserowe tworzyw sztucznych, tyle że spiekany jest proszek metalowy, na przykład tytanowy. Istnieje możliwość stosowania również rozmaitych stopów, ale wysokie koszty takiego druku i ostre wymagania co do samego projektu modelu sprawiają, że metoda ta jest raczej mało atrakcyjna dla początkujących.

Bezpośrednie drukowanie z metalu

Bezpośrednie drukowanie z metalu jest procesem kilkietapowym. Najpierw obiekt jest drukowany metodą zlepienia cząstek metalu (najczęściej stali nierdzewnej) przez nanoszenie specjalnego lepiszcza, podobnie jak przy drukowaniu metodą proszkową z kompozytów i ceramiki.

Następnie podczas obróbki termicznej o ściśle ustalonych parametrach plastikowe lepiszcze jest wypalane, a cząstki metalu są ze sobą stapiane. Powstały w wyniku tego porowaty model jest na koniec zanurzony w ciekłym brązie, który wnika w puste miejsca i wypełnia je (patrz rysunek 9.5). Ostatecznie model wygląda jak stalowa gąbka zamoczona w brązie i zazwyczaj wymaga jeszcze dodatkowej obróbki polegającej na pokryciu go jednolitym metalem, na przykład złotem.



Rysunek 9.5. Stal nierdzewna wypełniona brązem

Pośrednie metody wytwarzania

Metody pośrednie polegają na drukowaniu modeli pozytywowych lub negatywowych, które mogą być zastosowane w klasycznym procesie odlewniczym do wytwarzania obiektów metalowych. Przykładowo model stalowej części zamiennej można najpierw wydrukować z przypominającego wosk tworzywa, stosując metodę stereolitografii, a następnie skopiować tę część w procesie odlewania metodą traconego wosku. Można też wydrukować, stosując metodę proszkową, matrycę z piasku krzemionkowego lub innego materiału stosowanego w odlewnictwie, a następnie wypełnić ją ciekłym metalem w zwykły sposób.

Dr Stuart Deutsch pracuje w Nowym Jorku jako specjalista ds. materiałoznawstwa i pełni też funkcję redaktora naczelnego w *ToolGuyd.com*.

CZĘŚĆ V
Usługi

Drukowanie bez drukarki

IO

Jakie są zalety drukowania w zakładach usługowych i jak należy z takich usług korzystać

Autor: **Colleen Jordan**

Mam niezwykle szczęście pracować w zawodzie, o którego istnieniu jeszcze dwa lata temu nawet mi się nie śniło. Mam własną firmę Wearable Planter i produkuję artykuły galanteryjne, stosując druk przestrzenny. A stało się to możliwe dzięki technologii, która jest ogólnie dostępna zaledwie od kilku lat.

Gdy studiowałam wzornictwo przemysłowe na Georgia Tech, a było to w latach 2006–2010, drukowanie przestrzenne nie było techniką, której byśmy często używali. Programy wspomagające projektowanie trójwymiarowe służyły nam głównie do przygotowywania plików, na podstawie których można było wyrenderować wizualizację opracowanego modelu. Oczywiście mieliśmy dostęp do drukarki 3D, ale niewielu umiało ją obsługiwać, a otrzymywane za jej pomocą wydruki były kruche i niezwykle drogie.

W trakcie ostatniego semestru studiów realizowałam projekt, którego rezultat miał być prezentowany w formie wydruku 3D. Gdy w laboratorium wręczałam asystentowi pendrive'a z moimi plikami, byłam przekonana, że nic z tego nie będzie, ale po chwili ze zdziwieniem zobaczyłam, że wymyślona przeze mnie biżuteria przybiera kształty dokładnie takie, o jakie mi chodziło.

Wielu ludzi marzy o tym, by mieć możliwość stworzenia rzeczywistego modelu rzeczy, którą widzą w swojej wyobraźni, ale nie mają bezpośredniego dostępu do profesjonalnej drukarki 3D, która zapew-

niłaby właściwą jakość wydruku. Jednak pocieszające jest to, że rozwój w tej dziedzinie postępuje niezwykle szybko i dostępność coraz doskonalszych urządzeń ciągle się zwiększa.

Gdy projektuję nowy element biżuterii, zaczynam od szkicowania jego wyglądu. Zazwyczaj jest to najdłuższy etap całego procesu, ponieważ wtedy podejmuję decyzję co do formy i stylu kreowanego przedmiotu. Następnie wykonuję cyfrowy model trójwymiarowy. Używam do tego celu programu, który znam i który zapewni mi w tym konkretnym przypadku największy poziom kreatywności — najczęściej jest to SolidWorks lub Rhino. Gdy model jest już gotowy, zapisuję go w formacie nadającym się do druku i za pomocą programów takich jak netfab Studio przeprowadzam testy poprawności, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia błędów w trakcie drukowania.

W końcu wysyłam plik do serwisu Shapeways lub Ponoko, aby wydrukować model — niezależnie od tego, czy ma to być tylko prototyp czy już finalny produkt.

Oczywiście muszę wtedy czekać dwa tygodnie albo i dłużej, zanim ujrzę swoje dzieło. Takie oczekiwanie, choć wydaje się długie, ma swoje dobre strony, bo pozwala mi nabrać dystansu do tego, co wymyśliłam, i później spojrzeć na wyprodukowany przedmiot z nieco innej perspektywy. Czasami zdarza się, że już w pierwszej przesyłce dostają to, o co

mi chodziło, ale najczęściej dostrzegam wtedy konieczność wprowadzenia mniejszych lub większych poprawek, choćby takich jak zmiana materiału czy grubości ścianek.

Korzystanie z usług wyspecjalizowanych firm ma jeszcze tę zaletę, że pozwala mi prowadzić biznes za pomocą narzędzi będących w posiadaniu tychże firm — bez ponoszenia większych kosztów związanych z wymianą parku maszynowego mogą eksperymentować z różnymi materiałami i produktami. Dawniej wykonanie prototypu bywało bardzo kosztowne, a wyprodukowanie krótkiej serii jakiegokolwiek artykułu mogło kosztować nawet tysiące dolarów. Poza tym nie muszę trzymać dużych zapasów sprzedawanych produktów, bo przecież w każdej chwili mogę zlecić wydrukowanie nowej partii. Bije

to na głowę poprzedni model biznesowy, w którym musiałam sprzedawać towar sprowadzać z zagranicy całymi kontenerami, bo zamawianie mniejszych ilości było nieopłacalne.

Drukowanie w firmach usługowych zamiast u siebie ma jeszcze inne zalety. Obecnie wkraczamy w nową erę masowego dostosowywania wszystkiego do indywidualnych potrzeb klienta i użytkownika. Dlatego dąży się do tego, by nowe technologie wytwórcze były dostępne zarówno dla tych, którzy chcą tworzyć figurki rodem z gry Minecraft, jak i dla lekarzy pracujących nad protezami odpowiednimi dla konkretnych pacjentów.

Przykładowo, gdybyś nagle zapragnął wykonać własną obudowę telefonu komórkowego lub zestaw naczyń, możesz to zrobić całkowicie sam i według

Przenośna zieleń w minidoniczkach wydrukowanych w technologii 3D, a zaprojektowanych przez firmę Wearable Planter



własnego uznania, i nawet nie musisz mieć doświadczenia w modelowaniu przestrzennym, bo przecież możesz się posłużyć jednym z programów typu „kreator”. Serwisy Sculpteo i Society for Printable Geography udostępniły niedawno aplikację do tworzenia obudów do iPhone’ów z fakturą imitującą ukształtowanie terenu we wskazanej na mapie okolicy. Shapeways umożliwia stworzenie własnej zastawy do szachów przez proste manipulowanie kształtem konturu bryły obrotowej. Są to naprawdę proste aplikacje, a pozwalają na tworzenie własnych, unikatowych przedmiotów.

Firmy te zaczęły oferować również szkolenia w zakresie posługiwania się ich narzędziami. Ponoko zaprasza początkujących na darmowe prezentacje, w których można uczestniczyć na żywo, ale można je też tylko oglądać online. Shapeways we współpracy z portalem Skillshare organizuje szkolenia nie tylko dla nowicjuszy, lecz także dla tych, którzy chcą poznać bardziej zaawansowane programy i metody projektowania generatywnego.

Wysyłanie modeli do wyspecjalizowanych drukarni 3D ma wiele zalet w porównaniu z drukowaniem na małym urządzeniu biurkowym. Przede wszystkim nie trzeba z góry wyłożyć od 300 do 2000 dolarów i nie trzeba tracić czasu na eksperymentowanie z oprzyrządowaniem i ustawieniami drukarki. Poza tym na takiej domowej drukarce nigdy nie uzyskasz takiej jakości druku, jaka jest możliwa na drogim sprzęcie profesjonalnym.

Oczywiście technologia druku 3D ma też swoje wady i niedoskonałości. Szybko rosnąca popularność sprawia, że czasami firmy drukujące nie nadążają z realizacją zamówień i czas oczekiwania na wymarzony produkt może się niespodziewanie wydłużyć. Jakość materiału nie zawsze jest tak dobra jak w podobnych produktach wytwarzanych na skalę masową — przedmioty wydrukowane z tworzyw mogą być bardziej kruche niż podobne przedmioty wykonane metodą wtryskową. I, co również ma istotne znaczenie, wiele materiałów stosowanych w druku przestrzennym nie nadaje się do kontaktu z żywnością, a nawet nie można z nich produkować zabawek dla dzieci. Trzeba jednak pamiętać, że jest to dziedzina bardzo młoda — jeszcze pięć lat temu nie była w ogóle znana szerszej społeczności — i szybko rozwijająca się, więc prawdopodobnie wkrótce wymienione mankamenty zostaną usunięte.

Jeśli masz jakiś pomysł, który chciałbyś urzeczywistnić, to trafieś na dobry czas, by się przekonać, czy coś może z tego wyjść. Zajrzyj do rozdziału 16., a szczególnie do podrozdziału „Produkty 3D dostępne aktualnie w sprzedaży”, aby zobaczyć, jak różnej maści wytwórcy korzystają z usług w zakresie druku 3D, do rozdziału 11., aby poznać firmy świadczące tego typu usługi, i do rozdziału 9., aby zapoznać się z podstawowymi właściwościami stosowanych materiałów.

Colleen Jordan jest projektantką i producentką, która lubi tworzyć rzeczy sprawiające, że życie staje się bardziej interesujące. Jest założycielką firmy Wearable Planter (<http://wearableplanter.com>) i marzy o posiadaniu oswojonego dinozaura.

Usługodawcy



Oto krótki przegląd firm, które wydrukują Twoje modele z najrozmaitszych materiałów

Wyboru dokonali: **Colleen Jordan, Stett Holbrook i Anna Kazianus France**

Jeśli nie masz drukarki 3D, i tak możesz zamienić cyfrowy model z pliku CAD w rzeczywisty obiekt. Komercyjne firmy usługowe potrafią drukować takie modele z najrozmaitszych materiałów i robią to profesjonalnie. Drukarki domowe na razie nie są w stanie dorównać im pod względem jakości druku i dostępności materiałów, więc nawet jeśli masz taki sprzęt, na pewno docenisz możliwość nadania swojemu dziełu formy elegantszej i trwalszej — wydruk tytanowy czy ze stali nierdzewnej to nie to samo co plastikowy prototyp.



Rysunek 11.1. Mechaniczny potwór płazowy wymyślony przez Theo Jansena, a wydrukowany z nylonu na maszynie EOS metodą selektywnego spiekania laserowego (SLS) w nowojorskim oddziale firmy Shapeways. Po wyczyszczeniu będzie gotowy do spacerowania

Prześlij pliki i zamów wydruki

Shapeways

<http://shapeways.com>

Firma Shapeways obsługuje hobbystów i projektantów, oferując im wysokiej jakości wydruki z szerokiej gamy materiałów, włącznie ze srebrem, stalą nierdzewną, mosiądzem i ceramiką. Ceny są niskie, ale jako że baza produkcyjna firmy mieści się w Holandii, terminy realizacji zamówień często przekraczają 2, a nawet 3 tygodnie. Niedawno powstał oddział produkcyjny w Nowym Jorku, więc jest szansa na skrócenie tych terminów.

Firma oferuje swoim klientom także możliwość sprzedaży ich dzieł. Duża popularność serwisu sprawia, że posiadanie w nim sklepiku jest dzisiaj podstawą do zaistnienia na rynku wyrobów drukowanych. Koszty z tym związane nie są wcale wielkie.

Ponoko

<http://ponoko.com>

Firma Ponoko wykonuje wydruki z przeróżnych materiałów, począwszy od rozmaitych tworzyw sztucznych, przez ceramikę, stal nierdzewną i złoto, a na gipsach Z Corp skończywszy. W ofercie jest również laserowe cięcie i cyfrowe frezowanie dużego asortymentu materiałów, więc można łączyć wydruki 3D z innymi elementami własnego pomysłu.

Wydruki wykonywane przez firmę Ponoko są ogólnie bardzo dobrej jakości, a ceny nie są wygórowane. Trochę zagmatwany jest tylko system wyceniania usług i dostarczania plików z modelami. Na szczęście mają dobry zespół doradczy, który chętnie służy pomocą i odpowiada na każde pytanie. Firma ma kilka oddziałów regionalnych, więc czas realizacji zamówienia może być różny w zależności od konkretnej lokalizacji.

Sculpteo

<http://sculpteo.com>

W tej francuskiej firmie można zamówić sobie wydruk z kolorowego tworzywa, żywicy, ceramiki, wosku, alumide i srebra. Za 5 dolarów można nabyć zestaw próbek wszystkich dostępnych materiałów. Firma oferuje dostęp do internetowej aplikacji, za pomocą której można obejrzeć swój model, sprawdzić jego prawidłowość i ewentualnie go naprawić. W ofercie mają również kilka programów typu „kreator”, umożliwiających rozpoczęcie pracy bez specjalnego przygotowania. W zależności od wybranego materiału realizacja może trwać od 1 do 30 dni (po złożeniu zamówienia czas ten jest natychmiast podawany). Istnieje też możliwość wystawienia swojego produktu na sprzedaż.

i.materialise

<http://i.materialise.com>

Następna holenderska firma, i.materialise, ma bardzo przejrzysty i łatwy w użyciu interfejs do obsługi klientów. Do wyboru jest ponad 20 materiałów — włącznie z tytanem! — a modele mogą mieć nawet 6 stóp wysokości. Wydrukowane przedmioty można wystawić na sprzedaż w firmowej galerii. W zależności od odległości do klienta dostawa gotowego wyrobu zajmuje od 1 do 5 dni.

Kraftwurx

<http://www.kraftwurx.com>

Kraftwurx jest serwisem umożliwiającym tworzenie, wystawianie, kupowanie i sprzedawanie wydrukowanych produktów. Firma z siedzibą w Houston w stanie Teksas nie ma własnych wydziałów produkcyjnych, lecz korzysta z sieci ponad 120 wytwórców lokalnych, którym przekazuje realizację przyjętych zleceń. Dzięki takiemu rozproszeniu produkcji firma może zaoferować 85 różnych materiałów, włącznie ze złotem, srebrem, tytanem, inconelem, stalą nierdzewną, platyną, plastikiem i papierem.

Staples (we współpracy z Mcor)

<http://staples.myeasy3d.com>

Serwis MyEasy3D jest efektem współpracy między firmami Staples i Mcor, z których pierwsza to znany dystrybutor artykułów biurowych, a druga jest irlandzkim producentem urządzeń drukujących kolorowe obiekty trójwymiarowe z papieru. Serwis ten jest aktualnie dostępny tylko w Europie.

Wytwórcy działający lokalnie

makexyz

<http://www.makexyz.com>

Serwis makexyz kontaktuje miejscowych właścicieli drukarek 3D z ludźmi, którzy chcieliby coś wydrukować. Właściciel drukarki może się zarejestrować za darmo, a nawet może reklamować swoje usługi. Jeśli masz coś do wydrukowania, wybierasz z listy najbliższą drukarkę, wysyłasz plik z modelem, ustawiasz opcje i czekasz na potwierdzenie przyjęcia zlecenia od firmy makexyz. Jeśli właściciel drukarki podejmie się wykonania zadania, wydruk zostanie Ci przestany albo będziesz mógł go odebrać osobiście.

3D Hubs

<http://www.3dhubs.com>

3D Hubs działa podobnie jak makexyz, czyli ułatwia zawieranie transakcji między właścicielami drukarek a tymi, którzy mają coś do wydrukowania. Jednak przede wszystkim firma stara się budować społeczności, swego rodzaju „lokalne ośrodki drukarskie”. Sprawdź na jej stronie internetowej, czy blisko Ciebie są już zarejestrowane jakieś drukarki 3D.

Znajdź mi drukarkę

Printchomp

<https://www.printchomp.com>

Serwis Printchomp podaje oferty cenowe rozmaitych artykułów drukowanych, od modeli przestrzennych, przez wizytówki, po banery reklamowe. Ty wysyłasz plik i ustawiasz istotne dla Ciebie opcje, a firma podaje Ci wycenę.

Usługi dla profesjonalistów

ZoomRP.com

<http://zoomrp.com>

Jest to serwis samoobsługowy dla tych, którzy potrzebują wykonać plastikowy prototyp w maksymalnym krótkim czasie. W tym oddziale firmy Solid Concepts można zamówić druk błyskawiczny z wysyłką produktu jeszcze tego samego dnia. Oczywiście dostępne są też opcje z wysyłką następnego dnia, a nawet w następnym tygodniu. Serwis jest przeznaczony dla klientów obeznanych z programami CAD i projektowaniem w trzech wymiarach. Jest szybko, ale też więcej kosztuje.

RedEye

<http://redeyeondemand.com>

RedEye, oddział giganta w dziedzinie druku 3D, firmy Stratasys, oferuje szybkie prototypowanie dla przemysłu budowlanego, medycznego, maszynowego i lotniczego. Specjalizuje się w drukowaniu z rozmaitych tworzyw termoplastycznych. Za profesjonalną usługę trzeba też zapłacić profesjonalną cenę. Czas realizacji zlecenia wynosi od 1 do 2 tygodni.

3D Factory

<http://www.3dfactoryusa.com>

3D Factory ma siedzibę w Nowym Jorku i swoje usługi kieruje głównie do branży jubilerskiej. W ofercie znajdziesz drukowanie 3D, odlewanie, oprawianie kamieni, szlifowanie i skanowanie 3D. Firma proponuje także doradztwo i pomoc w projektowaniu.

Butik 3DP — projektowanie i drukowanie

3dPhacktory

<http://3dphacktory.com>

3dPhacktory z siedzibą w Toronto w Kanadzie świadczy usługi w zakresie projektowania i drukowania 3D z dostawą gotowego wyrobu nawet w ciągu 48 godzin. W ofercie jest też szybkie, 24-godzinne, prototypowanie i skanowanie przestrzenne, przy czym ta ostatnia usługa jest realizowana we współpracy z firmą Industrial Pixel. Klienci mogą skorzystać z doradztwa współpracujących z 3dPhacktory projektantów, ale mogą też opłacić sobie dostęp do firmowej stacji roboczej i opracować model własnoręcznie. Firma oferuje także wykonywanie prac postprodukcyjnych.

Solid-Ideas

<http://www.solid-ideas.com>

Solid-Ideas jest butikową agencją w Północnej Karolinie oferującą pomoc w projektowaniu i wykonywaniu modeli. Firma proponuje także szybkie prototypowanie i wytwarzanie gotowych produktów. Specjalizuje się w świadczeniu usług na poziomie profesjonalnym dla branż takich jak architektura czy marketing, dla których produkt jest opracowywany kompleksowo od pomysłu, przez prototyp, aż po reklamę gotowego wyrobu.

Colleen Jordan jest założycielką firmy Wearable Planter (<http://wearableplanter.com>).

Stett Holbrook jest starszym redaktorem w „Make”.

Anna Kaziunas France jest redaktorem w Maker Media, specjalizuje się w problematyce wytwórstwa cyfrowego.

CZĘŚĆ VI

Techniki wykańczania

Farbowanie wydruków

O kolorowaniu nylonowych (lub poliamidowych) wydruków za pomocą barwników do tkanin

Autor: **Colleen Jordan**

Czy drukowałeś już coś na drukarce 3D? Obecnie studenci architektury lub wzornictwa przemysłowego, a także hobbyści mają dostęp do tej technologii dzięki serwisom takim jak Shapeways czy Ponoko. Jeśli masz wydrukowane modele z poliamidu, możesz je sam pofarbować na dowolny kolor. Poliamid jest porowatym materiałem, który świetnie przyjmuje nowy kolor. Niektóre firmy oferują oprócz druku również farbowanie modeli, ale to tylko wydłuża czas realizacji zlecenia i zazwyczaj jest dostępne tylko w kilku wybranych kolorach.

Jeśli masz już dość tej nudnej bieli swoich modeli, pokażemy Ci, jak ją zamienić na dowolny inny kolor (patrz rysunek 12.1). W tym rozdziale opisujemy farbowanie wydruków 3D sporządzonych z nylonu (lub poliamidu) za pomocą barwników do tkanin. Materiał, który mamy na myśli, jest różnie nazywany przez firmy świadczące usługi drukarskie. W Shapeways nazywają go *White Strong and Flexible* (biały, mocny i elastyczny), w Ponoko — *Durable Plastic* (wytrzymały plastik), w Sculpteo — *White Plastic* (biały plastik), a w i.materialise — *Polyamide* (poliamid). Do farbowania będziemy używać barwników marki Rit, ponieważ łatwo można je kupić w sklepach krawieckich, tekstylnych, a nawet w spożywczym. Można używać również barwników kwasowych marki Jacquard, ale wtedy trzeba dodawać do barwnika bardzo starannie odmierzone ilości octu, aby zmienić kwasowość roztworu, i trzeba też ciągle ten roztwór podgrzewać.



Rysunek 12.1. Założycielka firmy Wearable Planter

Sam proces farbowania modeli przebiega podobnie jak farbowanie tkanin, a sporą część naszej wiedzy na ten temat zaczerpnęliśmy z zamieszczonego na stronach Rit Studio artykułu poświęconego *farbowaniu w kuchence mikrofalowej* (<http://www.ritdye.com/dyeing-techniques/microwave>).

Jeśli drukujesz model na własnej maszynie i zastosujesz filament (patrz podrozdział „Nylon” w rozdziale 8.) ufarbowany jeszcze przed drukowaniem, możesz uzyskać efekt *tie-dye*. O szczegółach takiej techniki możesz poczytać w poradniku RichRapa zamieszczonym pod adresem <http://richrap.blogspot.co.uk/2013/04/3d-printing-with-nylon-618-filament-in.html>.

1. Przygotowanie materiałów

Najpierw musisz zgromadzić niezbędne materiały i narzędzia (patrz rysunek 12.2). A więc przygotuj nylonowe wydruki, barwnik w odpowiednim kolorze, miskę, łyżeczki do odmierzania składników roztworu barwiącego i wrzątek (nie ma go na zdjęciu). Przyda się również mikrofała, aby w razie potrzeby podgrzać roztwór w trakcie barwienia.



Rysunek 12.2. Materiały i narzędzia

Wcześniej musisz dokonać wyboru koloru, jaki chcesz nadać swoim wydrukom. Warto przy tej okazji zajrzeć do znakomitego poradnika firmy Rit (http://www.ritdye.com/colorit_color_formula_guide), bo z niego można się dowiedzieć, jakie barwniki należy mieszać, aby uzyskać właściwy kolor. Podobne poradniki mają też inni producenci. Nylon wchłania barwnik bardzo szybko i w związku z tym często stosujemy mniejsze od zalecanych stężenia roztworów barwiących. W prezentowanym przykładzie będziemy farbować rowerowe doniczki za pomocą barwnika firmy Rit w kolorze Sunshine Orange (słoneczny pomarańcz). Na 1,5 szklanki wrzątku użyjemy 1,5 łyżeczki barwnikowego proszku.

Nie zapominaj, że masz do czynienia z substancją, która pozostawia trwałe ślady na ubraniu i butach. Jeśli więc zależy Ci na stroju, który masz na sobie, załóż fartuch lub ubierz coś, czego poplamienie nie będzie wielką stratą. Barwniki do tkanin farbują także skórę, więc przydadzą Ci się również lateksowe rękawiczki. Jeśli jednak zauważysz jakąś plamę na

swoim ciele, możesz ją usunąć przez mocne szorowanie.

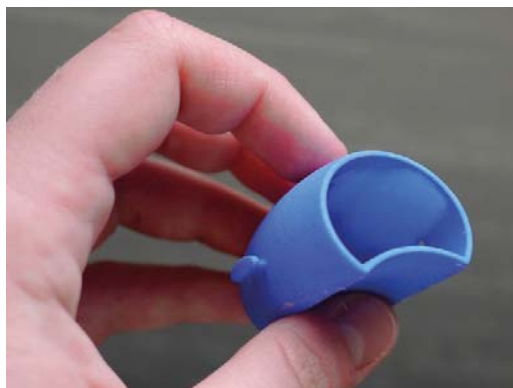
2. Namaczanie farbowanych przedmiotów

Zanim rozpoczniesz właściwe farbowanie, wrzuć wydruki do wody na co najmniej 30 minut (patrz rysunek 12.3), a najlepiej na całą noc. Nasiąknięty wodą nylon przyjmie barwnik bardziej równomiernie, a poza tym usunięty zostanie wszelki pył z powierzchni farbowanego przedmiotu. Obecność pyłu w trakcie farbowania może mieć negatywny wpływ na otrzymany rezultat, bo gdy taki pył później odpadnie, zostaną po nim białe plamki.



Rysunek 12.3. Namaczanie

Doniczka pokazana na rysunku 12.4 miała na sobie podczas farbowania kilka pyłków i teraz po ich usunięciu widać wyraźne, białe plamy.



Rysunek 12.4. Doniczka z plamami po usuniętych pyłkach

3. Farbowanie

Odmierz dokładnie wymaganą ilość barwnika (patrz rysunek 12.5), a następnie wlej gorącą wodę. Mieszaj tak długo, aż sproszkowany barwnik rozpuści się całkowicie (patrz rysunek 12.6).



Rysunek 12.5. Wsypanie do miarki odmierzoną porcję barwnika

rozpuszczonym, a innym wystarczają temperatury trochę niższe. Zauważyliśmy, że do tej pierwszej grupy należą barwniki różowe i niebieskie. Okazuje się, że wymagają one także dłuższej trwającego farbowania, jeśli chcemy uzyskać dostateczne nasycenie koloru.



Rysunek 12.7. Wrzucić wydruki do roztworu



Rysunek 12.6. Dodaj wodę i dokładnie wymieszaj

Wrzuć do roztworu swoje wydruki i przemieszaj je (patrz rysunek 12.7). Od czasu do czasu potrząśnij naczyniem, aby mieć pewność, że barwienie będzie przebiegało równomiernie. Im dłużej będziesz trzymał wydruki w roztworze, tym bardziej nasycony kolor uzyskają. Aby uzyskać barwy widoczne na rysunkach, trzymaliśmy nasze doniczki w barwniku przez ok. 6 minut. Jeśli chcesz ten czas wydłużyć, wstaw roztwór do mikrofalni na 15–30 sekund, aby go podgrzać do temperatury bliskiej wrzenia. Z doświadczenia wiemy, że jedne barwniki wymagają naprawdę wysokiej temperatury, aby pozostać w stanie

4. Płukanie

Dokładne wypłukanie farbowanych przedmiotów jest niezwykle ważne (patrz rysunek 12.8). Można do tego użyć zimnej wody, ale my często wstawiamy te przedmioty na kilka minut do wrzątku, aby wyciekły z nich wszystkie resztki roztworu. Jeśli jest to biżuteria lub cokolwiek innego, co będzie noszone blisko ciała, płukanie powinno być przeprowadzone ze szczególną starannością, bo resztki barwnika mogą poplamić skórę lub ubranie.



Rysunek 12.8. Wypłucz resztki barwnika

5. Suszenie

Na koniec wysusz wszystko dokładnie (patrz rysunek 12.9).



Rysunek 12.9. Daj czas wydrukom na dokładne wyschnięcie

Etap opcjonalny — impregnacja

Nylon jest materiałem porowatym i łatwo absorbuje z otoczenia rozmaite zanieczyszczenia. Po ufarbowaniu warto go więc pokryć polimerowym lakierem bezbarwnym (polecamy Liquitex) lub transparentną farbą akrylową.

