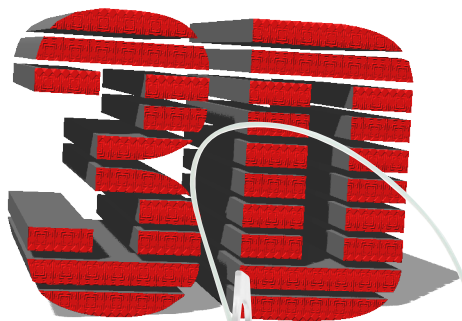


# PRAKTYCZNY KURS DRUKU



To wielki dzień dla redakcji MT i wielu polskich szkół. Podejmujemy się misji szczególnie ważnej dla pomyślnego rozwoju Polski.

To wielkie słowa, ale uprawnione. W wielu krajach wprowadza się do szkół zajęcia z wykorzystaniem drukarek 3D, co fantastycznie rozwija kreatywność, a tylko kreatywni ludzie mogą tworzyć innowacyjną gospodarkę, bez której Polska nie nadaży za światową czołówką. Oczywiście, również u nas są już szkoły prowadzące zajęcia z użyciem drukarek 3D, ale chcemy żeby ich było znacznie więcej. Możemy w tym pomóc.

Żeby szkoła mogła uczestniczyć w naszym kursie, potrzebuje:

1. nauczyciela chętnego do prowadzenia zajęć praktycznych z uczniami;
2. drukarki 3D;
3. materiałów;
4. programu kursu;
5. dobrego, doświadczonego instruktora;
6. zapewnienia stałych konsultacji ze specjalistami.

Punkt pierwszy zależy od szkoły, natomiast redakcja MT bierze na siebie wprowadzenie w życie pozostałych pięciu!

Wybraliśmy najbardziej odpowiedni dla kursu szkolnego typ drukarki. Zostanie ona dostarczona do szkół w postaci zestawu do samodzielnego zmontowania, a nasz kurs rozpoczyna się właśnie od opisu jej montażu i uruchomienia. Podstawowe informacje o modelu urządzenia podajemy w **ramce 1**. Zapewniamy też zaopatrzenie w materiały do ćwiczeń praktycznych i części zamienne.

Drukarka kosztuje 3 tys. zł. Skąd wziąć pieniądze? Podobna inicjatywa wyposażania szkół brytyjskich w drukarki 3D opiera się na finansowaniu z crowdfundingu (polecamy artykuł z „New Scientist”, na stronie <http://goo.gl/lzZvYe>). Również i my podpowiadamy szkołom

wykorzystanie tego sposobu (przydatne informacje na temat crowdfundingu zebraliśmy w **ramce 2**).

Wstępny **zarys programu** Praktycznego Kursu Druku 3D przedstawiamy w **ramce 3**. Jego autorem jest Pan **Jarosław Kita**, **doświadczony instruktor**, który już od sześciu lat krzewi technologię druku 3D wśród dzieci i młodzieży na terenie Legionowa i okolic, m.in. w ramach cyklicznych zajęć w szkołach z zakresu tego rodzaju druku i projektowania. Na co dzień prowadzi Legionowskie Koło LegRobot, w którym drukarka 3D stanowi jedno z narzędzi projektowych i wykonawczych. W trakcie przerabiania kursu mogą pojawić się problemy, w których potrzebne będą **konsultacje**. Będziecie więc mogli liczyć na pomoc konsultacyjną naszych specjalistów – telefoniczną, pisemną lub nawet na umówionych spotkaniach.

**Drodzy uczniowie.** To od Was zależy, czy wkroczycie w fascynujący świat technologii druku 3D. Przekażcie swoim nauczycielom informację o naszym Praktycznym Kursie Druku 3D. Zараńcie ich swoim zapałem do projektowania i wytwarzania przedmiotów według Waszych projektów. Dołączcie do tych szkół, które już wkroczą w świat technologii XXI wieku.

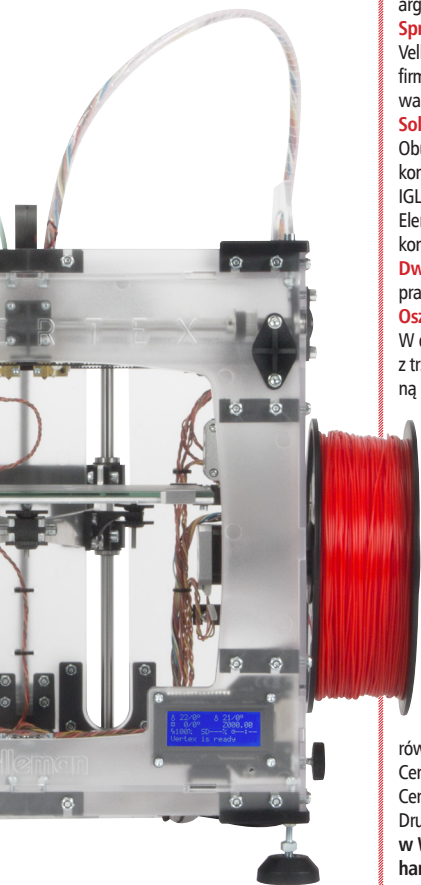
I jeszcze jedno. Im więcej szkół przystąpi do zajęć w naszym kursie, tym większa będzie **moc** tego przedsięwzięcia. A z tej mocy mogą się urodzić różne ciekawe inicjatywy (np. konkursy z nagrodami, konferencje itp.). Dlatego postarajcie się użyć Waszych osobistych kontaktów (np. w mediach społecznościowych) do jak najszerszego rozpropagowania wiedzy o naszym kursie. Zaczynamy już w tym numerze, ale dołączyć do Praktycznego Kursu Druku 3D będzie można w dowolnym momencie w przyszłości, bo wszystkie lekcje udostępniemy na [www.mt.com.pl](http://www.mt.com.pl). ■