6. Pokaz

Włożyłeś tyle pracy w wykonanie i wykończenie wymyślonych przez siebie przedmiotów, więc pokaz je wszystkim wokół i opowiedz o nich (patrz rysunek 12.10).



Rysunek 12.10. Jedna z rowerowych doniczek w akcji

Powyższy poradnik został po raz pierwszy opublikowany na firmowym blogu Wearable Planter (<http://www.wearableplanter.com/blogs/news>).

Colleen Jordan jest projektantką i producentką, która lubi tworzyć rzeczy sprawiające, że życie staje się bardziej interesujące. Jest założycielką firmy *Wearable Planter* (<http://wearableplanter.com>) i marzy o posiadaniu oswojonego dinozaura.

Obróbka postprodukcyjna



Spawanie tarciove, nitowanie, szlifowanie, malowanie — zaopatrzyć się w proste narzędzia i poznać techniki udoskonalania wydruków

Autor tekstu: **Matthew Griffin** Autor zdjęć: **Andrew Baker**

Ludzie często twierdzą, że za pomocą drukarki 3D „można zrobić wszystko, co się wymyśli”. Według nich wystarczy opracować cyfrowy model trójwymiarowy i kliknąć *Drukuj*, a maszyna wiernie go odtworzy i będzie mogła to powtórzyć wielokrotnie. Lecz uzyskiwane rezultaty nie zawsze w pełni odpowiadają naszym oczekiwaniom, co dobitnie uświadomiła mi pewna ośmiolatka, gdy w ubiegłym roku podczas Maker Faire Bay Area wręczyłem jej dwa wydrukowane modele.

„Ta ośmiornica jest *czerwona*! TARDIS *nie* był przecież żółty!” — burknęła i nie przyjęła moich podarunków.

We współczesnych biurkowych drukarkach 3D stawia się bardziej na wierność odtwarzania kształtów i wymiarów modelu niż na wykończenie jego powierzchni, ale czasami przy ocenie drukarki warto zwrócić uwagę również na ten aspekt jej funkcjonowania.

Przypominam sobie radę, jakiej udzieliła mi para profesorów zajmujących się wzornictwem przemysłowym w Pratt, gdy pokazałem im mój jaskrawozielony wydruk mechanizmu zegara — „Fakt, że wymaga to więcej pracy, ale warto robić prototypy wyglądające tak, jakby były wykonane z prawdziwych materiałów”. Nawet najbardziej kreatywny inżynier czy człowiek interesu będzie miał problem z postrzeganiem prototypu jako *maszyny*, jeśli ten przypomina raczej zabawkę.

Zabiegi wykańczające (wykonywane po zakończeniu druku) są przeprowadzane w warsztacie rzemieślniczym, w którym cierpliwość, narzędzia, umiejętności i doświadczenie są w stanie zmienić surowy wydruk w perfekcyjnie wyglądający model. Spora część osób zajmujących się drukowaniem w trzech wymiarach to znakomici modelarze, przywiązujący, podobnie jak konstruktorzy domków dla lalek i małych jeżdżących pociągów, wielką wagę do szczególności tego miniaturowego świata, który budują.

Rezultaty takich zabiegów są na ogół imponujące, ale czy rzeczywiście musisz się tego wszystkiego uczyć? Czy nie lepiej przeznaczyć ten czas na wydrukowanie następnych plastikowych przedmiotów?

W kręgach drukarzy 3D osoby, które opanowały techniki wykańczania modeli, mają status mistrzowski. Weźmy na przykład takich artystów jak Cosmo Wenman, który potrafi perfekcyjnie imitować stare metale i skały, czy Jason Bakutis, którego wyszlifowane, pomalowane i wypolerowane modele do złudzenia przypominają przedmioty wykonane z prawdziwego marmuru lub nefrytu. Dzięki odpowiedniej obróbce mistrzowie potrafią modelom wydrukowanym z jaskraworóżowego, zielonego lub przezroczystego filamentu nadać wygląd przedmiotów wykonanych z gliny, kamienia, metalu czy drewna. Jak to robią?

Narzędzia i materiały

- Imadło stołowe, na przykład PanaVise,
- szczypce uniwersalne, zwane potocznie kombinerkami,
- szczypce wąskie,
- scyzoryk wielofunkcyjny,
- okulary ochronne (na przykład DeWalt DPG82-11C, które nie zachodzą parą),
- maska przeciwpyłowa (ja używam modelu 8511 z firmy 3M).

Do spawania tarcowego:

- wysokoobrotowe urządzenie z tulejami zaciskowymi 1/8" i 3/32", na przykład marki Dremel,
- filament do drukowania przestrzennego, ABS lub PLA.

Do podgrzewania i lutowania:

- stacja lutownicza na gorące powietrze (patrz rysunek 13.1) lub jakaś niewielka opalarka,
- lutownica i lutowie,
- mosiężna rurka dopasowana do grotu lutownicy,
- metalowa płytka lub lustro (opcjonalnie) do szybkiego chłodzenia,
- duży stalowy gwóźdź do dociskania i (lub) schładzania spoiny.



Rysunek 13.1. Stacja lutownicza na gorące powietrze

Do skrawania i ścierania:

- narzędzia do gratowania (ja używam gratownika NG-1 firmy Noga),
- obcinaki boczne (szczypce tnące boczne) lub nożyce do cięcia drutu,
- pilniki, wąskie o diamentowym ziarnie,
- młynek do kawy (pieprzu) potrzebny do mielenia filamentu.

Do szlifowania i polerowania:

- papiery ściernie o granulacji 80 (lub 100), 150, 220 i 500,
- papiery ściernie wodoodporne do polerowania,
- gąbki polerskie Micro-Mesh Soft Touch Pads i różnokolorowe patyczki ściernie,
- tarcze ściernie i polerskie do narzędzi wysokoobrotowych,
- zestaw preparatów firmy Novus do polerowania plastików.

Do wypełniania, klejenia, malowania i uszczelniania:

- aceton do pracy z tworzywami ABS (ale nie PLA),
- szczelny pojemnik odporny na działanie acetonu,
- farby emaliowe dla modelarzy, najlepiej firmy Testors,
- farby akrylowe,
- lakier bezbarwny w aerozolu (ja używam lakierów Crystal Clear Acrylic, Matte Finish i Triple Thick Crystal Clear Glaze firmy Krylon oraz Matte Clear i Gloss Clear firmy Rust-Oleum).

Ci, którzy kreują nowe przedmioty za pomocą drukarek 3D, mogą się wiele nauczyć od rzeźbiarzy, modelarzy i twórców gier planszowych. Tak jak mówili moi profesorowie, wykończenie modelu to nie jest zwykła kosmetyka. Umiejętność przekształcenia surowego wydruku w „magiczną” replikę może mieć zasadnicze znaczenie dla upowszechnienia Twoich pomysłów.

Sekrety zawodowe

W branży amatorskiego druku przestrzennego nie rozwinęła się jeszcze sieć usług wykańczania wydruków, tak jak to się stało w sektorze komercyjnym już dziesięć lat temu. Nie mając dostępu do acetonowych komór mgłowych, wieloosiowych robotów natryskujących emalię, urządzeń do przeprowadzania kąpeli chemicznych, przemysłowych bębnow czyszczących i maszyn polerujących, drobni wytwórcy zakasali rękawy i opracowali własne metody wykańczania modeli przy użyciu stosunkowo niedrogich narzędzi i materiałów. Metody te nie tylko wpłynęły na ostateczny wygląd drukowanych przedmiotów, ale także wymusiły uwzględnianie tych spraw już na wczesnym etapie projektowania modeli.

W ramach przygotowań do mającej się ukazać książki *Design for 3D Printing* („Make”, 2013) rozmawiałem z wieloma ludźmi, którzy na własnym sprzęcie drukują wymyślone przez siebie obiekty. Uzyskałem od nich wiele cennych informacji na temat rozmaitych technik wykańczania wydruków i stosowanych do tego narzędzi. Chciałbym się teraz tymi informacjami podzielić, a w zamian za to oczekuję, że również Ty, drogi czytelniku, jeśli opracujesz jakąś skuteczną, bezpieczną i taną metodę obróbki, zechcesz się nią podzielić.

Spawanie tarciove

Świat pewnie już zapomniał o sprzedawanej w latach 70. zabawce Spin Welder (wirująca spawarka), ale Fran Blanche z Frantone Electronics przypomniała nam tamte doświadczenia w swoim znakomitym

filmie instruktażowym z 2012 roku pt. *Build Your Own Friction Welder*. Za pomocą niedrogiej maszyny obrotowej wprawiła styrenowy pręt w na tyle szybkie wirowanie, że powstałe wskutek tego połączenie dwóch kawałków plastiku było trudne do rozerwania gołymi rękami. Wspomniana wcześniej zabawka służyła kiedyś młodzieży do łączenia części kadłubów w helikopterach, motocyklach i innych modelach — najpierw zgrzewano konstrukcję z prętów i belek, a potem za pomocą plastikowych nitów mocowano do niej poszycie. Fakt, zabawka taka w ręku dziecka mogła budzić grozę, ale dla współczesnych wytwórców mogłaby być bardzo użytecznym narzędziem, więc razem z Fran zastanawiam się, dlaczego tak nie jest.

Spawanie tarciove polega na roztopianiu łączonych metali lub termoplastycznych tworzyw przez szybkie pocieranie jednego elementu o drugi. Wydzielające się w wyniku tarcia ciepło sprawia, że przylegające do siebie powierzchnie topią się i łączą w spójną całość. W napawaniu tarciowym — odmianie spawania tarciove — jeden z elementów jest wprawiany w szybki ruch obrotowy i jednocześnie przesuwany z lekkim dociskiem po powierzchni drugiego. Jest to skuteczny sposób na zakrycie szwów i zniwelowane nierówności na powierzchni modelu.

Techniki te są powszechnie stosowane do łączenia elementów wykonanych z aluminium i tworzyw sztucznych w przemysłach motoryzacyjnym i lotniczym, ale stosowane tam narzędzia są bardzo drogie. Potrafią one obracać łączone elementy z prędkością setek tysięcy obrotów na minutę, przy czym robią to w sposób impulsowy i po roztopieniu trących powierzchni ustawiają elementy w dokładnie wyznaczonych położeniach. Gdzie są tanie, ręczne odpowiedniki takich narzędzi?

Okazuje się, że większość z nas już ma sprzęt odpowiedni do podjęcia eksperymentów ze spawaniem tarciowym. Dremely i inne podobne do nich urządzenia osiągają prędkości obrotowe wystarczające do roztopienia drukarskiego filamentu, i właśnie jego kawałki mogą służyć jako „pręty spawalnicze” przy łączeniu elementów i zaklejaniu dziur. Narzędzi tych

można używać także do zatapiania plastikowych nitów (które też mogą być drukowane). I choć do całkowitego wyhamowania obrotów potrzebują od jednej do dwóch sekund, istnieje wciąż możliwość skorygowania położenia łączonych elementów, bo roztopione tworzywo zastyga jeszcze wolniej.

Moim zdaniem zarówno spawanie, jak i nitowanie są niezwykle przydatnymi technikami obróbki postprodukcyjnej, zwłaszcza gdy grę wchodzi połączenia ukryte wewnątrz obiektu i gdy łączone elementy są wykonane z tworzywa PLA, które klei się znacznie gorzej niż ABS.

Spawanie tarciove elementów niedopasowanych

Wraz z Chrisem Hackettem z Madagascar Institute spędziliśmy mnóstwo czasu na dociekaniu, czy to, co wiadomo o tradycyjnym spawaniu metali, da się przenieść na grunt spawania tarciowego modeli drukowanych. Rezultatem wielu eksperymentów przeprowadzonych w warsztacie Chrisa jest opisana niżej procedura pozwalająca uzyskać ładny szew spawalniczy z tworzywa, podobny do klasycznej spoiny metalowej. Nawet wtedy, gdy łączone części nie są idealnie dopasowane, można je zespawać tak mocno, jakby były jedną całością. Poniżej pokazuję, jak to zrobić na przykładzie elementów wykonanych z ABS-u, ale w przypadku tworzywa PLA należy postępować tak samo.

1. Przygotuj urządzenie zapewniające ruch obrotowy

Zamontuj tuleję zaciskową pasującą do średnicy filamentu, który będzie pełnił rolę drutu spawalniczego. Dla filamentu 1,8 mm zastosuj tuleję 3/32" (taką jak na rysunku 13.2 — z trzema pierścieniami), a dla 3 mm wybierz tuleję 1/8" (bez pierścieni).



Rysunek 13.2. Przygotuj urządzenie do obracania filamentu

Wsuń niewielki kawałek filamentu między szczęki tulei i zaciśnij go na tyle mocno, by nie dało się go wysunąć (patrz rysunek 13.3).



Rysunek 13.3. Zamocuj filament w uchwycie narzędzia

Obetnij filament w odległości mniej więcej 1/2" od tulei zaciskowej. Krótkie kawałki są łatwiejsze do opanowania, bo są sztywniejsze i nie wyginają się podczas obracania. (Po nabraniu wprawy możesz stosować dłuższe kawałki i naciskając je pod odpowiednim kątem, uzyskiwać dłuższe spoiny. Jeśli filament wygnie się za bardzo, podgrzej go gorącym powietrzem i wyprostuj).

2. Przygotuj łączone części

Po oczyszczeniu, wyszlifowaniu i złożeniu obu części obudowy zegarka (patrz rysunek 13.4) okazało się, że szpara między nimi wynosi od 0,1 do 2 mm. Przy tak dużych nierównościach klejenie nie zdałoby egzaminu, więc musiałem je zespawać.



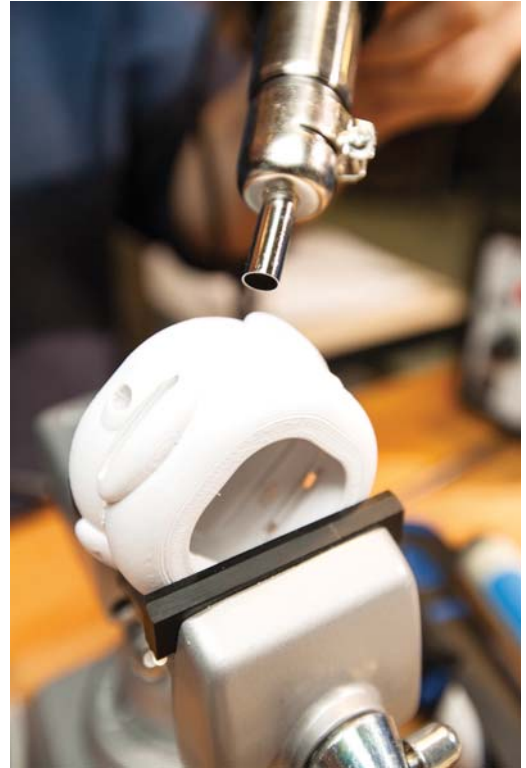
Rysunek 13.4. Przygotuj łączone części

Za pomocą gratownika lub żyłетки zetnij górne krawędzie połączenia, aby utworzyć rowek o przekroju w kształcie litery V (patrz rysunek 13.5). W rowku powinny zmieścić się trzy warstwy spoiny z niewielkim tylko nadlewem nad powierzchnią łączonych części. Utworzone w ten sposób połączenie jest dużo mocniejsze od tego, które powstaje przy spawaniu wyłącznie powierzchniowym.



Rysunek 13.5. Zetnij górne krawędzie szwu, aby uformować rowek w kształcie litery V

Ogrzej obie części ciepłym powietrzem z opalarki (patrz rysunek 13.6). Dzięki temu materiał spawalniczy będzie mógł wnikać na tę samą głębokość do każdej z nich. Jeśli jeden z łączonych elementów jest dużo większy od drugiego, podgrzewaj go odpowiednio dłużej.



Rysunek 13.6. Ogrzej łączone części za pomocą opalarki

3. Zespawaj obie części punktowo, aby ustalić ich wzajemne położenie

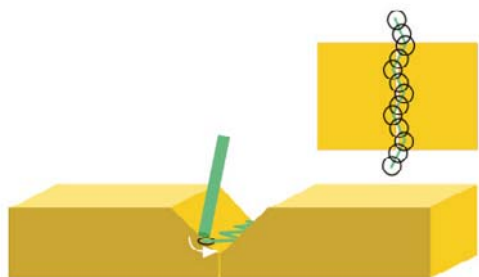
Teraz zepnij łączone części za pomocą krótkich, punktowych spoin rozmieszczonych na całej długości połączenia. W tym czasie nie dopuszczaj do żadnych ruchów jednej części względem drugiej.

Ustaw prędkość obrotową narzędzia na takim poziomie, przy którym filament będzie zostawiał wyraźny ślad na obu łączonych powierzchniach. Gdy końcówka filamentu zacznie się deformować, zwiększ delikatnie nacisk (patrz rysunek 13.7).



Rysunek 13.7. Zwiększ nacisk

Zataczając niewielkie okręgi, rozszerz trochę strefę łączenia na boki obu elementów, a jednocześnie przesuwaj filament do przodu, dopóki nie utworzysz małej, punktowej spoiny (patrz rysunek 13.8).



Rysunek 13.8. Tworzenie spoiny punktowej

Utwórz co najmniej trzy takie spoiny punktowe i pozostaw je do wystygnięcia. Połączenie powinno być już dość mocne i trudne do zerwania bez użycia narzędzi (patrz rysunek 13.9).



Rysunek 13.9. Zepnij obie części i pozwól im wystygnąć

4. Wypełnij duże szpary

Szpary szersze niż połowa średnicy filamentu spawalniczego należy wypełnić przed położeniem ostatecznego szwu. Utnij kawałek filamentu i zmiękcź go ciepłym powietrzem z dmuchawy (może być opalarka) lub ogrzej do 100°C na stoliku drukarki (patrz rysunek 13.10).



Rysunek 13.10. W duże szpary wciśnij filament zmiękczony ciepłym powietrzem

Zmiękczony filament wciśnij w duże szpary między łączonymi elementami i w razie potrzeby przyczep go kilkoma punktowymi spoinami.

5. Utwórz pełną spoinę

Na koniec wykonaj pełną spoinę z dwóch lub trzech warstw (patrz rysunek 13.11). Spoina jednowarstwowa połączyłaby prawdopodobnie obie części tylko powierzchniowo i przy pierwszej próbie zgięcia połączenie zostałoby złamane.



Rysunek 13.11. Spoina w spawaniu tarciovym powinna być wielowarstwowa

Na powyższym, wyidealizowanym rysunku na samym dole rowka znajduje się jeden ścieg, druga warstwa składa się z dwóch ściegów, a trzecia (najwyższa) zawiera trzy ściegi. Taka konstrukcja spoiny zapewnia, że jej cała objętość bierze udział w tworzeniu połączenia.

Aby ukryć spoinę, można ją po prostu spiłować i wypolerować, a następnie całość pomalować lub polakierować.

Naprawa modelu PLA przy użyciu spawania tarciovego

Przedziurawiona (patrz rysunek 13.12) część rzeźby Micaha Ganskego „Industrial Ring Habitat” (patrz rysunek 13.13) wymaga naprawy. Żeby zespane miejsce było lepiej widoczne, użyjemy do tego celu filamentu w kolorze czerwonym.



Rysunek 13.12. Przedziurawiony kawałek rzeźby



Rysunek 13.13. Rzeźba Michała Ganskego „Industrial Ring Habitat”

Tworzywo PLA jest podatne na złamania i pęknięcia, a naprawa takich uszkodzeń jest dosyć trudna. Rozpuszczalniki, takie jak aceton, raczej nie skutkują, a kleje typu ABS czy Super Glue zlepiają tylko powierzchniowo, bez tworzenia spoiny chemicznej, co oznacza, że takie połączenie można łatwo złamać.

Zastosowanie spawania tarcowego pozwala uzyskać spoinę trwałą i trudną do złamania.

1. Wciśnij odłamany element we właściwe miejsce i przytrzymaj go tam nieruchomo.



2. Przyspawaj go punktowo w kilku miejscach.



3. Tworzywo PLA topi się przy niższych temperaturach niż ABS, więc nie dociskaj filamentu zbyt mocno, bo zamiast zespolić, możesz zrobić dziurę. Wymaga to trochę praktyki.



4. Wykonaj pełną spoinę, zmieniając w razie potrzeby kierunek przesuwania narzędzia. Ładniejsze spoinie uzyskasz, jeżeli będziesz robił częste przerwy, podczas których łączone elementy będą mogły ostygnąć.



5. Zanim przystąpisz do szlifowania i impregnowania spoiny, pozwól jej całkowicie ostygnąć.

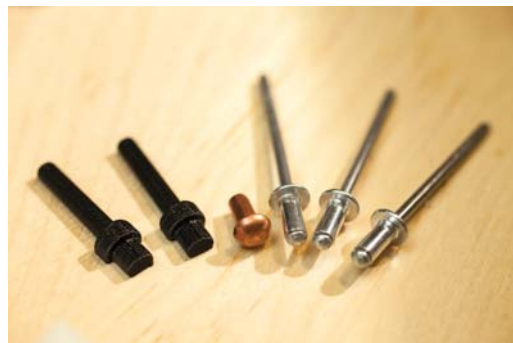


Nitowanie — osadzanie tarciove nitów zrywalnych

Narzędzie obrotowe może posłużyć także do trwałego osadzania nitów zrywalnych. W porównaniu z klasycznymi nity zrywalne mają tę zaletę, że do ich montażu nie jest potrzebny dostęp z obu stron łączonych powierzchni.

Stosowanie takich nitów sprawdza się doskonale, gdy trzeba przymocować płat tworzywa do zewnętrznej powierzchni modelu, a dostęp od środka jest utrudniony, lub wręcz niemożliwy. Nitowanie umożliwia także konstruowanie masywnych obiektów złożonych z wielu płyt, które te płyty mogą być łatwo wydrukowane wprost na stoliku drukarki.

Na rysunku 13.14 są pokazane dwa wydrukowane z tworzywa nity zrywalne, jeden klasyczny nit mosiężny i trzy nity zrywalne aluminiowe. Zwróć uwagę na długie „trzcienie” wystające daleko poza łby nitów zarówno tych drukowanych, jak i aluminiowych. Właśnie te trzcienie posłużą nam do mocowania nitów w uchwycie narzędzia obrotowego.



Rysunek 13.14. Nity zrywalne wydrukowane z tworzywa, klasyczny nit mosiężny i nity zrywalne aluminiowe

Po zamocowaniu nitu trzpień należy obciąć. Do naprawy rzeźby przygotowałem nity pasujące do tulei zaciskowej 1/8", czyli tej samej, do której pasuje większość akcesoriów Dremela.

Nity przeznaczone do spawania tarcowego nie muszą być dokładnie walcowe, więc nadałem im kształt ściętego walca, aby łatwo dały się wydrukować na płaskim stoliku (patrz rysunek 13.15). Powstałe przez to krawędzie na powierzchni bocznej nitu dodatkowo go usztywniły.



Rysunek 13.15. Nity w kształcie ściętych walców

Pokażę teraz, jak należy przeprowadzać takie nitowanie na przykładzie mocowania małej płytki do innego fragmentu rzeźby. Jeśli chciałbyś wydrukować sobie takie same nity, pobierz pliki ze strony <http://www.thingiverse.com/thing:61510>.



Spawanie tarcowe wymaga użycia narzędzia wysokoobrotowego, więc bezwzględnie należy zaopatrzyć się w atestowane okulary ochronne. Należy też zadbać o należyłą wentylację pomieszczenia, ponieważ w trakcie spawania i innych zabiegów wymagających podgrzania, zmiękczenia lub roztopienia tworzywa mogą powstawać niebezpieczne, chemiczne opary. Podczas szlifowania i wszelkich innych prac przyczyniających się do powstawania pyłu należy koniecznie nosić założoną maskę o parametrach zgodnych z odpowiednimi normami

BHP. Prace wymagające użycia łatwo ulatniających się rozpuszczalników, takich jak aceton, należy wykonywać tylko przy właściwej wentylacji, w okularach ochronnych, odpowiednim ubraniu i lateksowych bądź nitylowych rękawicach.

1. Poluzuj nakrętkę tulei zaciskowej, włóż do tulei trzpień nitu i dokręć nakrętkę.



2. Zaprojektuj lub wywierć w płytce otwór na tyle duży, aby nit mógł przejść swobodnie do elementu bazowego, w którym ma być osadzony. Otwór nie powinien być jednak zbyt duży, bo łeb nitu musi przecież trzymać płytkę.

Wcześniejsze nawiercenie (lub zaprojektowanie) otworu pilotującego w części bazowej skutecznie zapobiega osadzeniu nitu w niewłaściwym miejscu.



3. Wpraw nit w ruch obrotowy i ostrożnie wsuń go w otwór w płytce aż do zetknięcia z miejscem osadzenia. Gdy poczujesz, że koniec nitu robi się miękki, delikatnie zwiększ nacisk.



4. Wyłącz urządzenie obrotowe, ale nadal trzymaj je w położeniu prostopadłym do mocowanej płytki i nie przestawaj naciskać w dół. Aby szybciej zatrzymać obroty, możesz użyć kawałka tektury lub pianki w roli hamulca (w przeciwieństwie do profesjonalnych maszyn stosowanych w spawalnictwie tarciovym urządzenia amatorskie potrzebują nawet kilku sekund, żeby całkowicie wyhamować).



5. Poluzuj nakrętkę tulei zaciskowej i wysuń z niej trzpień nitu. Jeśli nit jest jeszcze ciepły, utrzyjmy stały docisk aż do całkowitego wystygnięcia (wtedy nit powinien być już mocno osadzony w elemencie bazowym).



6. Za pomocą obcinaków bocznych odetnij wystający trzpień nitu, pozostawiając łeb w stanie nienaruszonym.



7. Jeśli łeb nitu wystaje za bardzo ponad powierzchnię płytki lub wydaje się zbyt wąski, aby pewnie trzymać płytkę, ogrzej go za pomocą opalarki i rozplaszcz przy użyciu stalowego gwoźdźca.



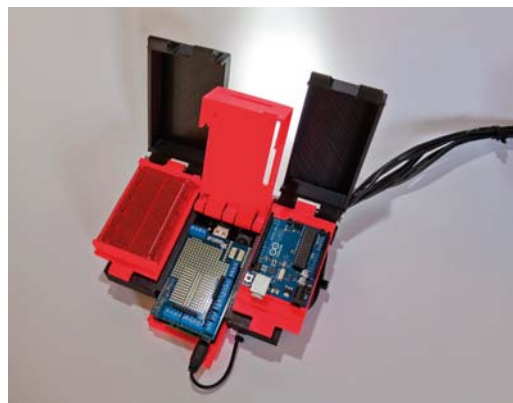
Możliwe jest osadzanie nitów ABS w tworzywie PLA i na odwrót, ale do tego jest potrzebne dobre wycucie momentu, w którym należy rozpocząć dociskanie. Przed montażem delikatnych materiałów zawsze warto przeprowadzić nitowanie próbne.

Wykonywanie nitów i zawiasów z filamentu

Nity były znane i stosowane już w epoce brązu; służyły i nadal służą do łączenia elementów narzędzi, dzieł sztuki, mostów i budynków. Nie dziwi więc, że ludzie parający się drukowaniem w trzech wymiarach również postanowili wypróbować tę

technologię. Widziałem mnóstwo projektów, w których elementy dużych konstrukcji połączono za pomocą kawałków filamentu.

Całkiem niedawno Jason Welsh, artysta i nauczyciel technik 3D, zademonstrował całkiem obiecującą metodę konstruowania drukowanych obudów do amatorskich urządzeń elektronicznych. Zarówno w *Folding Arduino Lab* (<http://www.thingiverse.com/thing:32839>), jak i w *Pi Command Center* (<http://www.thingiverse.com/thing:38965>) zastosował filamentowe „kołki” jako nity w połączeniach sztywnych i sworznie w zawiasach (patrz rysunek 13.16).



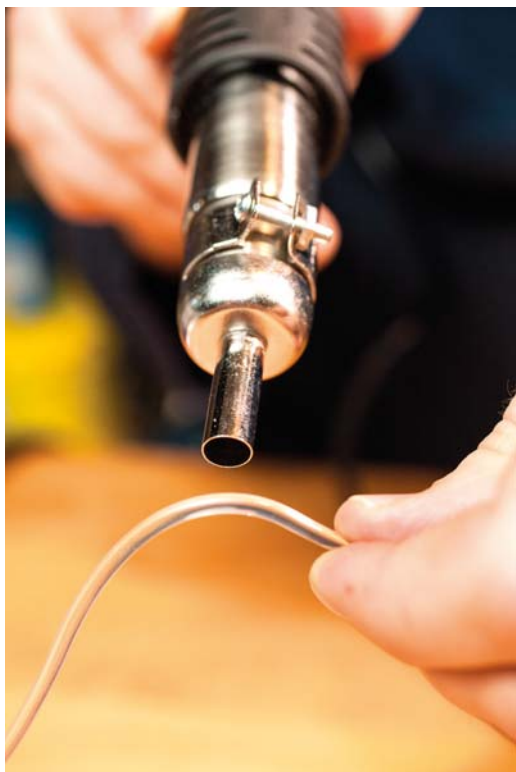
Rysunek 13.16. Centralka sterująca z minikomputerem Pi

Nitowanie w wykonaniu Welsha wygląda w ten sposób, że najpierw rozgrzewa jeden koniec kawałka filamentu i spłaszcza go, formując pierwszy łeb nitu, a następnie przeciąga filament przez otwory w elementach łączonych i po dokładnym osadzeniu go formuje drugi łeb. Przy takiej klasycznej technice nitowania potrzebny jest dostęp do obu stron łączonych elementów, ale jej zaletą jest duża wytrzymałość złącza i możliwość całkowitego usunięcia nitu przez obcięcie łba za pomocą obcinaków bocznych.

Nity i sworznie można robić z dowolnego filamentu, ale kierując się doświadczeniem, jakiego nabyłem podczas konstruowania modeli Welsha, polecam zdecydowanie 3-milimetrowy z tworzywa PLA. Tworzywo to można łatwo zmiękczyć przez podgrzanie gorącym powietrzem z opalarki, a 3-milimetrowe kołki są sztywniejsze i bardziej wytrzymałe niż te

o średnicy 1,75 mm. W przypadku braku filamentu o średnicy 3 mm można zastosować cieńszy, ale wtedy należy nitować gęściej, żeby wszelkie obciążenia rozłożyły się na większą liczbę nitów.

1. Utnij kawałek filamentu o długości 4–6" i za pomocą opalarki z ustawioną niską temperaturą grzałki ogrzej go równomiernie, aż stanie się miękki i wiotki (taki sam skutek da przytrzymanie go przez kilka minut na podgrzewanym stoliku drukarki).



2. Ciepły jeszcze filament wyprostuj przez wałkowanie go palcami na stole, albo jeszcze lepiej na szkle, bo wtedy szybciej ostygnie. Podczas wałkowania rozsuwaj ręce coraz bardziej, aby filament był ciągle wyprostowany.



3. Zmiękczył jeden koniec filamentu, ogrzewając go opalarką (możesz też użyć do tego celu lutownicy, rozgrzanej mosiężnej dyszy lub podgrzewanego stolika drukarki).



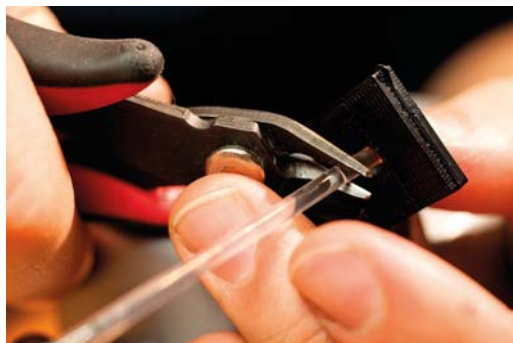
4. Przyciśnij miękki koniec kołka do płaskiej, zimnej powierzchni i uformuj z niego spłaszczony łeb nitu. Ja zazwyczaj robię to za pomocą główki dużego stalowego gwoźdźdźia, ale może to być cokolwiek, co ma płaską powierzchnię i w miarę szybko ostudzi filament.



5. Twój nit powinien mieć ładny, płaski łeb, który będzie w stanie mocno przylegać do brzegów otworu montażowego. W terminologii nitowniczej jest to łeb „fabryczny”, natomiast ten drugi, który utworzysz po drugiej stronie złącza, nosi nazwę zakuwki.



6. Włóż nit do otworu montażowego i trzymając jego łeb dociśnięty do elementu mocowanego, obetnij drugi koniec i zostaw tylko tyle filamentu, ile będzie potrzebne do uformowania zakuwki.



7. Za pomocą opalarki podgrzej wystający kawałek nitu, aż zmięknie i zacznie się deformować.



8. Za pomocą płaskiego przedmiotu dociśnij rozgrzany plastik i uformuj z niego zakuwkę. Najlepiej robi się to dużym stalowym gwoździem — jest wygodny w użyciu i dobrze odprowadza ciepło od deformowanego tworzywa.



9. Dociskaj zakuwkę tak długo, aż będziesz pewien, że już się nie odsunie od elementu mocowanego.

Nie próbuj poruszać złączonymi elementami, dopóki one same oraz nit nie ostygną do temperatury pokojowej.

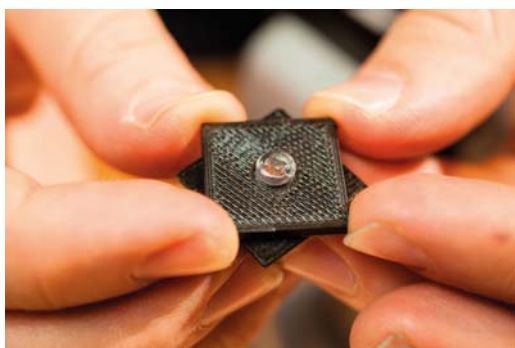
Dociskaj nit aż do całkowitego wystygnięcia, tak jak na poniższym rysunku.



10. Montaż trzpienia zawiasu przebiega tak samo, z wyjątkiem fazy ostatniej.

Po uformowaniu zakuwki przez cały czas stygnięcia poruszaj delikatnie złączonymi częściami, aby wymusić niewielki luz połączenia, umożliwiając późniejsze zamykanie i otwieranie zawiasu.

W widocznym tu połączeniu dwóch czarnych elementów każdy z nich może się obracać wokół łączącego je sworznia, ale rozłączyć ich się nie da.



Dwa materiały i dwie techniki wykańczania

Tworzywa ABS i PLA dość mocno różnią się właściwościami fizycznymi. ABS wymaga wyższych temperatur drukowania (zazwyczaj od 215 do 235°C), jest elastyczniejsze, wytrzymalsze i poddaje się przemysłowym rozpuszczalnikom, takim jak aceton. PLA topi się przy niższych temperaturach (drukować można już od 180°C), szybciej się ściera, jest bardziej kruche i łamliwe i nie rozpuszcza się w acetonie (chemikalia stosowane do jego rozpuszczania są bardzo toksyczne).

Jeśli do zmiękczenia filamentu zamierzasz użyć lutownicy zamiast opalarki, postaraj się o mosiężną rurkę (patrz rysunek 13.17), którą mógłbyś nasunąć ciasno na grot. Dzięki temu grot pozostanie czysty nawet po długiej pracy z tworzywami. A jeśli zadbasz, by mosiądz był zawsze czysty, tworzywa nie będą się przyklejały również do rurki.



Rysunek 13.17. Osłoń grot lutownicy mosiężną rurką

Jeśli do ukształtowania zakuwki potrzebujesz obu rąk, przymocuj łeb nitu za pomocą taśmy klejącej.

Klejenie i uzupełnianie ubytków za pomocą specjalnie przygotowanej masy ABS

Super Glue (cyjanoakryl) i inne kleje do tworzyw sztucznych całkiem dobrze radzą sobie ze spajaniem elementów drukowanych z ABS-u, ale mimo to wielu modelarzy używa jako spoiwa i wypełniacza raczej specjalnej „masy ABS”, ponieważ zapewnia ona trwalsze wiązanie i jest lepiej dopasowana kolorystycznie do drukowanych elementów. Masa ta to nic innego jak zmielony i rozpuszczony w acetonie filament ABS.

Zastosowany w warunkach swobodnej wymiany powietrza aceton rozpuszcza powierzchnię tworzywa ABS (podobnie jak wielu innych tworzyw styrenowych), wytwarzając mazisty szlam, a następnie — po pewnym czasie — wyparowuje, pozostawiając tylko zdeformowane tworzywo. Lecz jeśli przeprowadzi się cały ten proces w szczelnie zamkniętym naczyniu, z którego aceton nie będzie w stanie uciec, powstanie gęsta, jednorodna mieszanina acetonu i ABS-u, podobna do akrylowego żelu.

Istnieje kilka metod wytwarzania takiej masy. Mnie przypadła do gustu receptura opracowana przez *ProtoParadigma* (<http://www.thingiverse.com/thing:14490>) — jedną część ABS-u wymieszaj z dwiema częściami acetonu w buteleczce po lakierze do paznokci lub w podobnym pojemniczku. Kawałki filamentu zmiel w tanim młynku do kawy lub pieprzu. Im bardziej rozdrobnione będzie tworzywo, tym szybciej się rozpuści i tym łatwiej będzie odmierzyć proporcje mieszanki.



Podczas pracy z acetonem i masą ABS należy zachować daleko idące środki ostrożności. Wkładaj zawsze rękawice i okulary ochronne oraz unikaj pracy w pomieszczeniach bez właściwej wentylacji, a także w pobliżu otwartego ognia. Masa ABS jest niezwykle łatwopalna, a na dodatek przywiera do wszystkiego i paląc się, wydziela cuchnący dym uważany powszechnie za bardzo toksyczny. Bądź bardzo ostrożny, bo możesz stworzyć mały miotacz „napalmu”.

Masę ABS rozprowadzaj za pomocą taniego pędzelka z włosiem naturalnym (pędzle syntetyczne rozpuszczą się w acetonie!). Następnie pozwól acetonowi całkowicie wyparować, aby w warstwie spajającej lub wypełniającej pozostało tylko tworzywo ABS.

Zagrożenie ze strony acetonu jest największe w trakcie nakładania masy i podczas jej wysychania, więc

dobrze jest umieścić klejone lub naprawiane elementy na tacy lub kawałku tektury i zaraz po zakończeniu pracy odstawić je w miejsce odosobnione, ale dobrze wentylowane. Jeśli zamierzasz wyjść z nimi na zewnątrz budynku, umieść wszystko w tekturowym pudełku, aby do wciąż mazistej masy nie przykleiły się suche liście i cząsteczki kurzu.

Aceton może „zespawać” elementy wydrukowane z ABS-u, ale takie połączenie ma niewielką wytrzymałość na ścinanie, ponieważ strefa złącza nie sięga zbyt daleko w głąb materiału. Jeśli konstrukcja ma mieć większą wytrzymałość mechaniczną, należy zaprojektować połączenie z elementami zazębiającymi się i zwiększającymi powierzchnię spojenia — albo zastosować zupełnie inny rodzaj połączenia.

Szlifowanie wydruków

Gdy zaczynałem się uczyć podstaw obróbki drewna, próbowałem dość ślamazarnie i nieporadnie wyszlifować połupaną skrzynkę narzędziową i pokierszowane samochodziki z zestawu Pinewood Derby. Wtedy ojciec uświadomił mi, że powinienem się skoncentrować na osiągnięciu celu w postaci „wyszlifowanego” przedmiotu, a nie na samej czynności „szlifowania”. Aby osiągnąć zamierzony rezultat, musisz zacząć szlifowanie gruboziarnistym papierem ściernym, a potem stosować coraz drobniejsze, aż obrabiana powierzchnia stanie się dostatecznie gładka.

To samo dotyczy szlifowania przedmiotów wydrukowanych z tworzyw sztucznych (patrz rysunek 13.18). Przy szlifowaniu tworzyw ABS i PLA możesz dojść do nawet bardzo drobnych papierów, jak te, które służą do polerowania drogich kamieni, oraz przyrządów polerskich o ziarnistości mierzonej w pojedynczych mikrometrach i zostawiających po sobie zadrapania widoczne dopiero przy mocnym powiększeniu.



Rysunek 13.18. Szlifowanie wydruku 3D

Krąg środowiska przemysłowego

Artysta Micah Ganske, tworząc rzeźbę „Industrial Ring Habitat”, wydrukował z ABS-u 1000 elementów, a następnie skleił je za pomocą masy ABS. Takiej samej masy użył do przyklejania elementów wykonanych z tworzywa PLA — mimo że aceton nie rozpuszcza tego tworzywa, masa wnika we wszystkie pęknięcia i rysy, tworząc połączenie o charakterze bardziej mechanicznym niż chemicznym.



Jednak dobrze oszlifowane wydruki zdarzają się bardzo rzadko, a są tego dwa dość istotne powody. Po pierwsze, tworzywa ABS i PLA są miększe niż drewno, które szlifujemy, a po drugie, dziwne, poziome „ziarno” powstające w procesie drukowania odbija światło inaczej niż powierzchnia wyszlifowana albo wygładzona przez podgrzewany stół (w wydrukach z ABS-u), więc jeśli zdecydujemy się szlifować, musimy to robić aż do pełnej likwidacji tego ziarna, co nie jest wcale łatwe.

Szlifowanie elementów drukowanych przypomina szlifowanie lepkiego, żywicznego drewna. Skup się na szlifowaniu i nie staraj się niczego przyspieszać — zacznij od papierów lub tarcz do Dremela (patrz rysunek 13.19) o ziarnistości 100 bądź 150, potem zmień na 320, a następnie zastosuj bardzo delikatny papier o granulacji 500. Na koniec użyj narzędzi polerskich z ziarnem mikrometrycznym, aby zatuszować wszelkie ślady szlifowania. Niektórzy modelarze, chcąc zaoszczędzić trochę pieniędzy, rezygnują z gruboziarnistych papierów, ale zawsze dzieje się to ze szkodą dla końcowego efektu — grube ziarno lepiej sobie radzi z dużymi nierównościami, jakie tworzą linie poszczególnych warstw druku. Delikatnym papierem można je tylko zaokrąglić, ale nigdy nie uda się ich całkowicie zlikwidować (patrz rysunek 13.20).



Rysunek 13.19. Zestaw akcesoriów szlifiersko-polerskich do Dremela



Rysunek 13.20. Usuwanie grubych nierówności

Wyszlifowaną powierzchnię możesz lekko roztopić gorącym powietrzem z opalarki (patrz rysunek 13.21), aby ostatecznie zlikwidować wszelkie ślady szlifowania i przywrócić pierwotny kolor tworzywa. Jednak zanim zrobisz to z właściwym modelem, poćwicz trochę na jakichś niepotrzebnych kawałkach tworzywa.



Rysunek 13.21. Do likwidowania małych zadrapań użyj opalarki

Wydruki ABS można wygładzić idealnie za pomocą polerskich preparatów firmy Novus, ale większość modelarzy wybiera jednak opcję zwykłego malowania.

Matt Griffin jest kierownikiem ds. kontaktów z klientami w Adafruit Industries, byłym menedżerem społecznościami w MakerBot i autorem mającej się wkrótce ukazać książki *Design and Modeling for 3D Printing*.

Postarzanie wydruków

Twe wydruki mogą wyglądać, jakby były wykonane ze starego, zniszczonego metalu

Autor: **Jason Babler**

Nadanie tworzywu lub drewnu wyglądu starego metalu (patrz rysunek 14.1) nie jest wcale tak trudne, jak się wielu ludziom wydaje. Całkiem niezły efekt można uzyskać już po dwóch malowaniach, ale w przykładzie, który chcę zaprezentować, zastosujemy trzy etapy malowania. Przykładowym modelem będzie wydrukowany w redakcji czasopisma „Make” plastikowy robot. Cała procedura zajęła mi zaledwie 10 minut.



Rysunek 14.1. Tworzywo sztuczne, a wygląda jak stary, zniszczony metal

Model robota Mega Make zaprojektowany przez redakcyjnego stażystę Dana Spanglera będzie wkrótce dostępny w formie gotowych do druku plików na stronie <http://makezine.com/projects/make-your-own-mega-make/>.

Oto wykaz potrzebnych materiałów i narzędzi:

Farba metaliczna

Ja lubię farby marki Citadel, a moim ulubionym kolorem jest *Ironbreaker* (<http://www.games-workshop.com/gws/catalog/productDetail.jsp?prodId=prod1500186a>).

Farba w aerozolu

Ja wybrałem linię Fusion marki Krylon.

Czarna farba akrylowa

Może być jakakolwiek.

Pędzle do malowania techniką „suchego pędzla”

Dobre są pędzle firmy *Micro-Mark* (<http://www.micromark.com/dry-brushes-set-of-4,7667.html>). Możesz również wziąć stary pędzel z dużą ilością włosia i obciąć go na płasko.

Inne pędzle

Przydatny będzie pędzel retuszerski lub jakiś inny wąski do malowania szczegółów.

1. Wybór farby podstawowej

Biały element pokazany na rysunku 14.2 pochodzi z tylnej części robota, którego wydrukowaliśmy w redakcji „Make”. Robot miał być podobny do redakcyjnej maskotki znanej z targów Maker Faire, czyli czerwony. Wybrałem więc farbę Fusion marki Krylon w takim odcieniu czerwieni, o jaki mi chodziło. Schnie ona dosyć szybko i bardzo dobrze trzyma się tworzywa. Nie zastosowałem tutaj gruntowania, ale tę farbę można nakładać również na powierzchnie zagruntowane.



Rysunek 14.2. Wydrukowany element pleców robota

2. Wybór farby metalicznej do malowania wytartych krawędzi

Lubię farby metaliczne firmy Citadel (patrz rysunek 14.3) — szczególnie podoba mi się mocny metaliczny połysk farby o nazwie Ironbreaker — ale wyroby innych producentów też się sprawdzają.



Rysunek 14.3. Farby Citadel

3. Malowanie techniką „suchego pędzla”

Aby uzyskać właściwy efekt „suchego pędzla”, potrzebny jest pędzel o odpowiedniej budowie. Weź jakiś stary, ale jeszcze gęsty pędzel i obetnij mu koniec włosia zupełnie na płasko albo po prostu kup specjalny sprzęt do malowania techniką „suchego pędzla”, na przykład firmy Micro-Mark (patrz rysunek 14.4).



Rysunek 14.4. Pędzle typu Dry Brush firmy Micro-Mark

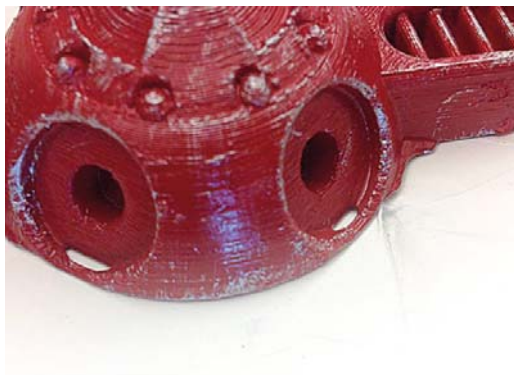
Zamocz pędzel w farbie, a następnie wytrzyj go prawie do sucha papierowym ręcznikiem. Technika „suchego pędzla” polega — zgodnie z tym, co sugeruje jej nazwa — na malowaniu pędzlem zawierającym bardzo mało farby. Zanim zaczniesz malować swój model, poeksperymentuj trochę na innych rzeczach, żeby wyczuć dokładnie, o co chodzi. Podczas

takiego malowania pędzel powinien zostawiać ślad w postaci niewielkiej ilości farby na wystających krawędziach malowanej powierzchni. Należy malować lekko i powoli (patrz rysunek 14.5).



Rysunek 14.5. Malowanie techniką „suchego pędzla”

Aby wytworzyć wrażenie częstego używania robota, starałem się zostawić nieco więcej farby wokół głównych krawędzi modelu. Chodzi tu o te krawędzie, które są najbardziej narażone na ścieranie przy kontaktach z innymi przedmiotami i dlatego powinny wyglądać na najbardziej zniszczone (patrz rysunek 14.6).



Rysunek 14.6. Podkreślenie wytartych krawędzi

4. Imitowanie większych odprysków farby i zadrapań

Za pomocą bardzo wąskiego pędzelka retuszerskiego pomalowałem tą samą metaliczną farbą większe

obszary, gdzie „oryginalna” farba czerwona mogła zostać mocniej zdrapana (patrz rysunek 14.7). Oczywiście nie należy z tym przesadzać, bo można cały efekt zepsuć.



Rysunek 14.7. Dodawanie większych plam gołego metalu — byle nie za dużo

5. Dodawanie zabrudzeń

Urządzenia stare i zniszczone zazwyczaj są też mniej lub bardziej przybrudzone i przy postarzeniu modelu trzeba o tym pamiętać (patrz rysunek 14.8). Proponuję zacząć od wykonania washy, czyli malowania bardzo rozcieńczoną czarną farbą akrylową. Aby sprawdzić, czy rozcieńczenie jest dostateczne, pomaluj kawałek gazety i zobacz, czy tekst pod farbą jest nadal czytelny.



Rysunek 14.8. Dodawanie zabrudzeń

Nie kupuj gotowych farb washowych w sklepach malarskich, lecz po prostu rozpuść farbę akrylową za pomocą samochodowego płynu do spryskiwaczy. Tak przygotowana farba szybko wysycha i jest bardzo trwała.

Ja na ogół maluję taką farbą wszystkie zakamarki na powierzchni modelu, w których brud lubi się gromadzić. Jeśli farba jest dostatecznie rozcieńczona, powinna szybko wnikać we wszystkie zagłębienia (patrz rysunek 14.9).



Rysunek 14.9. Rozprowadzanie farby po zakamarkach modelu

W zależności od siły efektu, jaką chcesz uzyskać, możesz wytrzeć farbę natychmiast po malowaniu (patrz rysunek 14.10), zostawiając tylko znikome ilości „brudu”, albo pomalować dość mocno i zostawić wszystko do wyschnięcia, a wtedy efekt będzie wyrazistszy.



Rysunek 14.10. Wycieranie farby

6. To wszystko!

Jak widać uzyskanie efektu postarzenia, takiego jak na rysunku 14.11, nie jest wcale trudne. Oczywiście można pójść dalej i wymyślać nowe techniki postarzenia, łącznie z imitowaniem rdzy oraz innych defektów — wystarczy odrobina inwencji!



Rysunek 14.11. Sztucznie postarzony element robota

Jason Babler pełni funkcję kierownika do spraw kreacji w redakcji czasopisma „Make”, a jego pasją jest rzeźbienie.

CZĘŚĆ VII

Zastosowania

Perspektywy druku 3D

Drukowanie świata na biurku

Autor: **Stett Holbrook**

Oto obrazek jak z futurystycznego serialu *Star Trek* — jak gdyby nigdy nic drukujesz w swoim domu (lub na statku kosmicznym) prawdziwe, trójwymiarowe przedmioty. A przecież jest to możliwe już teraz. Tama pękła i ta nieosiągalna dotąd technologia stała się nagle dostępna niemal dla każdego, najtańszą drukarkę można nabyć już za mniej niż 1000 dolarów.

Czy możliwość drukowania obiektów na własnym biurku zmieni świat?

Porozmawiaj przez chwilę z producentami drukarek 3D lub pasjonatami tej technologii, a szybko usłyszysz z ich ust określenia w stylu „przełomowe”, „ekscytujące” i „rewolucyjne”.

W artykule zamieszczonym na łamach czasopisma „Economist” z kwietnia 2012 roku Paul Markillie nazwał druk przestrzenny i powiązane z nim technologie „trzecią rewolucją przemysłową”.

„Cyfryzacja wytwórstwa sprawia, że koło historii zatacza swój krąg po raz trzeci — pisal — i tym razem odwraca się od produkcji masowej na rzecz wytwarzania dóbr bardziej zindywidualizowanych. A to może oznaczać powrót wytwórstwa do krajów bogatych, skąd już dawno temu zostało przeniesione do państw rozwijających się”.

Komputer osobisty, drukarka i internet dały każdemu z nas możliwość stania się wydawcą. Teraz dzięki drukarkom 3D, skanerom i programom

wspomagającym projektowanie wszyscy możemy być także wytwórcami.

Firmy działające w tej branży już walczą o dobre pozycje — 3D Systems, pionier w dziedzinie konstruowania drukarek 3D, wykupił konkurencyjnego Z Corpa, a dwaj inni wielcy gracze, Objet i Stratasys, połączyli swoje siły. Wiodące w branży przedsiębiorstwo MakerBot, zaliczane do 20 najlepszych start-upów w Nowym Jorku, stało się oddziałem giganta Stratasys.

Pierwsza drukarka 3D, czyli maszyna „drukująca” trójwymiarowe obiekty przez precyzyjne układanie warstw roztopionego tworzywa, żywicy, metalu lub innego materiału, pojawiła się już w roku 1985, dokładnie wtedy, kiedy firma Hewlett Packard wprowadzała do produkcji biurkową drukarkę laserową. Z czasem drukarki laserowe stały się tak samo popularne jak komputery osobiste, ale o drukarkach 3D już się tego powiedzieć nie da. Dopiero ostatnie lata dają nadzieję, że sytuacja ulegnie zmianie.

Jeszcze do niedawna drukarki 3D były niesamowicie drogie, trudne w obsłudze i schowane za bramami fabryk oraz specjalistycznych laboratoriów. Ale dzięki innowacyjnym pracom makerów i ruchowi open-source'owemu (wspierającemu darmową wymianę dokonań pomiędzy pasjonatami rozmaitych dziedzin nauki i techniki) ceny tych urządzeń spadły do poziomu konsumenckiego. Obecnie coraz większa rzesza majsterkowiczów, projektantów

i artystów zaczyna używać tej technologii, znajdując dla niej coraz nowsze zastosowania. Błyskawicznie powstały też firmy świadczące usługi w zakresie druku 3D, dzięki którym każdy może wydrukować zaprojektowany przez siebie przedmiot bez konieczności kupowania drukarki. Jak widać, możliwości wytwórcze są coraz większe i tylko od nas będzie zależało, jak je wykorzystamy.

Chris Anderson, redaktor naczelny czasopisma „Wired”, w swojej książce *Makers: The New Industrial Revolution* napisał (parafrazując Karola Marksa), że władza należy do tych, którzy dysponują środkami produkcji. Obecnie w rękach mas są już środki do produkcji wielu rozmaitych przedmiotów (zabawek, biżuterii, części zamiennych, a nawet sztucznych kończyn) i co najlepsze, każdy może uruchomić taką produkcję na własnym biurku.

„Skala produkcji może teraz przyjmować dowolne rozmiary — pisze Anderson — od jednej do milionów sztuk. Nic już nie stoi na przeszkodzie, by produkować pojedyncze egzemplarze lub krótkie serie — i tak już pewnie będzie w przyszłości”.

Widzi również wiszącą w powietrzu rewolucję: „Trzecia rewolucja przemysłowa najbardziej przejawia się w łączeniu cyfrowych metod wytwarzania z indywidualizowaniem produkcji oraz w uprzemysławianiu ruchu makerów”.

Obserwując wciąż rozszerzający się rynek tanich drukarek 3D, Anderson wspomina rok 1983, kiedy to firma Apple dała masom komputer, model Apple II. Dodaje przy tym, że firma ta wcale komputera nie wynalazła, a jedynie go zdemokratyzowała. To samo można dzisiaj powiedzieć o projektach RepRap i MakerBot, które w sposób pionierski zaczęły budować rynek tanich, konsumenckich drukarek 3D.

„Nowa klasa użytkowników stworzy nowe klasy zastosowań — twierdzi Anderson — sądzę, że jest to fakt o znaczeniu historycznym”.

Czy drukarki 3D staną się tak popularne jak odtwarzacze DVD lub komputery? Ich słabą stroną są na razie niedopracowane oprogramowanie i brak porządných instrukcji obsługi, ale pewnie wkrótce to się zmieni. Mimo wszystko Anderson gorąco zachęca rodziców, by kupowali drukarki 3D swoim pociechom pod choinkę.

„Oni sami może nie będą wiedzieli, co z taką drukarką zrobić, ale ich dzieci nie będą miały z tym żadnego problemu. Tak właśnie rodzą się wielkie rzeczy”.

Dale Dougherty, założyciel i wydawca czasopisma „Make”, uważa natomiast, że z ogłaszaniem druku przestrzennego jako rewolucji należy jeszcze poczekać.

„Moim zdaniem jesteśmy dopiero na początku drogi i tylko najwięksi zapaleńcy starają się odkrywać, do czego ta nowa technologia może służyć — mówi — ale na pewno jest to otwarcie wielkich możliwości przed ludźmi kreatywnymi, którzy chcą tworzyć nowe rzeczy”.

Dougherty przyznaje też, że potencjał transformacyjny druku przestrzennego jest wyraźnie widoczny. „To istny Wal-Mart w rękach każdego z nas. Naprawdę jest to obiecujące”.

Emocje, jakie towarzyszą drukowi 3D, biorą się w dużej mierze z wiary, że zasadnicze bariery zostały obalone; dżin opuścił butelkę. Dokąd nas zaprowadzi, nie wie nikt. „Żyjemy w świecie 3D, ale na razie tworzymy w 2D” — mówi Dougherty. Co to będzie, gdy zaczniemy żyć i tworzyć w tym samym wymiarze?

„Możemy się znaleźć w zupełnie innym miejscu”.

Stett Holbrook jest starszym redaktorem w „Make”.

Galeria wydruków 3D

16

Druk przestrzenny ma już mnóstwo zastosowań w wielu dziedzinach, począwszy od gospodarstwa domowego, przez medycynę, a na sztuce skończywszy

Autorzy kompilacji: **Eric Chu, Anna Kaziunas France, Goli Mohammadi, Craig Couden** i redaktorzy czasopisma „Make”

Dla gospodarstwa domowego

Drukuj, co chcesz i kiedy chcesz. Poniżej prezentujemy przedmioty wydrukowane przez majsterkowiczów na małych, biurkowych drukarkach 3D w celu rozwiązania całkiem prozaicznych problemów z życia codziennego.

Oprawka pisaka ploterowego

Miles Lightwood, Eagle Rock, Kalifornia

<http://thingiverse.com/thing:7412>

Mój kolega jest miłośnikiem starych komputerów i niedawno udało mu się nabyć drukarkę (ploter) do kieszonkowego kalkulatora Sharp PC-1500A. Sama drukarka jest sprawna, ale pisaki, liczące sobie prawie 30 lat, już nie. I już nigdzie nie można ich kupić. Wziąłem więc suwmiarkę, odpaliłem OpenSCAD-a, włączyłem MakerBota i wydrukowałem, co trzeba!



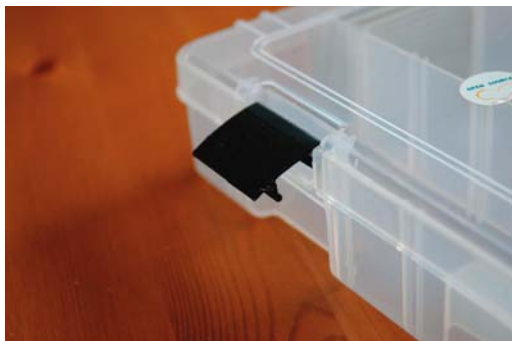
Rysunek 16.1. *Oprawka pisaka do starego plotera*

Zatrask do skrzynki narzędziowej

Chris Krueger, Arlington Heights, Illinois

<http://thingiverse.com/thing:9419>

Kupiłem sobie skrzynkę z zamiarem poukładania w niej drobnych elementów elektronicznych, ale nie zauważyłem, że brakuje jej jednego zatrzasku do zamykania pokrywy. Na podstawie zdjęć i pomiarów istniejącego zatrzasku wymodelowałem i wydrukowałem nowy, który okazał się lepszy od oryginału, więc wymieniałem oba!



Rysunek 16.2. Naprawiona skrzynka narzędziowa

Zginacz zawleczek z puszek po napojach

Sean Michael Ragan, Austin, Teksas

<http://thingiverse.com/thing:31635>

Z zawleczek służących do otwierania puszek z napojami można zrobić całkiem zgrabną kolczugę. Każdą zawleczkę trzeba wcześniej zgiąć, a żeby kolczuga dobrze wyglądała, wygięcia te powinny być jednakowe. Dlatego zaprojektowałem i wydrukowałem specjalną nasadkę na szczypcę jubilerskie, która umożliwia wyginanie klipsów za każdym razem pod takim samym kątem.



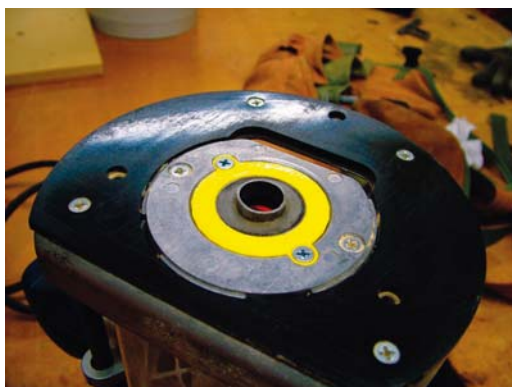
Rysunek 16.3. Produkcja kolczugi

Adapter kołnierza frezarki

Bozo Cardozo, Ketchum, Idaho

<http://thingiverse.com/thing:12648>

Moja stara frezarka Bosh 1611 jest znakomita, ale ma już 20 lat i części zamienne do niej są już praktycznie nieosiągalne. Nie mogąc zdobyć jednej z nich, po prostu ją wymodelowałem i wydrukowałem.



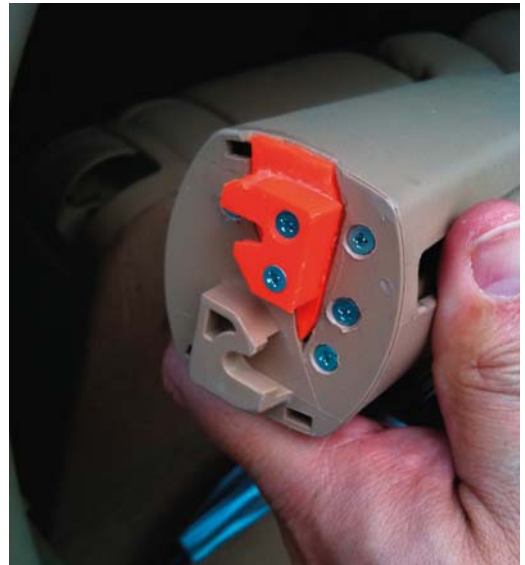
Rysunek 16.4. Renowacja starych narzędzi

Mocowanie rolety bagażnika

Miguel Angelo de Oliveira, Hartsdale, Nowy Jork

<http://thingiverse.com/thing:10043>

Gdy w samochodzie złamie się jakiś plastikowy element, szanse na znalezienie zamiennika i kupienie go bez zadłużania się w banku są praktycznie zerowe. Dzięki drukarce Thing-O-Matic byłem w stanie wymienić złamane mocowanie rolety bagażnika, co uchroniło mnie przed koniecznością kupna całej nowej rolety, kosztującej prawie połowę ceny drukarki. Od tamtej pory pomogłem już wielu sąsiadom naprawić złamane zaczepy pokrywy odkurzacza, uchwyty natrysku i inne tego typu rzeczy, z których nabyciem bywają kłopoty.



Rysunek 16.5. Naprawione mocowanie rolety bagażnika

Korbka szyby samochodowej

Michael Gregg, Palo Alto, Kalifornia

<http://thingiverse.com/thing:20028>

Mam kolegę, który podobnie jak ja żywo interesuje się drukiem 3D. Pewnego dnia złamał w swojej miacie korbkę służącą do podnoszenia i opuszczania szyby w drzwiach, a jako że była to niedziela i wszystkie sklepy motoryzacyjne były zamknięte, postanowiliśmy naprawić awarię przy użyciu programu SolidWorks i mojego MakerBota.



Rysunek 16.6. Zamienna korbka do podnoszenia szyby w drzwiach samochodowych

Mocowanie lampki rowerowej

Gian Pablo, San Francisco, Kalifornia

<http://thingiverse.com/thing:8947>

Po zamocowaniu bagażnika w swoim rowerze musiałem wymyślić jakiś sposób na przymocowanie tylnej lampki, bo na rurce siodełka nie było już dla niej miejsca. Bagażnik był przystosowany do mocowania tablicy rejestracyjnej, więc wykorzystałem istniejące otwory i przykręciłem wydrukowaną własnoręcznie płytkę ze sprężystym zaczepem do szybkiego mocowania i zdejmowania lampki.



Rysunek 16.7. Mocowanie tylnej lampki rowerowej

Wiertarkowy napęd przystawki do wyrobu lodów

Lee Holmes, Seattle, Waszyngton

<http://thingiverse.com/thing:26835>

Niedawno zamówiłem sobie robot kuchenny z przystawką do wytwarzania masy lodowej. Przystawka dotarła w poniedziałek, ale robot miał się pojawić dopiero w czwartek. Niestety, wielka ochota na lody opanowała mnie już we wtorek. Problem rozwiązałem za pomocą specjalnie w tym celu wydrukowanej przejściówki, pozwalającej na połączenie przystawki z typowym uchwytem wiertarskim 3/8 (i mocnej wiertarki).



Rysunek 16.8. Lody na zawołanie

Przycisk dzwonkowy

George Banovac, Stony Creek, Ontario

<http://thingiverse.com/thing:10697>

Jakiś dureń tak mocno wcisnął przycisk dzwonkowy u mojej mamy, że zmiądzzył go całkowicie. I nie było to pierwszy raz. Zamiast wydawać pieniądze na nowy przycisk, postanowiłem skonstruować coś mocniejszego, czego nie dałoby się tak łatwo zepsuć. Wydrukowany z ABS-u przycisk wyglądem nie różni się od oryginału, ale jest od niego solidniejszy — istna skała zamiast pustej skorupki. Spróbuj teraz, niszczycielu dzwonek!



Rysunek 16.9. Naprawiony przycisk dzwonkowy

Produkty 3D dostępne aktualnie w sprzedaży

Obecnie wszyscy, makerzy, artyści, projektanci i start-upy, starają się włączyć w szybki rozwój usług związanych z drukiem 3D i sprzedają wyprodukowanych w ten sposób przedmiotów.

Nervous System

<http://n-e-r-v-o-u-s.com>

Nervous System jest eksperymentalnym studium projektowym nastawionym na eksplorację algorytmicznych metod projektowania. Jego pracownicy, czerpiąc inspirację z natury, tworzą interaktywne narzędzia programistyczne, za pomocą których można generować nieskończone ilości obiektów o niepowtarzalnych kształtach.

Aktualnie można tam nabyć zastawy stołowe, lampy, puzzle i elementy biżuterii. Nabywcy mogą również uczestniczyć w procesie tworzenia, realizując własne pomysły za pomocą przeznaczonych do tego celu internetowych aplikacji Radiolaria i Cell Cycle.

Wyroby EDC firmy Tofty

<http://www.shapeways.com/shops/tofty>

Firma Tofty specjalizuje się w opracowywaniu uniwersalnych narzędzi z kategorii EDC (*every-day-carry* — noszone codziennie), które mogą pełnić rolę małego łomu, wkrętaka z wymiennymi końcówkami, przyrządu do wyciągania gwoździ, otwieracza do butelek, a nawet klucza do śrub. W jej ofercie są także latarki i niezwykle funkcjonalne wyroby biżuteryjne z lampkami trytowymi.



Rysunek 16.10. Bransoletka wymodelowana przy użyciu aplikacji Cell Cycle i wydrukowana z czystego srebra. Dostępna jest w serwisie Shapeways (<http://shpws.me/pjLL>)



Rysunek 16.11. Narzędzie wielofunkcyjne dostępne w serwisie Shapeways (<http://shpws.me/llzP>)

Continuum Fashion

<http://continuumfashion.com>

Nylonowe buty z kolekcji Strvct firmy Continuum Fashion są mocne, lekkie i robione na zamówienie. Po wydrukowaniu są wyściełane od wewnątrz prawdziwą skórą, a od spodu otrzymują gumową podeszwę. Oprócz butów oferowane są również drukowane stroje bikini, a poza tym każdy klient może sam sobie zaprojektować strój za pomocą internetowych aplikacji CONSTRVCT i D.dress.



Rysunek 16.12. Drukowany but z kolekcji Strvct

ModiBot

<http://www.modibot.com>

ModiBot to ciągle rozbudowywany system klocków, z których można konstruować zabawki mające formy istot żywych. Każdy może zaprojektować własne klocki i zlecić ich wydrukowanie firmie Shapeways, ale można też pobrać pliki istniejących już klocków i wydrukować je we własnym zakresie.



Rysunek 16.13. Anioł z klocków ModiBot na światowej wystawie Maker Faire

Joaquin Baldwin

<http://shpws.me/op7l>

Wielokrotnie nagradzany twórca filmów animowanych, Joaquin Baldwin, na co dzień pracuje w Disney Animation Studios, ale w wolnych chwilach projektuje przeznaczone do druku 3D obiekty, które są „trochę w stylu nerdowskim”. A są to rozmaite gadżety, figurki bohaterów filmowych i całkiem zwariowane modele, jak „Bacon Mobius Strip” (bekonowa wstęga Möbiusa) czy „Caffeine Molecule Mug” (kubek z molekułami kofeiny).



Rysunek 16.14. Kubek kofeinowy jest dostępny w serwisie Shapeways

Protos Eyewear

<http://protoseyewear.com>

Założona w San Francisco firma Protos Eyewear, która stworzyła słynne 8-bitowe okulary pikselowe, niedawno zakończyła z powodzeniem kampanię społecznościowego finansowania produkcji opraw okularowych dopasowanych do indywidualnych kształtów głowy i rysów twarzy. W ramach tego projektu opracowano interaktywną aplikację, która pozwala kształtować oprawy na podstawie zdjęć dostarczonych przez klienta.



Rysunek 16.15. Pikselowe 8-bitowe okulary przeciwsłoneczne

Freakin' Sweet Knots

<https://www.shapeways.com/shops/freakinsweetknots>

Autorem projektu biznesowego o nazwie Freakin' Sweet Knots jest programista, który lubi wiązać węzły. Wszystko zaczęło się, gdy John Allwine podjął próbę uplecenia pierścienia zaręczynowego dla swojej przyszłej żony. Właśnie wtedy uświadomił sobie, że przecież mógłby napisać program generujący trójwymiarowe modele takich pierścionków, które potem można by po prostu wydrukować.

Za pomocą aplikacji Freakin' Sweet Knots (<http://knots.freakinsweetapps.com>) każdy może „upleść” pierścionek według własnego pomysłu i zlecić jego drukowanie w Shapeways.



Rysunek 16.16. Stożkowy pierścionek Joyce'a dostępny w serwisie Shapeways (<http://shpws.me/olJo>)

Polychemy

<http://polychemy.com>

Polychemy to zarejestrowany w Singapurze internetowy butik z interesującymi produktami drukowanymi w technologii 3D. Autorami sprzedawanych tam wyrobów biżuteryjnych i obudów telefonów komórkowych są starannie dobierani artyści.

Obudowy telefonów są drukowane z mocnego i elastycznego tworzywa nylonowego o nazwie poliamid. Na życzenie klienta obudowa może być opatrzona jego nazwiskiem.



Rysunek 16.17. Obudowa iPhone'a wydrukowana z czerwonego poliamidu

W medycynie

Środowiska medyczne coraz częściej sięgają po technologię druku przestrzennego, aby tworzyć sztuczne tkanki i protezy kończyn.

Rewolucyjne zamienniki

<http://makezine.com/go/wakeforest>

Naukowcy z Instytutu Medycyny Regeneracyjnej Uniwersytetu Wake Forest w Północnej Karolinie skonstruowali jedyną w swoim rodzaju drukarkę 3D mogącą drukować zamienniki tkanek i organów.

Najpierw tworzony jest trójwymiarowy model na podstawie danych zebranych za pomocą tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego. Następnie modele te są drukowane z żywych komórek i łączących je biomateriałów, a na koniec całość jest wszczepiana do żywego organizmu i bierze udział w naturalnych procesach regeneracyjnych. Naukowcom udało się już wszczepić taką drukowaną nerkę krowie i teraz pracują nad wydrukowaniem podobnej wersji dla człowieka.



Rysunek 16.18. Wydrukowane zamienniki tkanek i organów

Piękność i ptasi dziób

<http://makezine.com/go/beauty>

Samica amerykańskiego bielika (nazwana później Pięknością), po tym jak kłusownik odstrzelił jej górny dziób, nie mogła ani jeść i pić, ani czyścić swoich piór. Jej język i zatoki przynosowe były ciągle odsłonięte. Gdy ją znaleziono, była słaba i wygłodzona. Pomimo zaleceń, że ptaka powinno się uśpić, Jane Cantwell, specjalistka z Birds of Prey Northwest, nie poddała się. Nawiązała kontakt z Natem Calvinem, założycielem organizacji Kinetic Engineering Group, który zaprojektował (bez żadnego doświadczenia w wytwarzaniu protez) zamiennik dziobu. Po wykonaniu odcisku zachowanej części dziobu i zeskanowaniu jej wymodelował resztę w programie SolidWorks. Następnie wydrukował prototyp z nylonowego kompozytu i po wprowadzeniu niezbędnych poprawek wykonał tytanową protezę, która została przymocowana do zachowanych resztek dziobu.



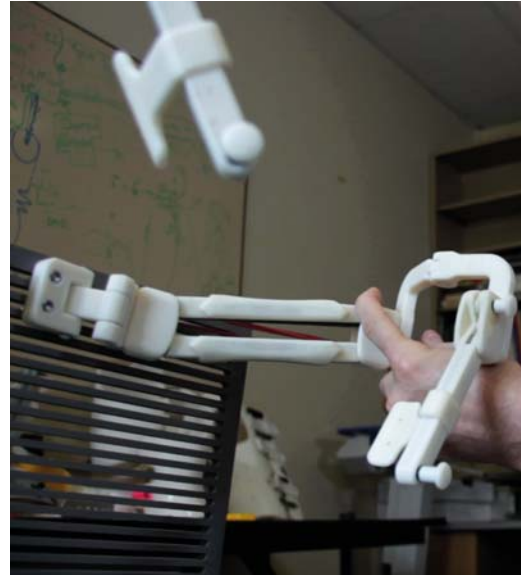
Rysunek 16.19. Piękność przed doklejeniem tytanowego dziobu i po doklejeniu

Magiczne kończyny

<http://makezine.com/go/stratasys>

Wykonany z metalowych prętów i mocnych taśm gumowych egzoskielet WREX (Wilmington Robotic Exoskeleton) umożliwia pacjentom z niedorozwiniętymi kończynami wykonywanie nawet dość złożonych ruchów.

Oryginalny WREX jest odpowiedni dla dzieci w wieku co najmniej sześciu lat, więc gdy badacze dowiedzieli się o dwuletniej Emmie Lavelle, postanowili skonstruować dla niej taki szkielet w wersji mniejszej i lżejszej. Po wydrukowaniu na drukarce Stratasys Dimension niezbędnych elementów z ABS-u łatwo dopasowali całość do możliwości i potrzeb małej dziewczynki. Obecnie ze szkieletów takich korzysta już 15 dzieci.



Rysunek 16.20. Magiczne ramię szkieletu WREX

Inżynieria tkankowa

<http://organovo.com>

Założona w San Diego firma Organovo skonstruowała już kilka profesjonalnych biodrukarek NovoGen MMX, za pomocą których można drukować struktury rozmaitych tkanek.

Maszyny są dwugłowicowe — jedna głowica nanosi rozpuszczalny w wodzie żel pełniący rolę rusztowania, a druga rozprowadza tzw. bioatrament z żywymi komórkami (w jednej kropli jest ich od 10 do 30 tysięcy). Podstawową cechą materiałów biologicznych jest zdolność do samoorganizacji. Po okresie inkubacji komórki są w stanie rozwijać się i rozrastać bez pomocy składnika żelowego. Opracowana technologia pozwala wydrukować w ciągu 30 minut naczynie krwionośne o średnicy 1 mm i długości 5 cm.



Rysunek 16.21. Biodrukarka NovoGen MMX firmy Organovo

Protetyka

<http://bespokeinnovations.com>

W trosce o poprawę wyglądu konwencjonalnych protez ortopedycznych firma Bespoke Innovations, mająca siedzibę w San Francisco, zajęła się produkcją zindywidualizowanych osłon (zwanymi Fairings), które przywracają naturalny kształt kończyny. Wykonanie takiej osłony zaczyna się od skanowania przestrzennego, potem następuje modelowanie komputerowe, a na końcu produkt jest drukowany.

Firmę założyli absolwent wzornictwa przemysłowego, Scott Summit, i chirurg ortopeda, dr Kenneth Trauner. Produkowane osłony zawsze projektują przy ścisłym współudziale pacjenta, oferując mu szeroką paletę sposobów wykończenia wyrobu, włącznie z pokrywaniem skórą, chromowaniem i tatuowaniem.



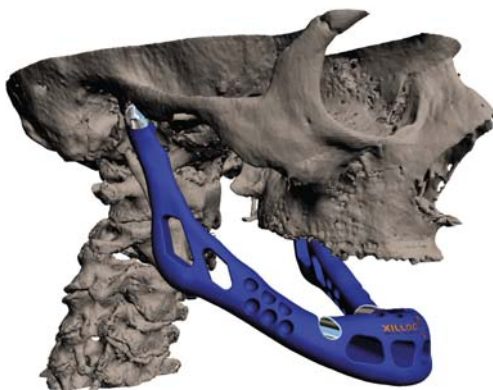
Rysunek 16.22. Proteza nogi z osłoną wykonaną przez firmę Bespoke

Drukowana żuchwa

<http://makezine.com/go/jaw>

U 80-letniej Holenderki stwierdzono groźną infekcję dolnej szczęki i dla ratowania życia kobiety lekarze postanowili amputować całą żuchwę i zastąpić ją sztucznym implantem. Nową szczękę wykonała na podstawie skanów z tomografii komputerowej belgijska firma LayerWise.

Po wymodelowaniu nowe kości zostały wydrukowane techniką selektywnego stapiania laserowego. Jako materiał podstawowy zastosowano tytan, a zewnętrzną powłokę wykonano z bioceramiki. Zamiennik okazał się tylko o jedną uncję cięższy od oryginału i podobno już po paru godzinach od zabiegu kobieta mogła mówić.

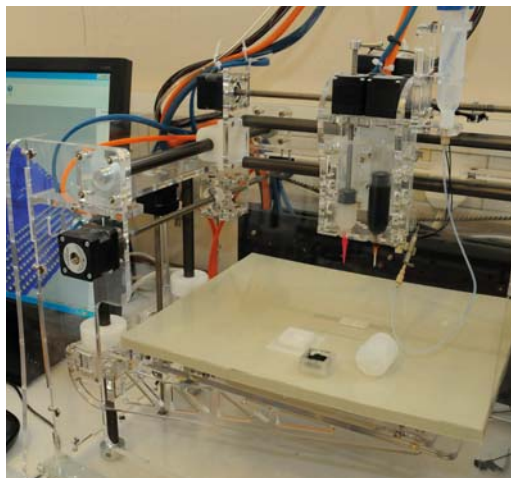


Rysunek 16.23. Wydrukowana żuchwa

Niezwykły zestaw chemiczny

<http://makezine.com/go/reactionware>

Badacze z University of Glasgow opracowali metodę wytwarzania na małą skalę „reakcyjnych” naczyń laboratoryjnych. Za pomocą taniej drukarki 3D i open-source’owych programów CAD potrafili wykonać naczynia z polimerowego żelu i nasączyć je chemicznymi reagentami (wyobraź sobie kolbę Erlenmeyera ze wszystkimi odczynnikami potrzebnymi do przeprowadzenia zaplanowanego eksperymentu chemicznego). Być może w przyszłości farmaceuci będą mogli drukować w ten sposób lekarstwa, których wielkoseryjna produkcja jest nieopłacalna.



Rysunek 16.24. Drukowanie naczyń reakcyjnych

Wydruki artystyczne i nowatorskie

Zaprezentowane poniżej dzieła kreatywnych makerów należą do najbardziej unikatowych i niezapomnianych wydruków przestrzennych, a większość z nich została wykonana za pomocą zwykłych biurkowych drukarek 3D.

Książka harmonijkowa

Tom Burtonwood

<http://www.thingiverse.com/thing:110411>

Książka ta składa się z sześciu płaskorzeźb będących wydrukami skanów 3D przedstawiających wybrane eksponaty z Metropolitan Museum of Art, Art Institute of Chicago, American Museum of Natural History oraz Field Museum of Natural History. Inspiracją do jej powstania był ogłoszony przez Center for Book and Paper Arts konkurs na najlepszą książkę fotograficzną drukowaną na zamówienie.



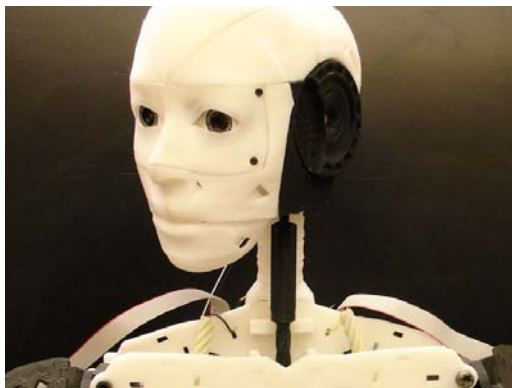
Rysunek 16.25. Książka harmonijkowa

Humanoidalny robot InMoov

Gael Langevin „hairygael”

<http://thingiverse.com/hairygael>

InMoov to pełnowymiarowy robot humanoidalny, którego można wydrukować za pomocą biurkowej drukarki 3D (!) i którego można animować. Poza plikami z drukowalnymi elementami robota Gael dostarcza także instrukcję montażu ze szczegółowymi schematami (<http://www.inmoov.fr>).



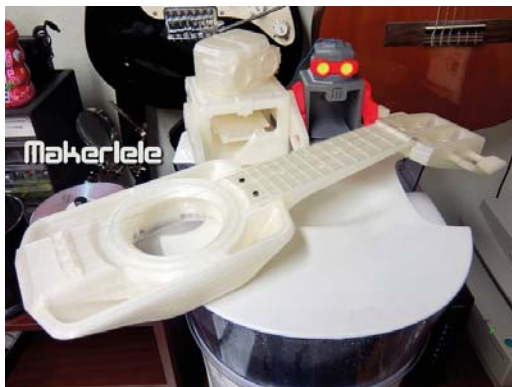
Rysunek 16.26. Pełnowymiarowy robot humanoidalny

Makerlele — MK1

Brent J. Rosenburgh „ErikJDurwoodII”

<http://www.thingiverse.com/thing:34363>

Jest to ukulele, które można w całości wydrukować za pomocą biurkowej drukarki 3D i które wydaje dźwięki jak prawdziwy instrument. Ma nawet kanały akustyczne przenoszące niskie dźwięki strun na cienkie dno, co pogłębia ich brzmienie. Wystarczy wydrukować, wkręcić stroiki, założyć struny i można grać.



Rysunek 16.27. Makerlele

Głowa konia bogini Księżycy

Cosmo Wenman

<http://www.thingiverse.com/thing:32228>

<http://cosmowenman.com>

Dzieło to jest zeskanowaną reprodukcją fragmentu słynnej rzeźby koni ciągnących rydwan bogini Księżycy, Selene. Autor reprodukcji wydrukował ją z tworzywa PLA na drukarce MakerBot Replicator, zachowując wymiary oryginału. Do wykończenia modelu zastosował pokrycie metaliczne „Epic Bronze” z całej serii opracowanych przez siebie materiałów wykończeniowych o nazwie Alternate Reality Patinas, przez co uzyskał nową wersję ważnego starożytnego dzieła.



Rysunek 16.28. Głowa konia bogini Selene

Seria lamp kulistych

Nervous System

<http://n-e-r-v-o-u-s.com>

Lampy z opracowanej przez firmę Nervous System kolekcji Orbicular (kuliste) mają budowę przypominającą układ żyłek w liściach. Ta złożona i niekonwencjonalna geometria jest tworzona za pomocą nowatorskich algorytmów symulacyjnych. Wszystkie lampy w tej kolekcji są drukowane z nylonu, ale każda z nich jest jedyna w swoim rodzaju. Rozświetlone ekologicznymi żarówkami LED rzucają niezwykle cienie na ściany i sufit.



Rysunek 16.29. Lampa z kolekcji Orbicular

Model automatycznej skrzyni biegów

Emmett Lalish „emmett”

<http://www.thingiverse.com/thing:34778>

Czy zastanawiałeś się kiedykolwiek, jak działa automatyczna skrzynia biegów? Emmett Lalish chciał koniecznie zobaczyć, jak to się wszystko tam kręci i dlatego postanowił wykonać działający model takiego urządzenia. Wydrukowana przez niego skrzynia ma 6 biegów (plus jeden wsteczny) i jest znakomitą pomocą dydaktyczną.



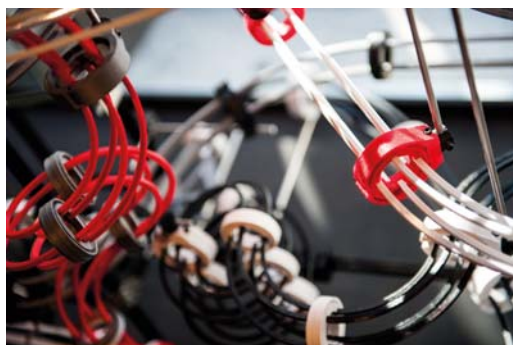
Rysunek 16.30. Działający model automatycznej skrzyni biegów

Kulodrom

Adam Fontenault i Chris Boynton

<http://little-badger.com/portfolio/makerbot-marble-run>

Ta zjeżdżalnia dla kulek składa się z ponad 2000 części wydrukowanych z ABS-u i ma pięć odrębnych torów dla poszczególnych kulek. Istnieją już dwa egzemplarze tej wielkiej konstrukcji — jeden w nowojorskim sklepie firmy MakerBot, a drugi w biurze zarządu tej firmy.



Rysunek 16.31. Kulodrom w firmie MakerBot

Suknia Dity

Michael Schmidt i Francis Bitonti

<http://www.michaelschmidtstudios.com/dita-von-teese.html>

<http://www.francisbitonti.com/ditas-gown/>

Absolutnie giętka i skrojona na miarę suknia została wydrukowana dla królowej świata burleski, Dity von Teese. Autorem projektu sukni jest Michael Schmidt, cyfrowy model wykonał Francis Bitonti, a drukiem zajęła się firma Shapeways. Całość składa się z 17 różnych części, które po wydrukowaniu ufarbowano na czarno i polakierowano. Aby uzyskać efekt „blasku”, suknię ozdobiono ponad 13 tysiącami kryształów Swarovskiego.



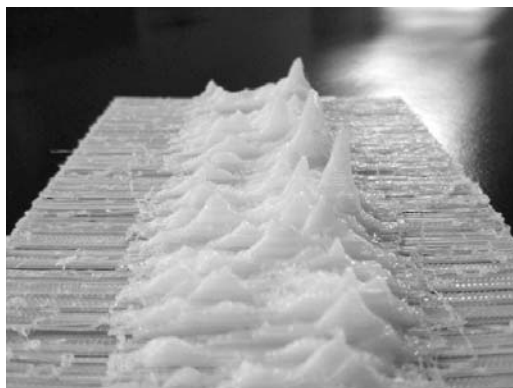
Rysunek 16.32. Suknia Dity. Sfotografował Albert Sanchez

Okładka albumu „Unknown Pleasures” zespołu Joy Division

Michael Zoellner „emnullfuefn”

<http://www.thingiverse.com/thing:92971>

Jest to wydrukowana w trzech wymiarach wersja okładki kultowego albumu płytowego „Unknown Pleasures”, wydanego przez zespół Joy Division. Okładka przedstawia obraz fal radiowych emitowanych przez pulsar PSR B1919+21. Michael Zoellner nie mógł nigdzie znaleźć odpowiedniej grafiki wektorowej ani gotowego modelu 3D, więc postanowił ręcznie odrysować wszystkie widoczne na okładce fale, a uzyskany obraz zapisał w formacie DXF. Potem otworzył go w programie OpenCAD i przez wytłaczanie nadał falom trzeci wymiar.



Rysunek 16.33. Trójwymiarowa wersja okładki albumu „Unknown Pleasures”

Cyfrowa groteska

Michael Hansmeyer i Benjamin Dillenburger

<http://www.digital-grotesque.com>

<http://www.michael-hansmeyer.com>

<http://benjamin-dillenburger.com>

Digital Grotesque to skomplikowane pomieszczenie zaprojektowane przez specjalnie opracowane algorytmy matematyczne i wydrukowane całkowicie z piasku. Gotowy wydruk został nasączony żywicą, aby wzmocnić wewnętrzną strukturę i zamknąć pory, a na koniec pokryty mieszanką pigmentu, alkoholu i szelaku.



Rysunek 16.34. Cyfrowa groteska

Eric Chu jest wychowankiem MAKE Labs, studentem wydziału inżynierskiego, hackerem, konstruktorem robotów i amatorem smażonego ryżu.

Anna Kaziunas France jest redaktorem w serwisie Maker Media, specjalizuje się w problematyce wytwórstwa cyfrowego.

Goli Mohammadi jest starszym redaktorem czasopisma „Make” i pracuje w redakcji od samego początku.

Craig Couden jest asystentem wydawcy w Maker Media.

Maszyna marzeń

17

Rozmywanie granic między wyobraźnią a rzeczywistością

Autor tekstu i zdjęć: **Kevin Mack**

Jako artysta zawsze muszę tworzyć rzeczy, których nikt wcześniej nie widział. W poszukiwaniu innowacji sięgnąłem po komputer już w latach 80. Czuję, że technologia cyfrowa ma olbrzymi potencjał twórczy, i postanowiłem z niego skorzystać.



Praca przy kreowaniu efektów specjalnych zawiodła mnie na same szczyty tej technologii, dzięki czemu mogłem eksperymentować z najbardziej zaawansowanymi narzędziami do grafiki 3D, łącznie z tymi do modelowania proceduralnego i rzeźbienia wolumetrycznego. Zawsze starałem się używać ich w sposób nowatorski. Nauczyłem się również konstruować nowe narzędzia i wcale nie chodziło mi o to, żeby były emulacją narzędzi tradycyjnych. W rezultacie uzyskiwałem niepowtarzalne dzieła cyfrowe, pełne surrealizmu i tajemniczości. Były nowe.

Gdy się wydawało, że te wszystkie nowe możliwości zaspokoją moje najbardziej nieopohamowane ambicje artystyczne, pojawiły się drukarki 3D, dzięki którym mogłem całą swoją twórczość cyfrową przenieść do świata rzeczywistego. Miałem wrażenie, że nagle fantastyka naukowa staje się rzeczywistością.

Jednym z powodów, dla których drukowanie 3D wydaje mi się niezwykle atrakcyjne, jest to, że pozwala produkować rzeczy, których wykonanie innym sposobem byłoby niemożliwe. Szybkie prototypowanie pozbyło się większości ograniczeń związanych z tradycyjnymi metodami konstruowania modeli. Przez wykorzystanie tych możliwości jestem w stanie nadać moim rzeźbom dodatkowy, mocny wymiar — są nie tylko nowe, ale jeszcze sprawiają wrażenie czegoś niemożliwego.

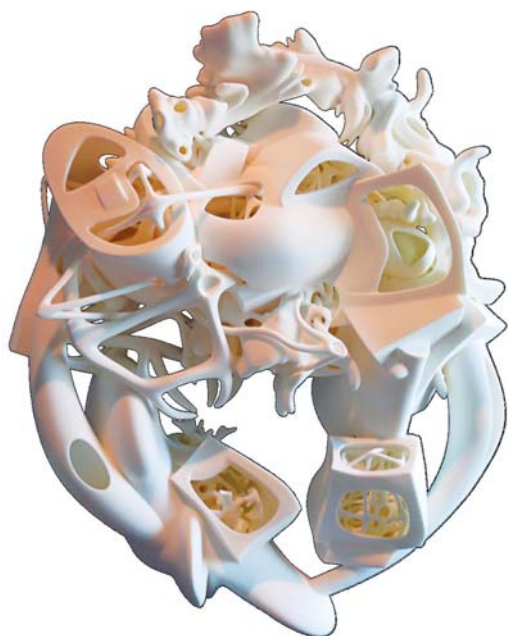
Człowiek jest zanurzony w świecie rzeczy wyprodukowanych i nasze umysły intuicyjnie rozpoznają, jak dany przedmiot został wykonany. Nie dziwią nas przejawy ograniczeń procesu wytwórczego, takie jak mniej lub bardziej ukryte połączenia, wymuszona prostota obiektu czy brak skomplikowanych krzywizn. Natomiast druk przestrzenny umożliwia tworzenie obiektów, które jawnie łamią wszelkie tego typu ograniczenia. Gdy bierzesz do ręki przedmiot wydrukowany, od razu czujesz, że patrzysz na coś, co wcześniej było niewykonalne. Doznanie może być głęboko surrealistyczne.



Kevin Mack (<http://kevinmackart.com>) należy do pionierów sztuki cyfrowej i jest zdobywcą Oscara za najlepsze efekty specjalne. Korzystając z najnowszych osiągnięć nauki i techniki, tworzy dzieła ukazujące transcendentność.

Moje marzenie o tworzeniu dzieł, których nikt wcześniej nie widział, stało się rzeczywistością. Technologia cyfrowa i druk 3D otworzyły szeroki wachlarz możliwości kreowania dzieł o zupełnie nowej estetyce. Teraz mogę odkrywać i tworzyć formy wręcz niewyobrażalne, które wcześniej nie mogły zaistnieć.

A przecież to dopiero początek. Technologia wciąż się rozwija. Myślę, że w przyszłości granice między wyobraźnią a rzeczywistością znikną całkowicie. Nie wiem, czy świat jest na to gotów, ale ja nie mogę się doczekać.

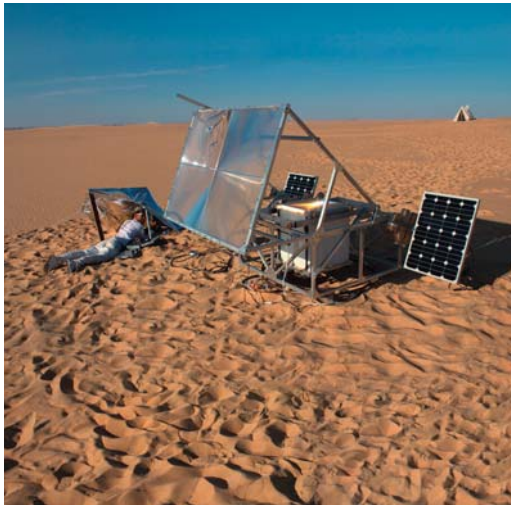


Drukowanie na pustyni

Markus Kayser i jego słoneczno-piaskowa drukarka 3D

Autor tekstu: **Laura Kiniry**

Myślisz, że na pustyni nie ma środków wytwórczych? Na pewno Markus Kayser uważa inaczej. Ten magister wzornictwa przemysłowego i asystent w MIT skonstruował drukarkę 3D, która może tworzyć szklane obiekty, wykorzystując to, czego na pustyni jest najwięcej, czyli słońce i piasek. „Zadałem sobie pytanie — mówi Kayser — co by było, gdybym zbudował maszynę potrafiącą łączyć te dwa elementy?”. Odpowiedzią jest urządzenie o nazwie *Solar Sinter* (słoneczna spiekalnia), pokazane na rysunku 18.1. (<http://markuskayser.com/work/solarsinter>).



Rysunek 18.1. Aparatura *Solar Sinter*

Aparatura Kaysera działa podobnie jak drukarki 3D typu SLS (laserowe spiekanie selektywne), tyle że funkcję lasera pełnią promienie słoneczne, a zamiast żywicy używany jest piasek. Drukarka ta ma dużą soczewkę Fresnela, która jest ciągle ustawiana w kierunku Słońca (przez elektroniczny system śledzenia ruchu naszej gwiazdy), silniczki krokowe do przesuwania skrzynki z piaskiem i dwa 60-watowe panele fotowoltaiczne zasilające wszystko energią elektryczną.

Podczas pierwszej wyprawy na pustynię Kayser wyprodukował miskę, dachówkę i niewielką rzeźbę. „Cyfrowy model obiektu zapisuję na karcie SD — wyjaśnia — i umieszczam ją w czytniku drukarki, która pobiera kod i zgodnie z nim przesuwa skrzynkę z piaskiem do położenia określonego przez współrzędne X i Y . Prędkość przesuwu wynosi 1 mm/s, co wystarcza, aby promienie słoneczne skupione przez soczewkę zdążyły rozgrzać piasek do temperatury topnienia, czyli do 1400–1600°C”. Obiekty pokazane na rysunku 18.2 zostały wydrukowane warstwa po warstwie w przeciągu kilku godzin.



Laura Kiniry mieszka w San Francisco i jest pisarką niezależną i stałą współpracowniczką redakcji czasopisma „Make”.

Rysunek 18.2. *Misy wykonane metodą spiekania piasku*

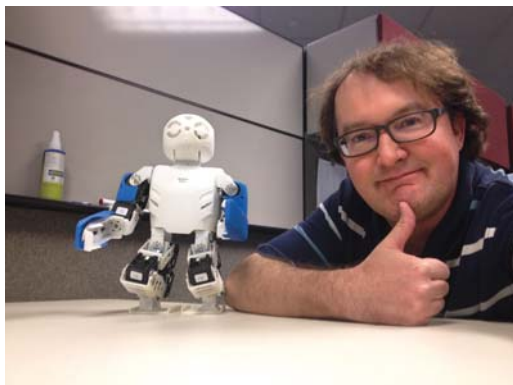
„(W przyszłości) całkiem realne może być bezpośrednio drukowanie z piasku całych obiektów architektonicznych; przecież wystarczyłoby skonstruowanie dostatecznie wielu soczewek” — rozmarzył się twórca pierwszej takiej maszyny.

Jak wydrukowałem humanoida

19

Autor tekstu: **Michael Overstreet**

W ostatnich latach dużo eksperymentowałem z drukowaniem elementów konstrukcyjnych dla mojego humanoidalnego robota o nazwie Boomer (patrz rysunek 19.1). Gdy występuję z nim na RoboGames lub Maker Faire, ludzie zawsze pytają: „Dlaczego stosujesz druk 3D? Dlaczego po prostu nie robisz tych elementów z blachy, tak jak wszyscy inni?”.



Rysunek 19.1. *Michael i Boomer*

Zacząłem to robić, bo po prostu miałem taką możliwość. Pojawienie się tanich, montowanych samodzielnie drukarek 3D dało majsterkowiczom możliwość wytwarzania niezbędnych elementów w zupełnie nowy sposób i ja postanowiłem to wypróbować. W miarę jak drukowałem kolejne części mojego robota, coraz bardziej uświadamiałem sobie, że metoda jest dobra — i nawet tańsza od tradycyjnych.

Potem na Międzynarodowej Konferencji Robotyki Humanoidalnej w 2010 roku zobaczyłem robota DARwIn-OP. Gdy zapoznałem się z jego możli-

wościami, zapragnąłem mieć coś podobnego. Ale czy byłoby mnie na to stać? Nowy DARwIn-OP wyprodukowany przez firmę Robotis kosztował 12 000 dolarów.

Ewolucja humanoidów

DARwIn-OP (Dynamic Anthropomorphic Robot with Intelligence — Open Platform) jest nowoczesnym robotem humanoidalnym stworzonym w działającym przy Virginia Tech i kierowanym przez dra Dennisa Honga Robotics and Mechanisms Laboratory (RoMeLa), we współpracy z University of Pennsylvania, Purdue University, południowokoreańską firmą Robotis i przy finansowym wsparciu ze strony National Science Foundation.

Ważący zaledwie 2,9 kg i wysoki na 45,5 cm DARwIn-OP zdobył złote medale w klasie Kid Size podczas rozgrywek piłkarskiej ligi robotów (RoboCup Soccer Humanoid League) w latach 2011 i 2013.

Postanowiłem więc zbudować go własnoręcznie. Wszystko, co tylko się dało, wydrukowałem za pomocą kosztującej niecałe 2000 dolarów drukarki 3D. Ze zdobyciem planów i plików z trójwymiarowymi modelami poszczególnych części nie było problemu, bo DARwIn-OP jest projektem otwartym i cała dokumentacja jest dostępna w internecie całkowicie za darmo. W firmie Robotis zakupiłem tylko 20 serwo mechanizmów MX-28T i kompletny zestaw układów elektronicznych.

Dzisiaj moja kopia robota DARwIn-OP (patrz rysunek 19.2) jest już całkowicie złożona, a kosztowała mnie, nie licząc ceny drukarki, około 6100 dolarów. Nie jest to mało, ale i tak o połowę mniej w porównaniu z ceną fabryczną.



Rysunek 19.2. Spotkanie z klonem!

Oto rzeczy niezbędne do zrealizowania takiego projektu.

Komponenty drukowane we własnym zakresie

Wszystkie części wydrukowałem z ABS-u, ponieważ tworzywo PLA jest słabsze i łatwiej się łamie. Zgadzam się całkowicie z zamieszczoną w „Make: Ultimate Guide to 3D Printing” z 2012 roku opinią na temat drukarki UP! Plus (Afinia). Jest jedną z najlepszych na rynku. Za jej pomocą wydrukowałem 90% mojego robota — wszystkie mocowania serwomechanizmów, elementy nośne i osłony.

Wysokiej jakości serwomechanizmy

Cyfrowe serwomechanizmy Dynamixel firmy Robotis należą do najlepszych na świecie — są szybkie, mocne i bardzo dokładne.

Kleje zamiast wkrętów i śrub

Wkręty i śruby nie są najlepsze do łączenia tworzyw sztucznych. Ja sklejałem wszystko za pomocą płynnego spoiwa Same Stuff firmy Micro-Mark (patrz rysunek 19.3) i acetonowej masy ABS.



Rysunek 19.3. Płynne spoiwo Same Stuff firmy Micro-Mark

Standardowy mózg

DARwIn-OP jest sterowany przez niedrogi mini-komputer fit-PC2 i kontroler serwomechanizmów CM-730 firmy Robotis (patrz rysunek 19.4).



Rysunek 19.4. Mózg robota

Oczywiście nie obyło się bez trudności.

Elementy trudne do wydrukowania

Kilka części, zaprojektowanych z myślą o wykonaniu ich z aluminium lub tworzywa odlewanego metodą wtryskową, okazało się wręcz niemożliwe do wydrukowania na mojej drukarce. Przednia osłona korpusu musi być wykonana bardzo dokładnie — po zwiększeniu rozdzielczości do odpowiedniego poziomu druk miał trwać 16 godzin, a przez tak długi czas wiele złych rzeczy może się wydarzyć. Musiałem więc skorzystać z usług firmy *Shapeways* (<http://shapeways.com>) i to ona wydrukowała mi metodą laserowego spiekania zarówno wspomnianą osłonę korpusu, jak i obudowę głowy. W przyszłości mam zamiar popracować nad przeprojektowaniem tych elementów, aby dało się je wydrukować w domu — albo znajdę kogoś, kto się tym zajmie.

Niewygodne grubości

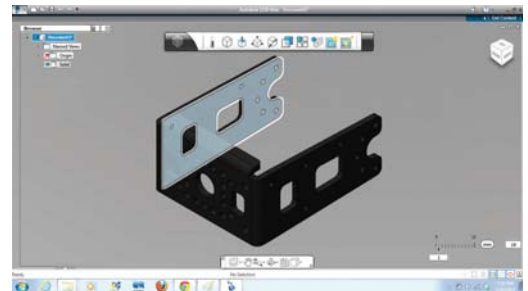
Niektóre części mają grubość równą 1,5 lub 2,5 (zamiast 2 lub 3) szerokości ścieżki wytłaczanego tworzywa. Większość tanich drukarek, a także slicerów, ma problem z nietypowymi grubościami ścianek i w rezultacie drukuje ścianki z wyraźnymi rowkami, a to znacznie zmniejsza ich wytrzymałość. Nie mniej kłopotliwe okazały się osłony o grubości równej pojedynczej ścieżce.

Wnioski i spostrzeżenia

Były też rzeczy, które okazały się niezwykle przydatne.

Darmowe programy 3D

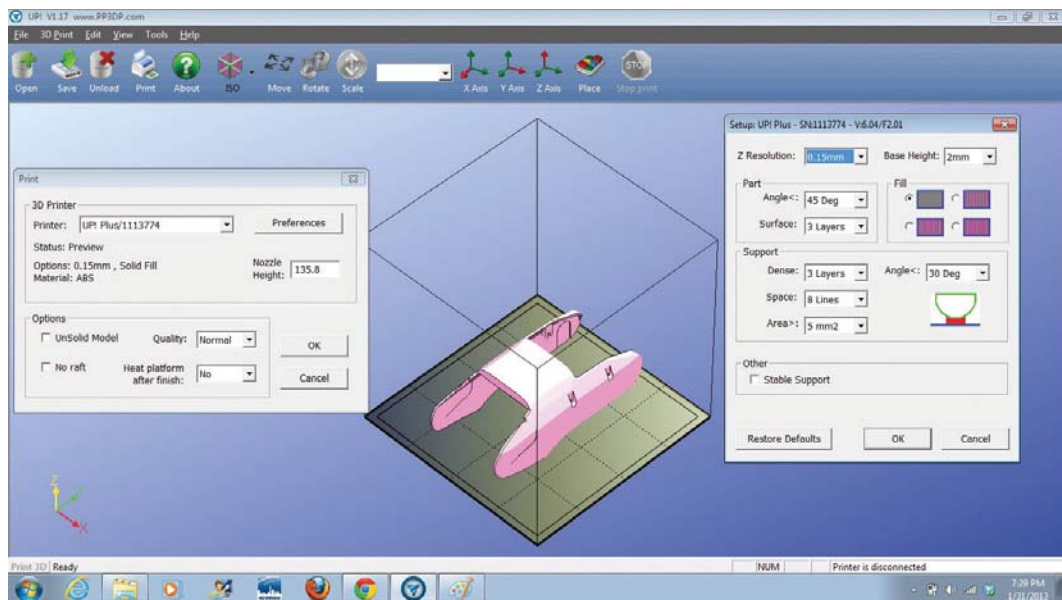
Kilka części musiałem trochę przeprojektować i użyłem do tego aplikacji 123D firmy Autodesk. Wybrałem ją ze względu na cenę (jest darmowa) i na łatwość obsługi (patrz rysunek 19.5).



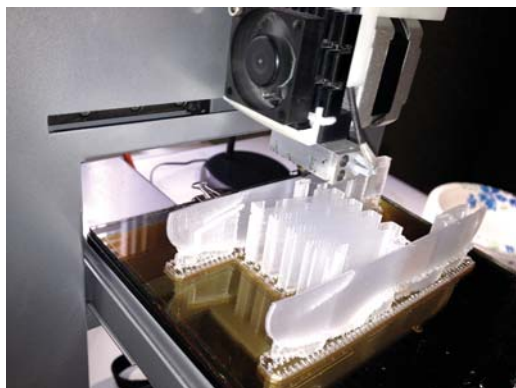
Rysunek 19.5. Trójwymiarowy uchwyt gotowy do druku

Tratwy i podpory

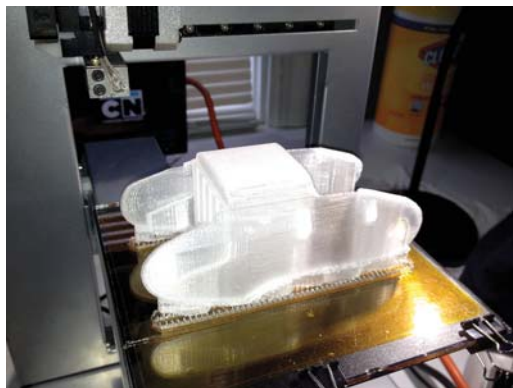
Lubię drukarkę UP! Plus za jej precyzję i automatyczne generowanie tratw (usuwalnych wzmocnień zapobiegających deformacji) i podpór podtrzymujących występy, mosty i ścianki otworów montażowych (patrz rysunek 19.6). Jednak nadal muszę sam ustawiać drukowany element względem stolika drukarki, bo od tego zależy, jak zostaną wydrukowane wszelkie występy i podpory (patrz rysunki 19.7 i 19.8).



Rysunek 19.6. Oprogramowanie UPI!



Rysunek 19.7. Drukowanie z podporami



Rysunek 19.8. Wydrukowany element humanoida

Podgrzewany stolik

Obiekty z tworzywa ABS powinny być drukowane na stoliku podgrzanym do około 110°F. Aby jeszcze bardziej zwiększyć komfort drukowania, wyposażyłem swoją drukarkę w stolik z płytą szklaną pokrytą taśmą kaptonową poprawiającą przyczepność.

Ustawianie stolika

Oto sposób na właściwe ustawienie wysokości stolika: jeśli między dyszą głowicy drukującej a stolik da się wsunąć kartkę papieru,

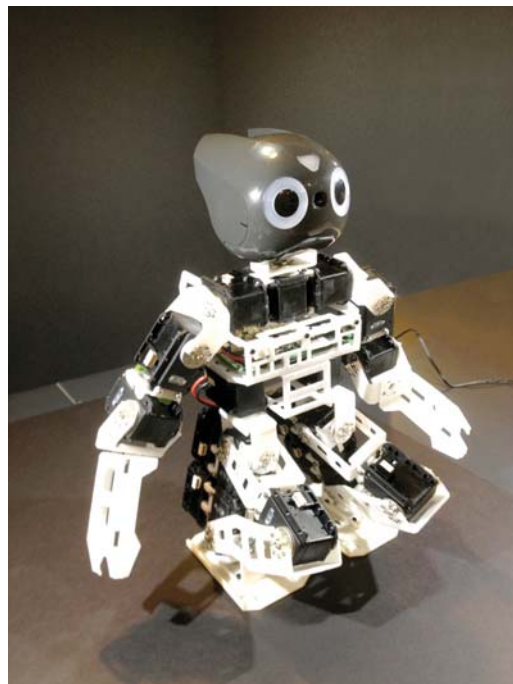
to ustawienie jest OK. Brak takiej możliwości oznacza, że stół jest za wysoko, a jeśli kartka przesuwa się zbyt swobodnie lub widać szparę gołym okiem, to znaczy, że trzeba stół nieco podnieść.

Znakomite instrukcje

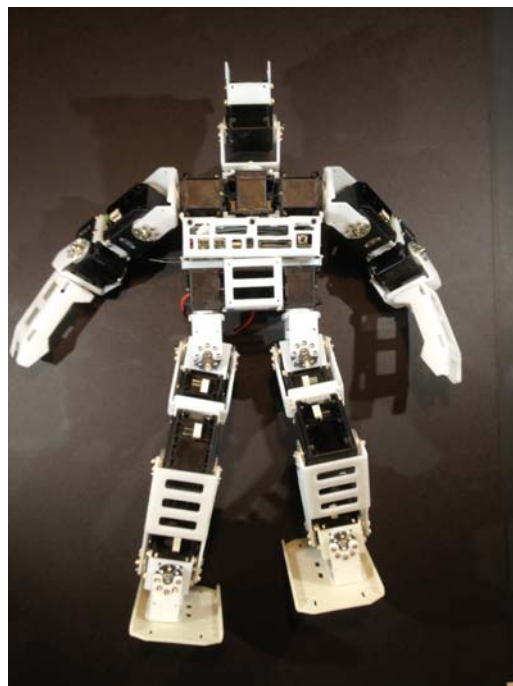
Instrukcje montażu robota DARwIn-OP są jednymi z najlepiej opracowanych, jakie kiedykolwiek miałem okazję przeglądać — cały proces jest podzielony na łatwe do wykonania etapy (patrz rysunki od 19.9 do 19.11). Dr J. K. Han z firmy Robotis wykonał kawał dobrej roboty i należą mu się podziękowania!



Rysunek 19.9. Dokumentacja humanoida jest bardzo dokładna



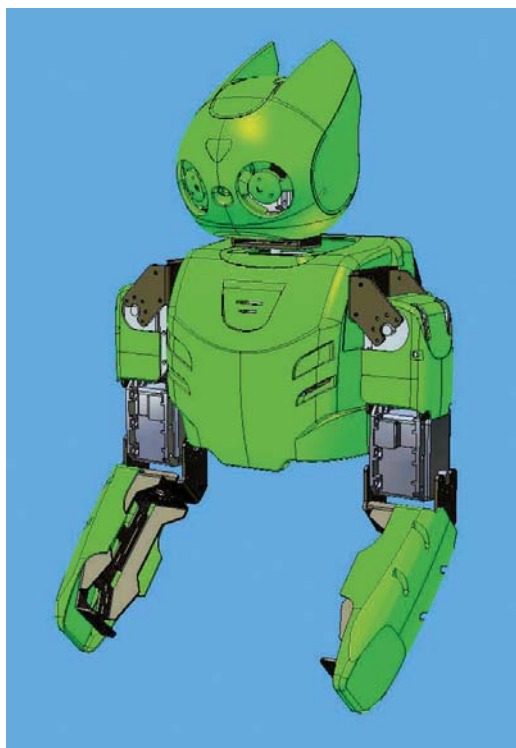
Rysunek 19.10. Humanoid zmontowany według instrukcji opracowanych przez firmę Robotis



Rysunek 19.11. Inny humanoid wykonany na podstawie instrukcji montażowych opracowanych przez firmę Robotis

Drukować samodzielnie czy zlecać specjalistom?

Na wydrukowanie wszystkich części robota zużyłem dwie szpule filamentu warte około 90 dolarów. W Shapeways musiałbym zapłacić około 1000 dolarów, czyli prawie tyle samo co za niejedną drukarkę 3D w zestawie do samodzielnego montażu, a według mnie jakość wydruku uzyskana za pomocą takiej drukarki jest w 70–80% taka jak w wykonaniu profesjonalnym. Mimo to zastanawiam się nad wydrukowaniem wszystkich osłon w Shapeways za 400 dolarów, ponieważ prawidłowe wykonanie tych elementów w warunkach domowych jest naprawdę trudne.

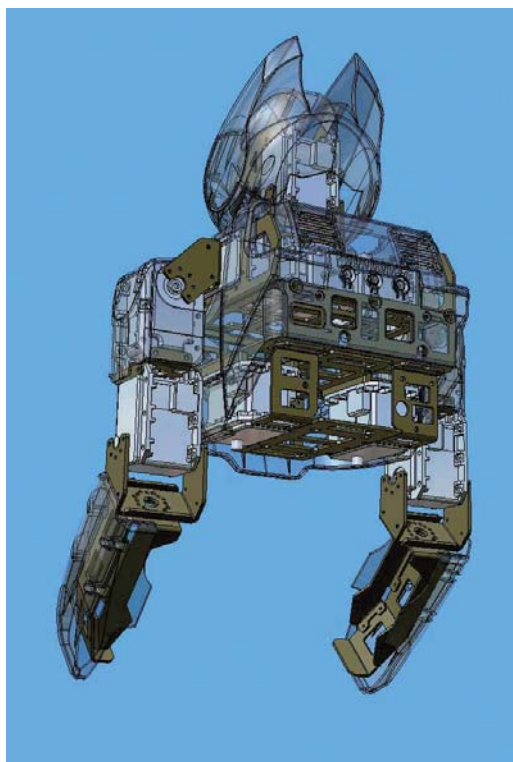


Rysunek 19.12. Analizowanie struktury robota

Co dalej?

Teraz zamierzam pobrać oprogramowanie minikomputera fit-PC2 i nauczyć robota chodzić, mówić i pa-trzeć. Dobrze by było, gdybym nie musiał zbyt wiele zmieniać w samym oprogramowaniu i w konstrukcji robota.

Jednak liczę się z tym, że niektóre elementy będę musiał wykonać na nowo, ponieważ według projektu oryginalnego powinny być zrobione z aluminium. W analizowaniu struktury całego robota i poszukiwaniu słabych punktów wynikających z plastikowego wykonania (patrz rysunki 19.12 i 19.13) pomaga mi kolega Yoshihiro Shibata. Zamierzam jedynie wzmocnić te części, które mogą ulec złamaniu, bo nie chcę bez potrzeby zwiększać masy całego urządzenia.



Rysunek 19.13. Wyszukiwanie słabych punktów konstrukcji wydrukowanej z tworzywa

Jedną z istotnych zalet wytwórczości własnej jest to, że gdy coś nie działa tak, jak trzeba, można to przeprojektować i wydrukować ponownie. Taki proces nazywany jest *projektowaniem metodą kolejnych przybliżeń* lub po prostu *eksperymentowaniem*. Można to powtarzać tyle razy, ile trzeba, bo koszt drukowanej części wynosi zaledwie parę dolarów i nie trzeba długo czekać, żeby się wydrukowała!

Gdy mój robot będzie już w pełni sprawny, zmienię mu osłony, aby upodobnić go do moich ulubionych humanoidów filmowych, takich jak Robby, Gort, Atom czy C-3PO, a może też dołożę mu w pełni przegubową rękę z palcami.

Wydaje mi się jednak, że mogę nigdy nie skończyć pracy nad tym projektem, bo ciągle będę wymyślał coś nowego. Granice może wyznaczyć tylko moja wyobraźnia. I jest to wielka zasługa ruchu na rzecz wytwórczości indywidualnej. To dzięki niemu każdy ma teraz niezwykłą możliwość materializowania swoich marzeń, pomysłów i wyobrażeń.

Dziękuję bardzo Luisowi Rodriguezowi, Robowi Giseburtowi, Paulowi Piongowi, Rocowi Terrellowi, Jamesowi Rao i Kayli Kim za doradztwo i pomoc w drukowaniu części robota.

Michael Overstreet (<http://mike-ibioid.blogspot.com>) w ciągu dnia jest programistą, a nocami zajmuje się robotyką. Ze swoim robotem Boomerem zdobywał medale w sześciu ostatnich rozgrywkach RoboGames. Jest też członkiem założycielem hackerspace'u Cowtown Computer Congress w Kansas City. Uczestniczył we wszystkich krajowych edycjach Maker Faire.

CZĘŚĆ VIII

Inne sposoby wykonywania obiektów 3D

Wytwarzanie subtraktywne przeciwieństwem addytywnego

Autor tekstu: **Tom Owad**



Drukarki 3D zastrzeżenie wzbudzają duże zainteresowanie, a zapalonych majsterkowiczów szczególnie pociąga możliwość „samopowielania” się tych urządzeń przez drukowanie części składowych. Jednak czy drukarka 3D jest rzeczywiście tym narzędziem, którego potrzebujesz?

Technika wytwarzania za pomocą drukarki 3D jest typu addytywnego — gorące tworzywo (lub inny materiał) jest układane warstwa po warstwie i w ten sposób powstaje drukowany przedmiot. Jest to przeciwieństwem wytwarzania subtraktywnego, w którym z dużego bloku materiału odcina się zbędne fragmenty i pozostawia tylko to, co ma być właściwym obiektem. Wytwarzanie subtraktywne jest powszechniejsze niż addytywne, zwłaszcza gdy w grę wchodzi takie materiały jak metal czy drewno. Tokarki, frezarki, piły i wszelkiego rodzaju obrabiarki sterowane numerycznie są narzędziami subtraktywnymi.

Subtraktywny odpowiednik drukarki 3D

Subtraktywnym odpowiednikiem drukarki 3D jest frezarka CNC (sterowana numerycznie). Dla hobbysty ma ona jednak kilka znaczących wad w porównaniu z drukarką:

- Ze swej natury frezowanie powoduje straty materiału i jeśli nie ma specjalnego systemu odprowadzania pyłów, odcinane resztki szybko zaśmiecają całe pomieszczenie.
- Frezowanie jest bardziej niebezpieczne. Wprawdzie gorąca dysza drukarki może oparzyć, a nawet wywołać pożar, ale jedyne zdarzenie tego rodzaju, jakie mi się przytrafiło (na szczęście niegroźne), spowodowała nie drukarka, lecz właśnie frezarka. Poza tym bardzo niebezpieczne są same noże wirujące z prędkością 20 000 obrotów na minutę i wyrzucające z dużą siłą drobne cząstki zarówno swoje, jak i skrawanego przedmiotu.
- Frezarka jest z konieczności znacznie większa i cięższa od drukarki, a więc jest też mniej mobilna, no i oczywiście droższa. Wymaga solidniejszego systemu pozycjonowania, który przy napotkaniu oporu zdoła go pokonać i zachowa przy tym właściwą precyzję.
- Oprogramowanie frezarki jest bardziej skomplikowane. Po wymodelowaniu obiektu

w programie CAD trzeba wygenerować ścieżki narzędzia za pomocą aplikacji CAM, a to wymaga podania dokładnych wymiarów i położenia materiału obrabianego, wymiarów i charakterystyki frezu (noża), a także prędkości ruchów roboczych, zarówno posuwistych, jak i obrotowych. Programy służące do ustawiania tego wszystkiego są dość skomplikowane i początkującym użytkownikom mogą sprawiać trudności.

Z perspektywy użytkownika frezowanie CNC jest procesem o wiele bardziej złożonym niż drukowanie 3D. Jest jednak technologią dojrzałą i to daje jej wyraźną przewagę nad początkującym dopiero drukiem. Domowe drukarki rozwijają się wprawdzie szybko, ale wciąż trzeba tracić dużo czasu na ich regulowanie i testowanie, jeśli chce się uzyskać wydruk o przyzwoitej jakości.

Co chcesz wykonać?

Jeśli zamierzasz tworzyć rzeczy duże i rozbudowane, zwróć się raczej ku frezowaniu. Weź także pod uwagę fakt, że obróbka drewna jest tańsza i łatwiejsza niż obróbka tworzywa i że daje większą szansę na uzyskanie dobrego rezultatu.

Z drugiej strony, wykonanie złożonego obiektu przestrzennego jest z pewnością łatwiejsze przy użyciu drukarki 3D. Do frezowania 2,5D są dostępne programy, i to nawet darmowe, ale gdy w grę wchodzi obróbka w pełnych trzech wymiarach, oprogramowanie CAM może być bardzo drogie i trudne w obsłudze.

Przygotowanie modelu do druku jest znacznie łatwiejsze. Modelowanie można wykonać w jednym z darmowych programów, takich jak SketchUp lub Inventor Fusion. Po zapisaniu modelu w formacie STL wystarczy go przenieść do programu zwanego slicerem, a ten automatycznie wygeneruje w kodzie G ścieżki narzędzia i prześle je do drukarki. W tym procesie nie ma potrzeby poprawiania ścieżek i nie trzeba się obawiać, że źle poprowadzone narzędzie może zniszczyć to, co już zostało wykonane.

Jeśli Twoim celem jest wyprodukowanie niewielkiego przedmiotu o przestrzennej strukturze, drukarka 3D będzie dobrym wyborem.

Obrabiarka CNC w wydaniu domowym

Wybór frezowania nie oznacza wcale konieczności rezygnacji z opcji samopowieliania się urządzenia ani z możliwości wykonania go we własnym zakresie. Patrick Hood-Daniel w książce *Build Your Own CNC Machine* pokazał, że można zbudować obrabiarkę CNC od podstaw, podobnie jak to się robi z drukarkami RepRap. Korpus można wykonać z odpowiednio przyciętej sklejki, a wszystko inne to standardowe części powszechnie dostępne.

Aluminiowy kątownik, śruby i wkręty można kupić w każdym sklepie z materiałami budowlanymi. Śruby pociągowe i nakrętki bezłuzowe trzeba raczej zamówić w McMaster-Carr i dumpsterCNC lub w innych tego typu sklepach. Silniki krokowe i ich sterowniki mogą być zupełnie dowolne i nie powinno być problemu z ich nabyciem. Funkcję wrzeciona może pełnić zwykła ręczna frezarka do drewna — ja zastosowałem Porter-Cable 892.

Podobnie jak w przypadku drukarek RepRap problemem może być zdobycie zespołu mocowania materiału obrabianego. Na szczęście odpowiednie części można wykonać z arkusza sklejki o wymiarach 2×4 stopy za pomocą dowolnej frezarki CNC obsługującej takie rozmiary. Sprawdź lokalne hackerspace'y, sklepy techniczne, warsztaty i popytaj na forach czasopism takich jak „Make” czy „Home Shop Machinist”, a na pewno znajdziesz kogoś w pobliżu, kto dysponuje odpowiednim sprzętem. (Jeśli mimo wszystko nie uda Ci się wyciąć tych części, możesz je kupić u Patricka).

Zasoby przydatne przy budowie własnej frezarki CNC

Build Your Own CNC Machine autorstwa Jamesa Floyda Kelly'ego i Patricka Hood-Daniela (<http://amzn.com/1430224894>)

dumpsterCNC (<http://www.dumpstercnc.com/>)

Build Your CNC (<http://buildyourcnc.com/>)



Plany dostępne w serwisie BuildYourCNC.com

Aby pozyskać pliki z CAD i CAM z rysunkami części dla budowanej frezarki, pobierz ze strony <http://buildyourcnc.com/cnckit2.aspx> plany dla urządzenia CNC Routing Machine Kit Version 1.3. Zamieszczony tam film wideo wyjaśnia, jak należy wszystko składać. Pliki są udostępniane na licencji Creative Commons Attribution-NonCommercial, zgodnie z nią możesz zbudować urządzenie dla siebie lub kolegi, ale nie na sprzedaż.

Pliki CAM są zapisane w wewnętrznym formacie programu CamBam, ale jest dostępna jego wersja darmowa, która potrafi odczytywać i zapisywać również pliki DXF. Większość dobrych programów CAM jest bardzo droga, więc jeśli jeszcze nie wydałeś na żaden z nich pieniędzy, pozostań przy CamBam. Może on pełnić funkcję aplikacji CAD i CAM, i nawet w wersji darmowej jego możliwości są dość duże.

Interesującą, nową opcją jest też system MakerSlide firmy *Inventables* (<http://inventables.com>). Istotną wadą projektu BuildYourCNC jest pogarszająca się w miarę użytkowania sztywność i precyzja, a powodem tego jest drewniana konstrukcja. MakerSlide to system aluminiowych profili o przekroju w kształcie litery V (podobne profile oferują także firmy 80/20, Misimi i inne). Frezarka zbudowana z takich materiałów będzie na pewno solidniejsza i dokładniejsza w działaniu niż drewniana.

Tom Owad jest lokalnym konsultantem do spraw Macintosha w Yorku, w stanie Pensylwania (<http://applefritter.com>). Jest też autorem książki *Apple I Replica Creation*.

Jeszcze inne frezarki

Ten rozdział został pierwotnie opublikowany w „Make: Ultimate Guide to 3D Printing” (<http://makezine.com/volume/make-ultimate-guide-to-3d-printing/>) z 2012 roku. Od tamtej pory na rynku pojawiło się kilka nowych, tanich systemów CNC do samodzielnego montażu.

Trzeba też dodać, że poza frezarkami istnieje jeszcze szereg innych narzędzi do wytwarzania subtraktywnego. Są to między innymi wycinarki laserowe, plotery tnące i rozmaite systemy tnące CNC z nożami wleczonymi.

Othermill

<http://otherfab.com>

Othermill to mała, ale bardzo precyzyjna frezarka CNC firmy Other Machine powstałej na bazie projektu MTM Snap (Machines That Make — maszyny, które wytwarzają), realizowanego przez Jonathana Warda z MIT Center of Bits and Atoms (<http://mtm.cba.mit.edu/>). Obecnie Jonathan pracuje w Other Machine.

Urządzenie ma powierzchnię roboczą o wymiarach 5,5×4,5×1,4 cala i jest zoptymalizowane pod kątem frezowania obwodów drukowanych na miedzianych płytkach FR-1 przy użyciu cichego i szybkiego wrzeciona. Może służyć także do obróbki miękkiego drewna, wosku, tworzyw sztucznych i metali nieżelaznych. Jest wykonane z odporne na wodę i chemikalia tworzywa HDPE; w przeciwieństwie do urządzeń wykonanych ze sklejki nie ulega deformacjom w trakcie użytkowania.

Twórcy tej frezarki wzięli sobie za punkt honoru uproszczenie i upiększenie procesu CAM i w związku z tym postanowili opracować własny pakiet oprogramowania. W czasie gdy pracowałam nad książką, oprogramowanie to było jeszcze w fazie rozwoju. Za w pełni złożoną i gotową do użytku frezarkę Othermill trzeba będzie zapłacić ponad 1000 dolarów.

Shapeoko 2

- Dokumentacja — <http://shapeoko.com>
- Dostępność za pośrednictwem Inventables — <https://www.inventables.com/technologies/desktop-cnc-mill-kits-shapeoko>

Shapeoko jest zaprojektowanym przez Edwarda Forda open-source’owym zestawem do samodzielnego montażu, który przy odrobinie wprawy można złożyć w ciągu jednego weekendu. W serwisie Inventables można go kupić jako Mechanical Kit (zestaw mechaniczny) za 299 dolarów lub jako Full Kit (zestaw pełny) w wersji 110 V za 649 dolarów albo w wersji 220 V za 685 dolarów.

Firma Shapeoko pozostaje wierna idei ruchu open source i udostępnia za darmo dokumentację wszystkich elementów urządzenia, łącznie z plikami CAD. W konstrukcji frezarki zastosowano wspomniane już w tym rozdziale profile z systemu MakerSlide. Maszyna jest sterowana przez open-source’owe oprogramowanie, zwane stosem sprzętowym (hardware stack), z interpreterem kodu G o nazwie gbrl (Windows) lub gctrl (Mac i Linux). Można za pomocą niej frezować tworzywa sztuczne, drewno i metale nieżelazne, takie jak aluminium czy mosiądz. Należy jednak dodać, że zgodnie z zaleceniami firmy Shapeoko należy do obróbki metali stosować specjalne wrzeciono (zamiast narzędzia obrotowego).

Systemy przesuwu liniowego

Poza opisanymi wyżej ofertami kompletnych frezarek CNC lub zestawami do samodzielnego montażu istnieje także możliwość zbudowania takiej maszyny na bazie gotowego systemu aluminiowych prowadnic i mechanizmu pozycjonowania. Najbardziej popularne systemy tego typu to MakerSlide, OpenBeam i OpenBuilds.

MakerSlide

- Dokumentacja — <http://www.makerslide.com>
- Dostępność za pośrednictwem Inventables — <https://www.inventables.com/technologies/makerslide>

System MakerSlide jest dziełem Bartona Dringa i składa się z prowadnic o przekroju V, znanych z komercyjnych urządzeń CNC, i poruszających się po nich tradycyjnych rolek, których przekrój też ma kształt litery V. Jest to pierwszy, bardzo popularny i niedrogi system tego typu. To też zasadniczy element zestawu Shapeoko 2.

OpenBeam

- Dokumentacja — <http://blog.openbeamusa.com>
- Dostępność za pośrednictwem serwisu Amazon — <http://store.openbeamusa.com>

Opensource'owe kształtki aluminiowe OpenBeam są stosowane w drukarkach 3D Mini Kossel i Kossel Pro, zarówno opensource'owych (typu RepRap), jak i komercyjnych (typu RepStrap), które zrodziły się z partnerstwa między twórcą drukarek Rostock i Mini Kossel, Johannem Rochollem, a Terencem Tamem z OpenBeamu.

OpenBuilds

- Dokumentacja — <http://www.openbuilds.com>
- Dostępność za pośrednictwem serwisu OpenBuilds Part Store — <http://openbuildspartstore.com>

W sklepie OpenBuilds Part Store można kupić aluminiowe profile OpenRail z rowkami o przekroju V (zwane V-Slots) i inne elementy systemów przesuwu liniowego. Profile te stosuje między innymi firma Deezmaker w swoich drukarkach Bukito.

— Anna Kaziunas France

Czaszki z białej czekolady na tackach z tworzywa PLA

21

Drukowanie form do odlewania czekoladek

Autor tekstu: **Anna Kaziunas France**

Co roku w Halloween przygotowuję smakołyki, aby je rozdawać. Przebieram się i ruszam w drogę, częstując każdego, kogo napotkam. Jest to takie moje „cukierek albo psikus” na opak. W październiku 2012 roku zabrałam się do tego inaczej niż zwykle — najpierw za pomocą drukarki 3D wykonałam skrzynkę formierską i specjalne tacki do pakowania gotowych czekoladek, następnie z silikonu dopuszczonego do kontaktu z żywnością sporządziłam formę i na koniec zrobiłam czekoladowe odlewy (patrz rysunek 21.1).



Rysunek 21.1. Czaszki odlane z białej czekolady

Czaszkę zeskanowałam już kilka miesięcy wcześniej, i nawet zdążyłam wydrukować odpowiednią liczbę modeli, aby zrobić z nich naszyjnik pasujący do mojego halloweenowego przebrania w stylu Kali (patrz rysunek 21.2), w którym rozdawałam czekoladki.



Rysunek 21.2. Radosne Halloween 2012 z Kali, Finnem i Jake'em

Aby utworzyć odpowiednią skrzynkę formierską, połączyłam za pomocą programu *OpenSCAD* (<http://openscad.org>) zeskanowaną czaszkę z parametrycznym pudełkiem (wykorzystałam skrypt napisany przez użytkownika serwisu Thingiverse o pseudonimie *acker*). Ten sam skrypt wykorzystałam także do zaprojektowania i wydrukowania tackek.

Tacki wydrukowałam z tworzywa PLA i posłużyły one jedynie do przenoszenia czekoladek, a nie do ich odlewania. W razie obaw, czy użyte tworzywo może kontaktować się z żywnością, można tacki wyłożyć pergaminem lub papierem woskowym. Po odlaniu czasek z białej czekolady poukładałam je na tackach, a następnie zapakowałam do torebek na cukierki.

Oto wykaz plików niezbędnych do wykonania takich czekoladek:

Skrzynka formierska z modelami czaszek

<http://www.thingiverse.com/thing:33432>

Czaszka z wampirowymi zębami (wyczyszczony i naprawiony skan)

<http://www.thingiverse.com/thing:31998>

Oryginalny skan czaszki (przed wprowadzeniem modyfikacji) jest dostępny na stronach aplikacji 123D Catch

<http://www.123dapp.com/obj-Catch/Skull-with-Pointed-Teeth/859975>

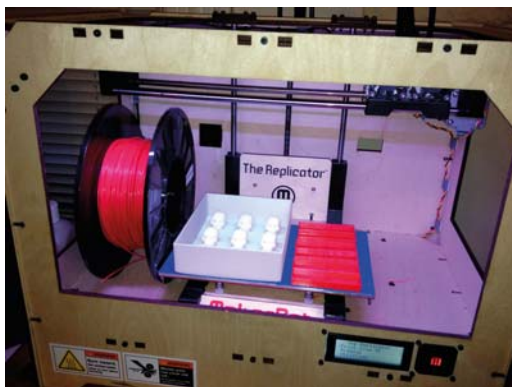
Spis materiałów

Do wykonania białych czekoladek w kształcie czaszek potrzebne są też wymienione niżej materiały i przyrządy. Mój zestaw drukarski jest pokazany na rysunku 21.4, a pozostałe rzeczy — na rysunku 21.3.

- Drukarka 3D (ja użyłam modelu MakerBot Replicator). Można też skorzystać z usług firm takich jak Ponoko czy Shapeways.
- Filament PLA pasujący do drukarki.
- Dopuszczona do kontaktu z żywnością guma silikonowa *Smooth-Sil 940* firmy Smooth On (http://www.smooth-on.com/a25/Smooth-Sil%3D-940-Suitable-For-Food-Related-Applications/article_info.html).
- Pastyłki czekoladowe (niewymagające temperowania). Ja lubię *Chocoley's Bada Bing Bada Boom Candy & Molding Formula* (<http://www.chocoley.com/badabingbadaboom/candyandmolding.htm>).
- Lecytyna sojowa (w kapsułkach żelowych; znalazłam je w Whole Foods wśród suplementów diety).



Rysunek 21.3. Mój zestaw odlewniczy



Rysunek 21.4. Sprzęt i materiały drukarskie

- Termometr cukierniczy. Niedawno udało mi się kupić cyfrowy z dużym, czytelnym wyświetlaczem. Znalazłam go w pobliskim *Harbor Freight* (<http://www.harborfreight.com/instant-read-digital-thermometer-95382.html>).
- Rondel do gotowania na parze (lub wysoki garnek i mała szklana miska).
- Ostry nóż.
- Deska do krojenia.
- Mała łopatka lub szpatułka.

Opcjonalne dodatki:

- Kakao w proszku — ja użyłam *Green & Blacks* (<http://www.greenandblacks.com/ca/what-we-make/home-baking/cocoa-powder.html>).

- Bawełniane rękawice cukiernicze (<http://www.chocoley.com/supplies.htm>) — nie dotykaj czekolady palcami przy wyjmowaniu odlewów z formy.
- Miękkie butelki dozujące z tworzywa bezpiecznego dla żywności lub lejek dozujący (staraj się utrzymać porządek podczas pracy).
- Bambusowy parownik (zastąpi rondel do gotowania na parze lub garnek z miską).
- Foliowe torebki na cukierki z zapinkami (ja kupiłam je w Jo-Ann Fabric and Craft Store).

1. Wydrukuj skrzynkę formierską

Najpierw trzeba wydrukować skrzynkę formierską (patrz rysunek 21.5). Tym, którzy będą drukować we własnym zakresie, podpowiadam, aby zastosowali 13-procentowe wypełnienie i 3 powłoki. Do pobrania udostępniłam dwie wersje pliku STL dla skrzynki

z czaszkami (Chocolate Skull Mold Maker — <http://www.thingiverse.com/thing:33432>) — jedną ze ściankami cienkimi (1,3 mm) i drugą z grubszymi (2,3 mm). Ta pierwsza wydrukowana z tratwą wydała mi się niezbyt szczelna. Na wszelki wypadek zabezpieczyłam spód skrzynki izolacją w płynie, ale silikonowa masa formierska okazała się na tyle gęsta, że to zabezpieczenie chyba nie było konieczne.



Rysunek 21.5. Świeżo wydrukowana skrzynka formierska

Wymodeluj własną skrzynkę formierską w OpenSCAD

Jeśli zamiast korzystać z gotowego projektu skrzynki o nazwie *Chocolate Skull Mold Maker* (<http://www.thingiverse.com/thing:33432>), chciałbyś wykonać własny, możesz jako punkt wyjścia wziąć plik *skullCandyMold.scad*.

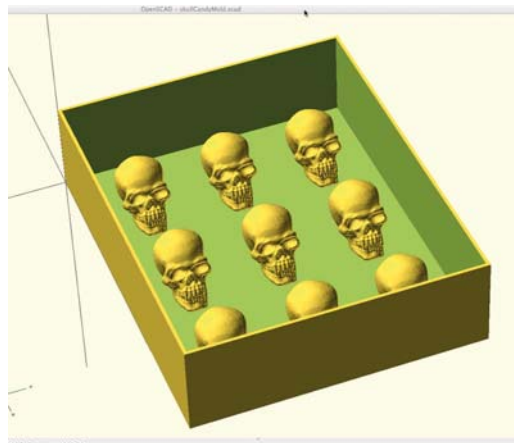
Umieszczony w tym pliku projekt powstał z połączenia parametrycznego pudełka (opracowanego przez użytkownika serwisu Thingiverse o pseudonimie *acker*) i zeskanowanej przeze mnie czaszki.

Radziłabym jednak, abyś przed wprowadzeniem większych zmian pobawił się trochę oryginalnym kodem skrzynki. Żeby to w ogóle było możliwe, w folderze z wymienionym wyżej plikiem *.scad* musi być jeszcze plik *vampireSkull_0.2.stl*.

Jeśli okaże się, że wszystko działa, możesz na przykład zmienić model czaszki na zupełnie inny. W tym celu wartość zmiennej „filename” zastąp nazwą

nowego pliku STL. Upewnij się przy tym, że ten plik znajduje się w tym samym folderze co plik *.scad*.

Oto przykładowy rendering skrzynki wykonany w programie OpenSCAD.



Wersja grubsza drukuje się znacznie dłużej i potrzebuje więcej filamentu. Myślę, że śmiało można poprzestać na cieńszych ściankach, oszczędzając zarówno czas, jak i materiały.

2. Zmieszaj składniki gumy i zalej skrzynkę formierską

Weź gumę silikonową Smooth-Sil 940 (patrz rysunek 21.6) i zmieszaj jej składniki w proporcjach podanych na opakowaniu. Następnie wlej ją do skrzynki formierskiej. Wlej taką ilość, aby czaszki były przykryte warstwą o grubości około 0,5 cala albo żeby guma sięgała do górnych krawędzi skrzynki.



Rysunek 21.6. Można zalewać!

Nie mam dostępu do komory próżniowej (jeszcze), więc żeby zapobiec powstawaniu bąbelków w masie formierskiej, umieściłam skrzynkę na subwooferze i włączyłam muzykę z mocnymi basami (patrz rysunek 21.7). Dodatkowo za pomocą elektrycznej szczoteczki do zębów (bez końcówki czyszczącej) wprawiałam w drgania dno i boczne ścianki skrzynki, aby zmusić bąbelki do wędrowania ku powierzchni masy.



Rysunek 21.7. Uwalnianie pęcherzyków za pomocą subwoofera

Nie wiem, na ile moje zabiegi były skuteczne, ale nie miałam żadnych problemów z bąbelkami w masie formierskiej ani ze szczegółowością samej formy. Pozostaw załaną skrzynkę na 24 godziny, po czym poddaj ją obróbce termicznej zgodnie z instrukcjami podanymi w opisie technicznym użytej gumy silikonowej (http://www.smooth-on.com/tb/files/Food_Grade_SS940.pdf).

Dno cienkościennej skrzynki zabezpieczyłam płynną izolacją, co widać na rysunku 21.8, bo obawiałam się, że nie jest zbyt szczelne i masa formierska może przeciekać. Teraz jednak sądzę, że było to zbyt czułe. Guma silikonowa Smooth-Sil 940 była na tyle gęsta, że na pewno nie zdołałaby wyciec.



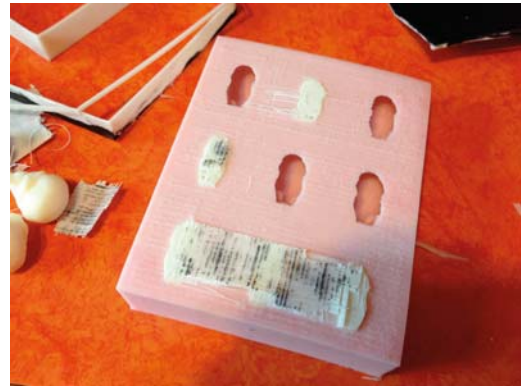
Rysunek 21.8. Skrzynka formierska pokryta „taśmą izolacyjną w płynie”

3. Wyjmij formę

Aby wyjąć silikonową formę z drukowanej skrzynki, prawdopodobnie będziesz musiał tę ostatnią zniszczyć całkowicie. Ja tak zrobiłam. Niektóre czaszki musiały usuwać pojedynczo. W sumie cały zabieg okazał się dość łatwy, a najtrudniejsza była decyzja o zniszczeniu skrzynki. Postępy prac są pokazane na rysunkach 21.9 i 21.10.



Rysunek 21.9. Niszczenie skrzynki formierskiej!



Rysunek 21.10. Usuwanie czaszek z silikonowej formy

Umyj formę (patrz rysunek 21.11) wodą i mydłem i pozwól jej dokładnie wyschnąć, zanim zaczniesz wypełniać ją czekoladą. Przy wykonywaniu odlewów z czekolady woda może wyrządzić wiele szkód.



Rysunek 21.11. Gotowa forma

4. Zrób nacięcia w formie

Za pomocą ostrego noża ponacinaj podstawy wszystkich czaszek (patrz rysunek 21.12). Łatwiejsze będzie później wyjmowanie czekoladowych odlewów.



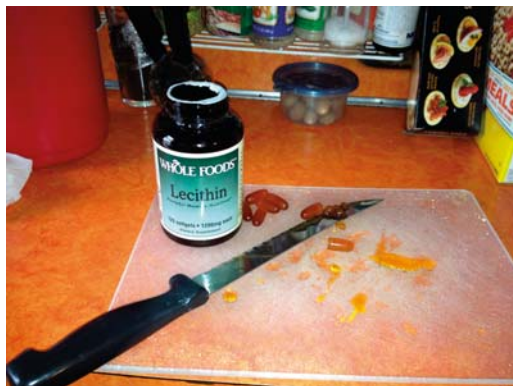
Rysunek 21.12. Forma z nacięciami

Na taki pomysł wpadłam zupełnie przypadkowo. Przy którymś z kolei cyklu odlewniczym zauważyłam, że forma u podstawy jednej z czaszek jest lekko pęknięta — był to rezultat częstego wyginania formy przy wyjmowaniu czekoladek. Stwierdziłam też, że pęknięcie nie ma żadnego wpływu na wygląd odlewu, a znacznie ułatwia jego wyjmowanie. Wzięłam więc ostry nóż i wykonałam nacięcia przy wszystkich czaszkach (nacięcia te ujawniają się tylko przy wyginaniu formy). Pomysł okazał się bardzo dobry.

5. Wyciśnij lecytynę sojową z kapsułek żelowych

Lecytyna sojowa nie tylko pomaga w wyjmowaniu czekoladek, lecz także w kontakcie z ciekłą czekoladą działa jak emulgator. Jako źródło tego preparatu wykorzystywałam kapsułki żelowe Whole Foods, które nabyłam w sklepie z suplementami diety.

Porozcinałam kapsułki i wycisnęłam z nich oleistą ciecz (patrz rysunek 21.13). Na dwie garstki czekolady dawałam olej wyciśnięty z czterech kapsułek. Resztki kapsułek wyrzucałam.



Rysunek 21.13. Kapsułki żelowe z lecytyną sojową

6. Roztop czekoladę

Użyłam białej czekolady w postaci pastylek, które nie wymagają temperowania. Oczywiście można wziąć inną czekoladę i przeprowadzić temperowanie, ale jest to proces skomplikowany i nie będę go opisywała.

Roztapianą czekoladę podgrzewaj w garnku do gotowania na parze (jeśli nie masz takiego naczynia, zapoznaj się z innymi rozwiązaniami, jakie opisałam w dalszej części podrozdziału). Ja postępowałam zgodnie ze szczegółową *instrukcją* podaną w serwisie *Chocoley* (<http://chocoley.com/chocolate-candy-making-guide/melting-bada-bing-bada-boom-chocolate.htm>).

Pamiętaj, że w całym tym procesie bardzo ważna jest temperatura. Ciągłe sprawdzaj, jak gorąca jest czekolada. Ogrzej ją do 100–105°F, ale nie bardziej, bo z odlewania nic nie wyjdzie!

Do topiącej się czekolady dodaj pozyskaną w poprzednim etapie lecytynę. Na dwie garstki (mam małe dłonie) czekolady dodawałam lecytynę wyciśniętą z czterech kapsułek. Delikatnie mieszaj aż do całkowitego rozpuszczenia się czekolady.

Odkryłam też, że dodanie odrobiny kakaowego proszku nadaje czekoladzie bardziej zrównoważony smak. Wystarczy dosłownie szczypta na cały wsad.

Jako że nie mam garnka do gotowania na parze, sprawdziłam kilka innych metod roztopiania czekolady.

Bambusowy parownik + szklana miska

Napełnij garnek do połowy wodą, a na wierzchu połóż bambusowy koszyk parownika. Do koszyka włóż szklaną miskę i wsyp do niej czekoladowe pastylki (patrz rysunek 21.14). Wypraktykowałam, że najlepsze efekty uzyskuje się przy małych wsadach. Kosz wokół miski uszczelnij papierowymi ręcznikami, żeby para wodna nie mieszała się z czekoladą.



Rysunek 21.14. Roztopianie czekolady w misce i bambusowym parowniku

Nie dopuszczaj do kontaktu płynnej czekolady z wodą. Zbyt rzadka masa odlewnicza nie zestali się prawidłowo po wylaniu do formy.

Bambusowy parownik + miękka butelka dozująca (najlepszy sposób)

Po trwającym całe popołudnie eksperymentowaniu i odlaniu kilku partii czekoladek uznałam, że najlepsza jest metoda z parownikiem i butelką dozującą.

Z poprzedniej metody pozostawiłam garnek i parownik, ale zamiast szklanej miski użyłam miękkiej plastikowej butelki wyposażonej w dozownik. Aby

zapobiec wydobywaniu się pary wodnej przez dno parownika, okręciłam butelkę ściereczką do wycierania naczyń (patrz rysunek 21.15).



Rysunek 21.15. Roztopianie czekolady w plastikowej butelce

Polubiłam tę metodę ze względu na dwie istotne zalety:

1. Wypełnianie poszczególnych czaszek w formie odlewniczej było dużo łatwiejsze i nie powodowało takiego bałaganu jak przy zastosowaniu innych metod roztopiania czekolady.
2. Po zalaniu całej formy mogłam po prostu odstawić butelkę na bok, aby potem ponownie ustawić ją na parowniku i kontynuować pracę. Dzięki temu uniknęłam bałaganu wynikającego z używania dodatkowych naczyń, do których musiałam przelewać gorącą czekoladę i które potem musiałam myć.

7. Pozwól czekoladzie ostygnąć

Czekolada przed waniem do formy musi trochę ostygnąć (patrz rysunek 21.16). Jej temperatura powinna spaść do 96–98°F. Prawdopodobnie zajmie to więcej czasu, niż Ci się wydaje. Patrz na termometr i bądź gotów na szybkie działanie. Nie odchodź do innych zajęć, bo możesz przegapić właściwy moment i czekolada będzie za zimna, aby dało się nią zalać formę.



Rysunek 21.16. Studzenie czekolady — nie spuszczać oka z termometru!

Jeśli zamierzasz przelewać czekoladę do butelki lub lejka dozującego, zrób to właśnie podczas jej stygnięcia. Przez cały czas trzymaj w niej termometr, aby wiedzieć, kiedy należy rozpocząć zalewanie formy.

Zanim wpadłam na pomysł z butelką, wypełniałam formę za pomocą lejka dozującego.

8. Zalej formę czekoladą

Gdy czekolada osiągnie właściwą temperaturę, musisz szybko wypełnić nią zagłębienia formy. Zdecydowanie polecam metodę z butelką dozującą (patrz rysunek 21.17), ale można też użyć lejka dozującego lub wylewać czekoladę prosto z miski, w której była roztopiona.



Rysunek 21.17. Wypełnianie formy czekoladą przez wyciskanie jej z butelki

Gdy już zalejesz czekoladą całą formę, wygładź górną powierzchnię za pomocą szpatułki lub noża (patrz rysunek 21.18). Usuń wszystko, co wystaje ponad powierzchnię formy.



Rysunek 21.18. Wygładzanie powierzchni formy za pomocą noża

9. Włóż formę do lodówki

Włóż zalaną formę do lodówki i potrzymaj ją tam do czasu, aż czekolada stwardnieje (patrz rysunek 21.19). Przy małych czekoladkach potrwa to około 20 minut, a przy większych odlewach będziesz musiał poczekać odpowiednio dłużej.



Rysunek 21.19. Schładzanie w lodówce — przez około 20 minut

10. W tym czasie wydrukuj tacki

Czekając, aż czekoladki stwardnieją w lodówce, możesz zacząć drukować dla nich tacki (patrz rysunek 21.20). Jeśli nie masz drukarki 3D, musisz zająć się tym wcześniej i zlecić druk jakiejś firmie, ale też możesz po prostu zrobić czekoladki bez tacek. Do drukowania użyj filamentu PLA.



Rysunek 21.20. Drukowanie tacek

Jeśli nie dowierzasz zapewnieniom, że tworzywo PLA jest bezpieczne dla żywności, podłóż pod każdą czekoladkę kawałek pergaminu lub papieru woskowego.

Oto adres, pod którym znajdziesz plik z cyfrowym modelem tacki o czterech przegródkach: <http://www.thingiverse.com/thing:33432>. Kod takiej parametrycznej tacki napisał *acker*, który z kolei wzorował się na kodzie napisanym przez *hippiegunnuta*. Ja zmodyfikowałam ten kod tylko na tyle, aby jedna tacka pomieściła cztery małe czekoladki.

11. Ostrożnie wyjmij czekoladki z formy

Wyjęcie czekoladowych czaszek z silikonowej formy może sprawić trochę kłopotu. Przed przystąpieniem do tej czynności włóż rękawice cukiernicze (patrz rysunek 21.21), aby nie zostawić na czekoladzie śladów palców.



Rysunek 21.21. Do wyjmowania czekoladek z formy włóż rękawice cukiernicze

Aby obluźować czekoladki, wygnij lekko formę. Do samego wyjmowania czekoladek przydają się małe dłonie (ja mam właśnie takie i chyba dzięki temu udaje mi się wykonać całą operację bez uszkodzenia odlewów). Stwierdziłam też, że po zluźwaniu czekoladek przez wygięcie formy łatwo jest je podważyć od przodu i po lekkim obróceniu wystarczy je pociągnąć, aby opuściły wgłębienie w formie. Trochę mogą się przy tym pocierać zęby czaszki, ale ogólnie wydaje się, że jest to metoda najlepsza.

Do tej pory wykonałam już wiele takich odlewów i żadnej czekoladki nie uszkodziłam (patrz rysunek 21.22).



Rysunek 21.22. Czekoladki wyjęte z formy

Teraz pozostało Ci już tylko poukładanie czekoladek na tackach (patrz rysunek 21.23), zapakowanie do torebek i rozdanie wszystkim wokół!



Rysunek 21.23. Czekoladki ułożone na tacce

Anna Kaziunas France jest redaktorem w Maker Media, specjalizuje się w problematyce wytwórstwa cyfrowego. Jest również dziekanem ds. studenckich w Fab Academy i współautorką książki *Getting Started with MakerBot*. Wcześniej prowadziła kurs szybkiego prototypowania „Jak wyprodukować prawie wszystko” w ramach Providence Fab Academy. Więcej informacji na jej temat znajdziesz na *jej stronie internetowej* (<http://kaziunas.com/>), a spora część jej projektów jest dostępna w serwisie *Thingiverse* (<http://thingiverse.com/akaziuna>).

Zbrodnia drukowania

22

Futurystyczna opowieść ze zbioru **Overclocked.** Stories of the Future Present

Autor tekstu: **Cory Doctorow**

CORY
DOCTOROW



OVER
CLOCKED

STORIES OF THE FUTURE PRESENT

Gliniarze zniszczyli drukarkę mojego taty, gdy miałam 8 lat. Pamiętam jej gorący zapach, podobny do tego, jaki wydziela rozgrzana w mikrofalówce folia spożywcza, i to wielkie skupienie na twarzy Da, gdy napełniał ją świeżym wsadem drukarskim, i ciepło wydrukowanych obiektów, które sprawiały wrażenie, jakby były świeżo wypieczone z ciasta.

Policjanci wpadli przez drzwi, wymachując pałkami, a jeden z nich odczytał przez megafon treść nakazu rewizji. Zdrajcą okazał się jeden z klientów Da. E-policja płaciła donosicielom wysokiej jakości farmaceutykami — środkami dopingującymi, suplementami wspomagającymi pamięć, przyspieszczaczami metabolizmu. Rzeczami, które bez recepty kosztowały fortunę, a które można było wydrukować sobie w domu, jeśli ktoś nie bał się, że nagle kuchnia wypełni mu się wielkimi cielskami i świszczącymi w powietrzu pałkami, które niszczą na swojej drodze wszystko i wszystkich.

Zniszczyli kufer babci, który przywozila ze swojej ojczyzny. Rozbili naszą małą lodówkę i klimatyzator nad oknem. Mój kanarek uszedł z życiem tylko dlatego, że zdążył uciec w kął swojej klatki, gdy ta pod naporem ciężkiego buciora niemal w całości zmieniła się w żalosne kłębowski drutów.

Da. Co oni z nim robili. Gdy skończyli, wyglądał jak po bójce z całą drużyną rugbyistów. Wtedy wyprowadzili go przed dom i na oczach reporterów wtłoczyli do samochodu. Przez cały czas rzecznicz informował świat, że przestępcza organizacja mojego taty wprowadziła na rynek nielegalne towary o wartości co najmniej 20 milionów i że mój Da, zdesperowany przestępca, stawiał opór podczas aresztowania.

Wszystko to oglądałam na swoim telefonie, siedząc w tym, co zostało z naszego salonu, i zastanawiałam się, jak ktoś mógł pomylić nasze małe obskurne

mieszkanie i mizerny dobytek z domem szefa organizacji przestępczej. Oczywiście zabrali drukarkę i pokazali dziennikarzom jako dowód przestępstwa. Jej małe sanktuarium w naszej małej kuchence ziało teraz niesamowitą pustką. Gdy w końcu doszłam do siebie, sprzątnęłam mieszkanie i uwolniłam piszczącego kanarka, a na miejscu drukarki postawiłam blender. Był zrobiony z wydrukowanych części i co miesiąc trzeba było drukować dla niego nowe łożyska oraz inne ruchome elementy. W tamtych czasach potrafiłam rozebrać i zmontować wszystko, co było możliwe do wydrukowania.

Decyzja o wypuszczeniu Da z więzienia zapadła, gdy miałam 18 lat. Wcześniej odwiedziłam go tam trzy razy — na moje dziesiąte urodziny, na jego pięćdziesiąte i kiedy zmarła Ma. Nie widziałam go od dwóch lat i okazało się, że jest w nie najlepszej kondycji. Po bójkę więziennej zostało mu utykanie i częste spoglądanie przez ramię, a było to tak częste, że wyglądało jak nerwowy tik. Gdy wysiedliśmy z taksówki przed domem, poczułam się nieswojo i z pewnym dystansem szłam obok tego ludzkiego wraku.

— Lanie — powiedział, wskazując gestem, bym usiadła — jesteś mądrą dziewczynką, wiem to. Więc może powiesz mi, gdzie Twój stary Da mógłby zdobyć drukarkę i trochę plastiku?

Zacisnęłam pięści tak mocno, że paznokcie wbiły mi się w dłonie. Zamknęłam oczy i wydusiłam przez zęby: — Odsiedziałeś w więzieniu 10 lat, Da. Dziesięć lat. Zamierzasz ryzykować następne 10 lat, żeby wydrukować kilka blenderów więcej, trochę leków, laptopów i modnych kapeluszy?

Na jego twarzy pojawił się chytry uśmiech. — Lanie, nie jestem głupcem. Więzienie wiele mnie nauczyło. Żaden kapelusz ani laptop nie są warte, by iść za nie do więzienia. Nie zamierzam więcej drukować tych bzdurnych rzeczy. — Wziął filiżankę herbaty i zaczął pić, jakby to była whisky. Po każdym tyku z namaszczeniem robił długi wydech. Zamknął oczy i zagłębił się w fotel.

— Chodź do mnie Lanie, powiem ci coś na ucho. Powiem ci, co wymyśliłem przez te dziesięć lat spędzonych w zamknięciu. Chodź i posłuchaj swojego głupiego Da.

Zrobiło mi się nieswojo, że go tak ostro potraktowałam. Przecież to oczywiste, że po tym wszystkim musiał znikować. Bóg jeden wie, co przeszedł w tym więzieniu. — Co, Da? — zapytałam, pochylając się ku niemu.

— Lanie, chcę drukować drukarki. Mnóstwo nowych drukarek. Po jednej dla każdego. Za to jestem gotów iść jeszcze raz do więzienia. Dla czegoś takiego mogę poświęcić wszystko.

Powiel to opowiadanie
(<http://craphound.com/?p=573>).

Cory Doctorow (<http://craphound.com>) jest autorem opowiadań fantastycznonaukowych, działaczem społecznym, dziennikarzem, blogerem, współredaktorem bloga *Boing Boing* (<http://boingboing.net/>) i autorem bestsellerowej powieści *Mały brat*. Jego najnowszą powieścią dla dorosłych dzieci jest *Homeland*, a dla całkiem dorosłych — *Rapture of the Nerds*.

Zasoby powiązane z drukiem 3D

A

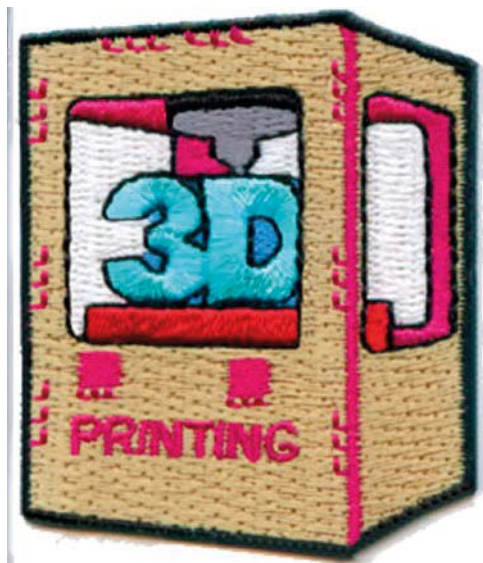
Autorzy: Colleen Jordan, Eric Weinoffer i redaktorzy czasopisma „Make”

Programy dla makerów

Tworzenie rzeczy z atomów najlepiej zacząć w świecie bitów.

Odnaka drukarza 3D od firmy Adafruit

Pochwal się światu swoją umiejętnością drukowania w trzech wymiarach, nosząc haftowaną odznakę (<http://adafruit.com/products/490>) zaprojektowaną i wykonaną przez firmę Adafruit.



3D CAD

Tanich, ale użytecznych, programów wspomagających projektowanie i modelowanie obiektów 3D jest wiele.

123D Design

<http://123dapp.com>

Ten program jest częścią bezpłatnego pakietu o nazwie 123D rozwijanego przez firmę Autodesk. Ma łatwy do opanowania interfejs i pozwala wymodelować obiekt zdalny do druku — można taki model wyeksportować do pliku STL lub przestać wprost do jednej ze znanych firm usługowych. Pakiet zawiera też aplikacje do skanowania i rzeźbienia.

TinkerCAD

<http://tinkercad.com>

Uratowany przez firmę Autodesk TinkerCAD jest programem modelarskim działającym w sieci. Aby móc go używać, wystarczy mieć przeglądarkę internetową obsługującą WebGL, taką jak Google Chrom lub Firefox. Za jego pomocą można obiekt wymodelować, zapisać w sieci i udostępnić innym. Można go także wysłać do jednego z popularnych serwisów drukujących trójwymiarowo albo pobrać w formie pliku STL i wydrukować we własnym zakresie.

3DTin

<http://www.3dtin.com>

Ten działający w ramach przeglądarki internetowej program — kiedyś prosty edytor kształtów — umożliwia budowanie obiektów ze specjalnych bloków konstrukcyjnych, które można powielać i modyfikować. Obecnie jest to dość mocno rozbudowane narzędzie z wieloma funkcjami modelarskimi.

OpenSCAD

<http://openscad.org>

Jeśli lubisz bardziej programować, niż operować myszą, być może przypadnie Ci do gustu OpenSCAD, w którym obiektów nie rysujemy, lecz programujemy przez wpisywanie odpowiednich linii kodu. Przykładowo, żeby wyświetlić na ekranie sześcian o boku 10 mm, należy wpisać `cube([10, 10, 10])`. Za pomocą operatorów boolowskich można takie obiekty dodawać, odejmować i przecinać, a to z kolei pozwala tworzyć bardziej rozbudowane struktury geometryczne. OpenSCAD pozwala na zapisanie modelu przeznaczonego do druku 3D od razu w formacie STL.

FreeCAD

<http://free-cad.sourceforge.net>

Jest to open-source'owy program typu CAD, działający na platformach Mac, Linux i Windows, który z założenia ma służyć architektom i inżynierom. Ma mnóstwo funkcji i jest dość trudny do opanowania. Jeśli szukasz czegoś bardziej zaawansowanego, możesz się nim zainteresować.

Sculptris

<http://pixologic.com/sculptris>

Darmowe narzędzie rzeźbiarskie, w którym można tworzyć trójwymiarowe modele przez manipulowanie „cyfrową gliną”.

Cubify Invent

<http://cubify.com/products/invent>

Łatwe do opanowania narzędzie modelarskie zoptymalizowane pod kątem druku 3D.

Cubify Sculpt

<http://cubify.com/sculpt>

Sculpt jest narzędziem do modelowania form organicznych, z możliwością cyfrowego rzeźbienia obiektów i edycji plików STL.

Trimble SketchUp

<http://sketchup.com>

Jeszcze do niedawna SketchUp był projektem rozwijanym przez Google, a teraz jest własnością firmy Trimble. W podstawowej wersji darmowej nie potrafi zapisać obiektu w formie nadającej się bezpośrednio do druku 3D, ale po zainstalowaniu odpowiednich rozszerzeń zapis plików STL staje się możliwy (w internecie jest dużo poradników pokazujących, jak takie rozszerzenia należy instalować).

Naprawianie siatek i manipulowanie nimi

MeshMixer

<http://www.meshmixer.com>

Nabyty przez firmę Autodesk i włączony do pakietu aplikacji 123D MeshMixer jest programem służącym do wygładzania, naprawiania i domykania siatek skanów i modeli.

netfabb

<http://www.netfabb.com>

Program netfabb umożliwia oglądanie i edytowanie siatek, ale przede wszystkim oferuje znakomite narzędzia do analizy i naprawy plików STL. Aktualnie jest dostępny zarówno w wersji darmowej (Basic), jak i płatnej.

MeshLab

<http://meshlab.sourceforge.net>

MeshLab może służyć do edycji i naprawiania siatek, ale nauka posługiwania się nim nie należy do najłatwiejszych. Ma świetny filtr Poissona,

który doskonale wygładza powierzchnie skanów 3D, dostosowując je do wymogów druku przestrzennego. Program dobrze sprawdza się również jako przeglądarka siatek — bardzo łatwo można manipulować wyświetlanymi modelami.

Interfejsy drukarek

Interfejs drukarki to aplikacja, za pomocą której możemy sterować pracą urządzenia. Umożliwia wczytanie pliku STL, ustawienie modelu względem płaszczyzny roboczej, pocięcie go na warstwy i wygenerowanie zrozumiałych dla drukarki poleceń kodu G.

Cięcie modelu na warstwy i generowanie poleceń kodu G jest realizowane przez tzw. slicer, który jest zawsze dołączany do interfejsu drukarki, albo wręcz jest w niego wbudowany. Więcej informacji na temat slicerów znajdziesz w podrozdziale „Slicery”.

Repetier-Host

<http://repetier.com>

Repetier-Host wyróżnia się wśród interfejsów drukarkowych tym, że oferuje aż trzy rodzaje wizualizacji modelu — widok 3D STL, warstwowy przegląd poleceń kodu G i wyświetlany na bieżąco widok kolejnych warstw materiału układanych w trakcie drukowania. Domyślnym slicerem jest Slic3r, ale dostępny jest również Skeinforge.

Repetier-Host jest programem wieloplatformowym, ale wersja dla systemu Mac nie ma tylu funkcji, ile mają wersje dla systemów Windows i Linux (przynajmniej na razie).

Printrun/Pronterface

<http://reprap.org/wiki/printrun>

Printrun jest zestawem narzędzi, dla których interfejsem jest Pronterface. Program nie ma takich możliwości wizualizacyjnych jak Repetier-Host. Do cięcia modelu na plasterki służy Slic3r. Poza interfejsem graficznym Printrun oferuje także tryb wiersza poleceń do sterowania drukowaniem.

MakerWare

<http://makerbot.com/makerware>

MakerWare jest najnowszym interfejsem drukarki, jaki firma MakerBot opracowała dla produkowanych przez siebie urządzeń. Jest łatwy w użyciu, atrakcyjny i niezwykle intuicyjny. Mimo że nie należy do kategorii open source, dopuszcza możliwość korzystania ze slicera Skeinforge. Jest w stanie obsłużyć kilka plików STL jednocześnie, oferując przy tym opcję automatycznego układania modeli na stoliku drukarki. Profile obu wbudowanych slicerów (domyślny MakerBot Slicer i opcjonalny Skeinforge są dokładniej opisane w podrozdziale „Slicery”) można w pełni edytować.

Cura

<http://software.ultimaker.com>

Opensource’owa aplikacja o nazwie Cura została opracowana z myślą o drukarkach Ultimaker, ale potrafi także współpracować z innymi urządzeniami drukującymi w trzech wymiarach. Jak na aplikację opensource’ową jest niezwykle piękna i łatwa w obsłudze nawet dla początkującego użytkownika. Najnowsze wersje są już wyposażone w nowy, bardzo szybki silnik warstwujący CuraEngine (patrz podrozdział „Slicery”).

ReplicatorG

<http://replicator.org>

ReplicatorG jest programem opensource’owym. Pierwotnie był przeznaczony dla drukarek firmy MakerBot, ale można go używać także z innymi drukarkami typu RepRap. Obecnie jest stosowany coraz rzadziej, ponieważ wielu producentów drukarek stawia raczej na programy takie jak Printrun czy Repetier-Host.

Godnym uwagi przykładem ciągłej przydatności tego programu jest niewątpliwie *opensource’owy projekt Sailfish* (<http://www.thingiverse.com/thing:32084>), opracowany przez Jetty i Dana Newmana dla drukarek MakerBot.

Slicery

Aby wydrukować model, trzeba go najpierw „pociąć” na warstwy i wygenerować dla każdej z nich odpowiednią linię kodu G, która będzie zrozumiała dla drukarki. Właśnie tym zajmują się programy zwane slicerami. Często są one zintegrowane z interfejsami drukarek, ale występują też jako aplikacje samodzielne — na przykład Slic3r i KISSlicer.

Slic3r

<http://slic3r.org>

Slic3r jest popularnym, wieloplatformowym i szybkim slicerem typu open source. Pozwala użytkownikowi na zapisanie ustawień dla różnych drukarek i materiałów drukarskich, co znacznie ułatwia obsługiwanie kilku urządzeń.

KISSlicer

<http://kisslicer.com>

KISSlicer jest wieloplatformowym generatorem kodu G dla biurkowych drukarek 3D, które stają się coraz bardziej popularne. Jest dostępny w wersji darmowej (dla drukarek jednogłowicowych) i w wersji „dla zaawansowanych” (z obsługą wielu głowic, materiałów i obiektów).

CuraEngine

<http://software.ultimaker.com>

CuraEngine jest opensource’owym slicerem opracowanym specjalnie dla Ultimakera, ale można go używać także z innymi drukarkami 3D sterowanymi za pomocą poleceń kodu G. Jest programem solidnym, potężnym i niezwykle szybkim — na tyle szybkim, że na bieżąco uwzględnia wszystkie zmiany wprowadzane zarówno w jego ustawieniach, jak i w samym modelu (patrz punkt „Interfejsy drukarek”).

MakerBot Slicer

<http://www.makerbot.com/makerware>

Wcześniej znany jako Miracle Grue, teraz jest domyślnym slicerem interfejsu MakerWare. Jest szybki, dokładny i zapewni ładne wykończenie

wydruków. Więcej informacji o ustawianiu jego parametrów znajdziesz pod adresem <http://www.makerbot.com/support/makerware/documentation/slicer>.

Skeinforge

<http://reprap.org/wiki/Skeinforge>

Skeinforge od lat należy do ścisłej czołówki slicerów. Jest napisany w Pythonie i ma dużo zagadkowo nazwanych parametrów konfiguracyjnych. W działaniu nie jest zbyt szybki i z tego powodu traci swoją popularność. Mimo to nadal jest oferowany jako slicer opcjonalny w takich interfejsach drukarkowych jak MakerWare czy ReplicatorG.

Firma MakerBot opracowała niezłe „wprowadzenie do Skeinforge” — <http://www.makerbot.com/support/replicatorg/documentation/skeinforge>.

SFACT

<http://reprap.org/wiki/Sfact>

SFACT jest przyjazną dla użytkownika wersją slicera Skeinforge i zawiera mnóstwo udoskonaleń.

Banki modeli 3D

Modele darmowe

Thingiverse

<http://thingiverse.com>

Thingiverse to taki Wielki Bazar świata druku 3D, na którym wszyscy mogą wymieniać się modelami, plikami dla wycinarek laserowych i wzorami płytek drukowanych potrzebnych do realizacji rozmaitych projektów lub zbudowania drukarki.

Chociaż jest własnością firmy MakerBot, pozostaje ważnym miejscem składowania i rozpowszechniania plików dla wielu firm konkurencyjnych. Użytkownicy mają do wyboru całą gamę licencji typu Creative Commons, włącznie z opcją domeny publicznej.

My Mini Factory

<http://www.myminifactory.com>

Zawiera modele 3D zweryfikowane przez zespół My Mini Factory.

YouMagine

<https://www.youmagine.com>

Jest to witryna społeczności użytkowników Ultimakera i miejsce wymiany plików z drukowalnymi modelami 3D.

CubeHero

<https://cubehero.com>

Miejsce wymiany modeli 3D ze wskazaniem na modele drukowalne. Obecnie dostępne są podglądy modeli w trybie OpenSCAD. Stąd można pobrać niektóre części robota InMoov.

Blender 3D Model Repository

<http://blender-models.com>

Blender 3D Model Repository to następna witryna internetowa z darmowymi modelami 3D. Została założona z myślą o użytkownikach programu Blender 3D jako miejsce wymiany wiedzy, doświadczeń i plików. Obok modeli są tutaj również interesujące poradniki zamieszczone przez użytkowników Blendera.

Blend Swap

<http://www.blendswap.com>

Blend Swap to społeczność grafików 3D wymieniających się dokonania i budujących największą bibliotekę trójwymiarowych dzieł udostępnianych za darmo do użytku zarówno własnego, jak i komercyjnego.

GrabCAD

<http://grabcad.com>

GrabCAD jest otwartą platformą techniczną oferującą narzędzia, wiedzę i kontakty niezbędne do szybkiego tworzenia solidnych produktów.

Trimble 3D Warehouse

<http://www.sketchup.com/products/3D-warehouse>

3D ContentCentral

<http://www.3dcontentcentral.com>

Witryna Dassault Systèmes z dwu- i trójwymiarowymi modelami rozmaitych części mechanicznych oraz darmowymi usługami lokalizowania, konfigurowania i pobierania tych części.

McMaster-Carr

<http://www.mcmaster.com/help/drawingsandmodels.asp>

McMaster-Carr udostępnia darmowe pliki z rysunkami 2D i 3D większości sprzedawanych przez siebie produktów.

Modele płatne

TurboSquid

<http://turbosquid.com>

TurboSquid jest największą biblioteką modeli 3D, oferującą ponad 300 000 pozycji. Niestety, modele te nie są zoptymalizowane pod kątem druku.

3D Burrito

<http://3dburrito.com>

Serwis 3D Burrito oferuje tanie drukowalne modele 3D, tworzone przez takich projektantów jak Bathsheba (autor otwieracza w kształcie butelki Kleina) czy Kid Mechanico z firmy ModiBot.

3DLT

<http://3dlt.com>

W sklepie internetowym 3DLT można kupić pliki z przeznaczonymi do druku modelami zaprojektowanymi przez niezależnych fachowców i artystów. Zakupiony model można wydrukować samodzielnie, ale można też zlecić wykonanie takiej usługi firmie wybranej z listy firm współpracujących ze sklepem.

3docean

<http://3docean.net>

Sklep 3docean oferuje mnóstwo modeli 3D w umiarkowanych cenach, ale na ogół są to modele, które dopiero trzeba przystosować do druku.

Historia druku 3D

RepRap Family Tree

<http://makezine.com/go/repraptree>

Przedstawia rozwój drukarki RepRap i jej pochodnych.

Regulacje drukarki

Jeśli zaczniesz drukować samodzielnie, wcześniej czy później będziesz potrzebował pomocy, czy to w związku z próbą uzyskania czegoś niezwykłego, czy też z chęci poprawienia jakości swoich prac. W zależności od posiadanego modelu drukarki możesz szukać takiej pomocy na specjalistycznych forach organizowanych przez producenta albo w ogólnych serwisach społecznościowych, takich jak opisane poniżej.

RepRap.org

<http://reprap.org>

Obszerne źródło wiedzy na temat drukarek RepRap. Można tam znaleźć informacje o zasobach społecznościowych, forach i szczegółach konstrukcyjnych open-source'owej drukarki.

MakerBot Operators

<https://groups.google.com/forum/#!forum/makerbot>

Grupa dyskusyjna Google z najświeższymi informacjami o budowie i eksploatacji drukarki MakerBot.

Jetty Firmware

<http://www.thingiverse.com/thing:32084>
<https://groups.google.com/forum/#!forum/jetty-firmware>

W tych miejscach znajdziesz informacje o oprogramowaniu stworzonym przez Jetty i Dana Newmana dla drukarek MakerBot. Jest to unowocześniona, szybko rozwijająca się wersja oprogramowania napisanego przez MakerBot Industries.

Delta robot 3D printers

<https://groups.google.com/forum/#!forum/deltabot>

Grupa dyskusyjna Google z najświeższymi informacjami o budowie i eksploatacji drukarki typu deltabot.

Książki

Projektowanie i modelowanie dla druku 3D

Getting Started with MakerBot

Autorzy: Bre Pettis, Anna Kaziunas France i Jay Shergill (wydawnictwo Maker Media)

Wprowadza czytelnika w świat druku 3D, bazując na przykładzie popularnej drukarki MakerBot. Poza informacjami na temat obsługi i udoskonalania tego urządzenia zawiera też wskazówki, jak projektować, skanować i drukować własne prototypy. Z jej fragmentem możesz się zapoznać w rozdziale 6.

Design and Modeling for 3D Printing

Autor: Matthew Griffin (ma być wydana na początku 2014 roku przez wydawnictwo Maker Media)

Nie powinni jej przegapić przede wszystkim ci, którzy dopiero wkraczają w pasjonujący i szybko rozwijający się świat druku 3D. Znajdą w niej bowiem praktyczne opisy technik projektowania i modelowania obiektów przeznaczonych do druku, a wszystko ilustrowane konkretnymi przykładami i interesującymi wywiadami.

3D CAD with Autodesk 123D. Designing for 3D Printing, Laser Cutting, and Personal Fabrication

Autor: Jesse Harrington (ma być wydana na początku 2014 roku przez wydawnictwo Maker Media)

Książka ta uczy, jak projektować obiekty, aby spełniały wymogi drukarek 3D lub wycinarek laserowych. Autor demonstruje opisywane techniki na przykładzie darmowych i łatwych do opanowania aplikacji z pakietu Autodesk 123D. Pokazuje projektowanie obiektów od podstaw, modyfikowanie modeli istniejących, a także tworzenie ich na podstawie skanów obiektów rzeczywistych.

Drukowanie 3D i ruch makerów

The Book on 3D Printing

Autorzy: Isaac Budmen i Anthony Rotolo (wydawnictwo CreateSpace)

Artysta projektant Isaac Budmen wraz profesorem Anthony Rotolo, specjalistą w dziedzinie technologii cyfrowych, napisali książkę będącą przystępnym wprowadzeniem do druku 3D. Omówili w niej budowę i działanie drukarki 3D, materiały drukarskie i programy do modelowania obiektów.

Practical 3D Printers — The Science and Art. of 3D Printing

Autor: Brian Evans (wydawnictwo Apress)

Doświadczony eksperymentator Brian Evans sprawdza różne drukarki 3D, ich oprogramowanie i elektronikę odpowiedzialną za ich działanie. Z książki można się dowiedzieć, jak należy drukarkę skalibrować i jak za jej pomocą wyprodukować rzeczywisty obiekt.

Makers. The New Industrial Revolution

Autor: Chris Anderson (wydawnictwo Random House)

Autor wielu bestsellerowych książek i był re-daktor czasopisma „Wired”, Chris Anderson, omawia opensource’owe programy i urządzenia

służące do drukowania przestrzennego, prowadząc czytelnika na pierwszą linię frontu rewolucji przemysłowej.

Fabricated. The New World of 3D Printing

Autorzy: Hod Lipson i Melba Kurman (wydawnictwo Wiley)

Autorzy tej książki skłaniają czytelnika do szukania odpowiedzi na pytanie, czy technologia druku 3D zmieni nasze życie. A robią to, prezentując wyniki wielu badań i przeprowadzając wywiady ze specjalistami z różnych gałęzi przemysłu.

3D Printing. The Next Industrial Revolution

Autor: Christopher Barnatt (wydawnictwo CreateSpace)

Jest to przegląd współczesnych technologii druku 3D i ich wpływu na nasze życie zaprezentowany przez znanego wizjonera Christophera Barnatta.

Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development (do pobrania za darmo)

Autorzy: Enrique Ganessa, Carlo Fonda i Marco Zennaro

Książkę tę można pobrać za darmo ze strony <http://sdu.ictp.it/3D/book.html>, a jest ona przeglądem najnowszych badań nad drukiem 3D.

Białe księgi

Darmowe białe księgi dotyczące praw autorskich i druku 3D są udostępniane przez wykonujący świetną pracę serwis Public Knowledge, którego misją jest „utrzymywanie otwartości internetu i powszechności dostępu do wiedzy, a także promowanie kreatywności przez zrównoważone prawa autorskie”.

What’s the Deal with Copyright and 3D Printing?

Autor: Michael Weinberg (Public Knowledge)

[http://www.publicknowledge.org/files/What’s the Deal with Copyright_Final version2.pdf](http://www.publicknowledge.org/files/What’s_the_Deal_with_Copyright_Final_version2.pdf)

It Will Be Awesome if They Don't Screw It Up. 3D Printing, Intellectual Property, and the Fight over the Next Great Disruptive Technology

Autor: Michael Weinberg (Public Knowledge)

<http://www.publicknowledge.org/files/docs/3DPrintingPaperPublicKnowledge.pdf>

Nowości w dziedzinie druku 3D

The 3D Printing Industry

<http://3dprintingindustry.com>

Jest to doskonałe źródło ogólnej wiedzy na temat druku 3D.

3Ders.org

<http://3Ders.org>

Codziennie świeże wiadomości z branży druku 3D.

MAKE

<http://Makezine.com/3Dprinting>

Najnowsze wiadomości z branży druku 3D, testy i opisy projektów.

Miejsca istniejące fizycznie Dostęp do urządzeń i szkolenia

Makerspace Directory

<http://makerspace.com/makerspace-directory>

Makerspace.com tworzy ogólnosiwiatowy spis makerspace'ów i wspiera rozwój społeczności makerów na całym świecie.

Hackerspaces

http://hackerspaces.org/wiki/List_of_Hacker_Spaces

Hackerspace'y na ogół dysponują drukarkami 3D, więc warto poszukać w okolicy takiego miejsca i spróbować samemu coś wydrukować.

Fab Labs

<http://www.fabfoundation.org/fab-labs>

<http://fab.cba.mit.edu/about/labs>

Fab Labs to wydział edukacyjny CBA (Center for Bits and Atoms) działającego przy MIT. Głównym przedmiotem zainteresowań Fab Labs są cyfrowe techniki wytwarzania i komputeryzacja. Fab Labs to najczęściej niezależne makerspace'y korzystające ze wspólnego zestawu cyfrowych narzędzi wytwórczych, w tym drukarek 3D.

TechShop

<http://techshop.org>

TechShop jest społecznościowym warsztatem, w którym za miesięczną lub roczną opłatę można wypożyczyć nie tylko drukarkę 3D, lecz także inne narzędzia. Warsztaty takie działają już w stanach Kalifornia, Michigan, Teksas, Pensylwania i Nowy Jork.

The 3D Printer Experience

<http://www.the3dprinterexperience.com>

Serwis The 3D Printer Experience oferuje wykłady i szkolenia w zakresie modelowania, skanowania i drukowania. Realizuje też zlecenia druku 3D.

316 North Clark St., Chicago, IL 60654

Sklepy stacjonarne

Sprzęt potrzebny do druku 3D jest dostępny także w sklepach stacjonarnych, których kilka można znaleźć na terenie Stanów Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii. Jeśli zdarzy Ci się być w pobliżu któregoś z nich, nie omieszkaj zajrzeć!

Deezmaker

<http://deezmaker.com>

290 North Hill Ave. #5, Pasadena, CA 91106

GetPrinting3D Retail Store

<http://www.getprinting3d.com>

820 Davis St. Suite 111, Evanston, IL 60201

HoneyBee3D

<http://honeybee3d.com>

Montclair Village 6127 La Salle Avenue, Oakland,
CA 94611

iGo3D

<https://www.igo3d.com>

Centrum miasta Oldenburg, Niemcy

iMakr

<http://www.imakr.com>

79 Clerkenwell Road, Farringdon, London EC1R
5AR

MakerBot Retail Store

<http://makerbot.com/retail-store>

298 Mulberry St., New York, NY 10012

Microcenter

<http://www.microcenter.com>

W różnych miejscach; oferują drukarki 3D i ma-
teriały drukarskie.

The 3D Printing Store

<http://the3dprintingstore.com>

4603 Monaco St., Denver, CO 80216

The Color Company

<http://www.color.co.uk>

27a Poland Street, London W1F 8QW

The UPS Store

<http://www.theupsstore.com/small-business-solutions/Pages/3D-printing.aspx>

Od 31 lipca 2013 roku sieć UPS Store testuje wewnątrzsklepowe usługi druku 3D w wybranych placówkach w San Diego (Kalifornia), Washington DC, Frisco (Teksas), Menlo Park (Kalifornia) i Lisle (Illinois).

Drukarki, filamenty i części zamienne

<http://makezine.com/go/suppliers>

Jest to szczegółowy wykaz sprzedawców filamentu, z ich adresami, parametrami oferowanych materiałów, opisami, uwagami i cenami.

Maker Shed

<http://makershed.com>

Tu można kupić wszystko, co jest związane z drukiem 3D, od drukarek, przez filamenty, po książki.

Maker Geeks

<http://www.makergeeks.com>

W Maker Geeks można kupić całą gamę filamentów z tworzywa PET, drewna, nylonu, PVA, materiałów przewodzących, kamiennopodobnych, HIPS, elastycznego PLA i bezpiecznego dla żywności, nie licząc standardowych tworzyw ABS i PLA. Poza tym można też nabyć drukarkę i poprosić o doradztwo w sprawach związanych z drukowaniem, a szczególnie z doбором temperatur dla kupowanych filamentów.

Forum Futura

<http://www.forumfutura.com>

Forum Futura sprzedaje filamenty z elastycznego PLA, HIPS, nylonu, drewna, piaskowca, ABS i zwykłego PLA.

Filaco

<https://www.filaco.com>

Filaco oferuje filamenty z tworzyw HIPS, PLA i ABS.

Taulman 3D

<http://www.taulman3d.com>

Taulman 3D wytwarza i sprzedaje kilka rodzajów filamentów z bardzo mocnego nylonu i tworzywa PET.

UltiMachine

<http://ultimachine.com>

Elektronika RAMPS, filamenty PLA i ABS.

Faberdashery

<http://faberdashery.co.uk>

Filament PLA w różnych kolorach i na metry.

Lulzbot

<https://www.lulzbot.com>

ABS, PLA, HIPS, Laywoo-D3 (drewno), Taulman Nylon i poliwęglan.

DiamondAge

<http://diamondage.co.nz>

DiamondAge sprzedaje filamenty PLA w rzadko spotykanych kolorach (na przykład w szmaragdowym i szafirowym) i oczywiście ABS.

Printbl

<http://printbl.com>

Printbl jest autoryzowanym dystrybutorem filamentów DiamondAge PLA. Poza tym sprzedaje PLA wysokoudarowe (HIPLA) i zmodyfikowane (IMPLA).

MatterHackers

<https://www.matterhackers.com>

Filamenty ABS, PLA, drewno i materiał kamienopodobny.

Amazon

<http://www.amazon.com>

Amazon.com ma w ofercie dość szeroki asortyment towarów związanych z drukiem 3D, włącznie z drukarkami, filamentami i książkami o tej tematyce.

Inventables

<https://www.inventables.com>

Inventables, sklep ze sprzętem dla projektantów, sprzedaje drukarki 3D i kolorowe filamenty z tworzyw PLA i ABS, a także z drewna i piaskowca.

ProtoParadigm

<http://protoparadigm.com>

PLA i ABS w kolorach standardowych, niezwykłych i fluorescencyjnych.

QU-BD

<http://quintessentialuniversalbuildingdevice.com>

Sprzedaje wyciskarki, podgrzewane stoliki, różnokolorowe filamenty, a także całe drukarki 3D i frezarki CNC.

Deezmaker

<http://deezmaker.com/store>

W sklepie można się zaopatrzyć w mechanizmy napędowe drukarek, kółka pasowe, dysze do głowic Budaschnozzle, a także drukarki marki Deezmaker.

MakerBot

<http://www.makerbot.com>

Sprzedaje drukarki oraz filamenty PLA i ABS produkowane przez firmę MakerBot.

Konferencje

3D Printshow (Londyn, Paryż, Nowy Jork)

<http://3dprintshow.com>

Inside 3D Printing (Nowy Jork, Chicago, San Jose, Singapur)

<http://www.mediabistro.com/inside3dprinting>

Skorowidz

123D Catch, 63–67, 86
123D Design, 193
3D Burrito, 197
3D ContentCentral, 197
3D Factory, 109
3D Hubs, 109
3DLT, 197
3docean, 198
3dPhacktory, 110
3DTin, 194

A

ABS, 11, 94, 132
aceton, 134
Afinia H-Series, 18

B

Baldwin Joaquin, 150
banki modeli 3D, 196–198
bezpośrednie
 drukowanie z metalu, 99
 stapianie metalu laserem, 99
Bitonti Francis, 158
Blend Swap, 197
Blender 3D Model Repository, 197
Boynton Chris, 157
budowa drukarki 3D, 7–11
budowa własnej frezarki CNC, 176–179
Bukobot 8, 19
Burtonwood Tom, 155

C

CAD, 5, 31–34, 193, 194
CAM, 34, 35
ceramika, 97
chłodzenie w Slic3r, 53, 54
chmura punktów, 61
Continuum Fashion, 150
Cube, 20
CubeHero, 197
Cubify Invent, 194
Cubify Sculpt, 194
Cura, 195
CuraEngine, 196

D

DARwin-OP, 165–171
Digital Grotesque, 159
Dillenburger Benjamin, 159
DMLS, 99
drukarki 3D, 3–13
drukowanie 3D, informacje ogólne, 6, 7
drukowanie
 form do odlewania czekoladek, 181–190
 humanoida, 165–171
 skrzynki formierskiej, 183
 w zakładach usługowych, 103–105

F

Fab Labs, 200
farbowanie wydruków, 113–116

FDM, *Patrz* MPD
Felix 1.0, 21
FFF, *Patrz* MPD
filament, 11, 93–95
fixup, 6
Fontenault Adam, 157
fotografowanie, 64–66
fotopolimery, 98
fotopolimeryzacja, 3
Freakin' Sweet Knots, 151
FreeCAD, 194
frezarka CNC, 175, 176
frezowanie, 175–179

G

gorąca końcówka, 10
GrabCAD, 197

H

Hackerspaces, 200
Hansmeyer Michael, 159
HDPE, 95
HIPS, 94

I

i.materialise, 108
impregnacja, 116
InMoov, 156
interfejsy drukarek, 195

K

Kayser Markus, 163
Kinect, 62
KISSlicer, 196
klejenie i uzupełnianie ubytków za pomocą masy
 ABS, 133, 134
kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy,
 94, 132
Kraftwurx, 108
książka harmonijkowa, 155
Kulodrom, 157

L

Lalish Emmett, 157
Langevin Gael, 156
LAYBRICK, 94
LAYWOO-D3, 94

M

Mack Kevin, 162
MakerBot Slicer, 196
MakerGear M2, 22
Makerlele, 156
MakerSlide, 179
Makerspace Directory, 200
MakerWare, 195
makexyz, 109
masa ABS, 133, 134
materiały do druku 3D, 93–99
McMaster-Carr, 197
MeshLab, 71, 75–77, 194
MeshMixer, 71, 78–83, 88, 89, 194
metale, 99
modelowanie w Tinkecard, 37–43
ModiBot, 150
MPD, 3
My Mini Factory, 197
MyEasy3D, 108

N

napawanie tarciove, 119
naprawianie
 siatek, 75–83
 skanów, 72–84
Nervous System, 149, 157
netfabb, 70–75, 83, 194
nitowanie, 125–129
 wykonywanie nitów i zawiasów z filamentu,
 129–133
nylon, 94, 116

O

obróbka postprodukcyjna, 117–136
obrzeża w Slic3r, 47, 48
obwódka w Slic3r, 50

odchylenie progowe, 51
OpenBeam, 179
OpenBuilds, 179
OpenSCAD, 194
oprogramowanie
 do druku 3D, 5, 6, 31–36
 do skanowania 3D, 63–70
 klienckie, 35, 36
Organovo, 153
osadzanie roztopionych polimerów, 3
Othermill, 178

P

parametry
 filamentu w Slic3r, 52–54
 retrakcji w Slic3r, 56, 57
PC, 95
PCL, 95
PET, 95
PLA, 11, 93, 123–125, 132,
 plasterkowanie, *Patrz* slicing
Plater w Slic3r, 57, 58
Pleasant3D, 72
pliki STL, 5
płyta robocza w Slic3r, 57, 58
podgląd wnętrza modelu w Tinkercard, 42
podpory, 50, 51
poli(alkohol winylu), 95
poli(tereftalan etylenu), 95
polietylen o dużej gęstości, 95
polikaprolakton, 95
polilaktyd, 93, 123–125, 132,
 polistyren wysokoudarowy, 94
poliwęglan, 95
Polychemy, 151
Ponoko, 108
porządkowanie, 6
postarzanie wydruków, 137–140
Printchomp, 109
Printrbot Jr. (v1), 23
Printrun/Pronterface, 195
profile w Slic3r, 46
programy
 CAD, 5, 31–34, 193, 194
 do druku 3D, 5, 6, 31–36
 do modelowania bryłowego, 31, 32
 do modelowania obiektów 3D, 5, 31–34, 193,
 194
 do modelowania parametrycznego, 32
 do modelowania siatkowego, 33
 do naprawiania siatek, 194, 195
 do poprawiania skanów przeznaczonych do
 druku 3D, 70–72
 do skanowania 3D, 63–70
 rzeźbiarskie, 32
Protos Eyewear, 151
prototypy plastikowe, 4
przestrzeń
 negatywna, 37
 pozytywna, 37
PVA, 11, 95

R

ReconstructMe, 67–70
RedEye, 109
regulacja drukarki, 198
Repetier-Host, 195
Replicator 2, 24
ReplicatorG, 195
robot Delta, 9
Rosenburgh Brent J., 156
ruchomy stolik, 8

S

Schmidt Michael, 158
Sculpteo, 108
Sculptris, 194
selektywne spiekanie laserowe, 98
Series 1, 26
SFACT, 196
Shapeoko, 178
Shapeways, 107
siatka, 62
skanowanie 3D, 61–84
Skeinforge, 196
skeining, 34
SLA, 98
Slic3r, 45–58, 196

- slicer, 6, 34, 35, 196
- slicing, 6, 34
- SLS, 98
- Solar Sinter, 163
- Solid-Ideas, 110
- Solidoodle 2, 25
- spawanie tarciove, 119–129
- Staples, 108
- stereolitografia, 98
- sterowanie drukarką, 35, 36
- STL, 5
- stolik, 9
- Suknia Dity, 158
- suwnica, 8
- system
 - pozycjonowania, 7–9
 - przesuwu liniowego, 178, 179
- szlifowanie wydruków, 134–136
- szybkość w Slic3r, 49, 50

T

- technologia proszkowa, 97
- Thingiverse, 6, 196
- Tinkercad, 37, 193
- Tofty, 149
- Trimble 3D Warehouse, 197
- Trimble SketchUp, 194
- TurboSquid, 197

U

- Ultimaker, 27
- usługodawcy, 107–110
- ustawienia
 - drukarki w Slic3r, 55–57
 - druku w Slic3r, 47–52

W

- warstwy, 6
- Wenman Cosmo, 156
- wiązanie materiałów granulowanych, 3
- wizualizator kodu G, 35
- własny kod G w Slic3r, 55
- wybór drukarki 3D, 3–5
 - wybrane modele, 18–27
- wyciskarka, 10
 - w Slic3r, 56
- wypełnienie w Slic3r, 48, 49
- wytwarzanie
 - addytywne, 3, 85
 - subtraktywne, 175

X

- Xtion, 62

Y

- YouMagine, 197

Z

- zakładka Plater w Slic3r, 57, 58
- zasoby powiązane z drukiem 3D, 193–202
- zastosowanie druku 3D
 - w gospodarstwie domowym, 145–148
 - w medycynie, 152–155
 - wydruki artystyczne, 155–159
- Zoellner Michael, 158
- ZoomRP.com, 109

O redaktorze książki

Anna Kaziunas France jest redaktorem w Maker Media, specjalizuje się w problematyce wytwórstwa cyfrowego. Jest również dziekanem ds. studenckich w Fab Academy i współautorką książki *Getting Started with MakerBot*. Wcześniej prowadziła kurs szybkiego prototypowania „Jak wyprodukować prawie wszystko” w ramach Providence Fab Academy. Więcej informacji na jej temat znajdziesz na *jej stronie internetowej* (<http://kaziunas.com>), a spora część jej projektów jest dostępna w serwisie *Thingiverse* (<http://thingiverse.com/akaziuna>).

PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION

- 
- The image features four hands, one from each corner, holding four puzzle pieces. Three pieces are olive green, and one is red. The hands are positioned as if they are about to assemble the pieces into a square. The background is plain white.
- 1. ZAREJESTRUJ SIĘ**
 - 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI**
 - 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ**

Zmień swoją stronę WWW
w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA WYDAWNICZA

 **Helion SA**