Redakcja MT

## Ramka 2. CROWDFUNDING

Serwisy crowdfundingowe, czyli po prostu wsparcia finansowego, są praktycznie zawsze bardzo przejrzyste i nie oferują rozległej funkcjonalności. Wszystko po to, by zainteresowani mieli jak najbardziej bezpośredni dostęp do niezbędnych informacji. Tyczy to zarówno osób, które chcą zaproponować zbiórkę pieniędzy na dany cel, jak i tych, którzy chcą pomóc w jego realizacji poprzez darowizny. Redakcja MT ze swej strony ma dla darczyńców roczną darmową prenumeratę wydań elektronicznych MT (e-prenumeratę), żeby mogli śledzić na bieżąco PRAKTYCZNY KURS DRUKU 3D.

Typowa strona główna portalu prowadzącego zbiórki przedstawia w czytelnym miejscu możliwość rejestracji konta, dzięki któremu możliwe jest rozpoczęcie projektu wsparcia. Proces ten ogranicza się zazwyczaj do podania podstawowych informacji o sobie – adresu e-mail i numeru konta bankowego. Tak niewiele wystarczy, by móc gromadzić środki na realizację założonego celu. Samo działanie zaczyna się od opisania projektu, określenia ilości potrzebnych na jego realizację środków oraz poinformowania,



## Ramka 1. Drukarka 3D

Do realizacji naszego kursu wybraliśmy drukarkę 3D VERTEX K8400. Zdecydowały o tym następujące argumenty:

**Sprawdzony producent** – a więc gwarancja jakości produktu.

Velleman nv to światowy lider w produkcji elektronicznych zestawów do samodzielnego montażu. Belgijska firma prowadzi działalność od ponad sześciu lat i ma własny dział badawczo-rozwojowy, zapewniający innowacyjność oraz najwyższą jakość konstruowanych produktów.

**Solidna konstrukcja drukarki i bezpieczeństwo użytkownika**, szczególnie ważne na zajęciach lekcyjnych. Obudowa zrobiona jest z poliwęglanu. Dodatkowo producent zastosował wykonane na zamówienie elementy konstrukcyjne z ABS, wzmocnione włóknem szklanym, oraz bezobsługowe łożyska z tworzywa sztucznego IGLIDUR (R).

Elementy grzejne umieszczono wewnątrz obudowy, tuż nad powierzchnią drukowania, a przed przypadkowym kontaktem z nimi chroni użytkownika funkcja automatycznego ładowania i usuwania filamentu.

**Dwukolorowe wydruki** – opcjonalnie drukarkę można wyposażyć w drugi ekstruder i dyszę umożliwiającą pracę w dwóch kolorach lub z zastosowaniem rozpuszczalnego materiału podporowego.

**Oszczędność energii** – szybsza gotowość do działania i możliwość pracy bez podłączenia do komputera.

W drukarce VERTEX „tradycyjny” podgrzewany stolik zastąpiono platformą wykonaną z aluminiowej ramy z trzema punktami poziomowania, zdejmowaną 4-milimetrową płytą z hartowanego szkła oraz wymiennalną naklejką ze specjalnego tworzywa BuildTak (TM), zwiększającego przyczepność wydruków. Dzięki temu

drukarka osiąga gotowość do pracy w ok. 3 minuty, nie zużywając energii na podgrzanie i utrzymanie temperatury stołu roboczego.

Wbudowany sterownik z wyświetlaczem LCD umożliwił sterowanie wszystkimi funkcjami drukarki oraz drukowanie plików STL prosto z karty SD, bez konieczności podłączenia do komputera.

Zestaw drukarki 3D VERTEX K8400 można zamówić w sklepie [www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl).

**Uwaga 1.** Praktyczny Kurs Druku 3D, prowadzony na łamach „Młodego Technika”, bazuje wyłącznie na drukarce VERTEX K8400.

**Uwaga 2.** Serwis materiałowy, opiekę techniczną i pomoc konsultacyjną zapewniamy tylko dla drukarek VERTEX K8400 kupionych poprzez [www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl).

Urządzenie dostarczane jest w postaci tzw. kitu, czyli zestawu do samodzielnego montażu, co dodatkowo pozwala na poznanie „od podszewki” konstrukcji tego rodzaju urządzeń i szybsze zrozumienie istoty druku 3D.

Drukarka sprzedawana jest w dwóch wariantach: z jedną głowicą drukującą oraz z głowicą dodatkową, która pozwala na drukowanie obiektów w dwóch kolorach. Do drukarki z jedną głowicą dodajemy również książkę „Świat druku 3D”.

Cena brutto z jedną głowicą drukującą: 2949 zł (kod handlowy K8400).

Cena brutto z dwoma głowicami: 3400 zł (kod handlowy K8400 + K840).

Drukarkę (kit do samodzielnego zmontowania) kupić można bezpośrednio w sklepie przy **ul. Leszczyńskiej 11 w Warszawie**, a także wysyłkowo poprzez sklep internetowy [www.sklep.avt.pl](http://www.sklep.avt.pl) lub mailowo, pod adresem handlowy@avt.pl.

W sklepie zakupicie Państwo również materiały eksploatacyjne, potrzebne do drukowania, oraz literaturę tematyczną.

Wszelkich informacji na temat zakupu udzielamy pod numerem telefonu **22 257 84 50**.

co wspierający otrzymają za swój wkład w realizację pomysłu. Może to być sam produkt, na który zbieramy środki, ale również podziękowania, prezenty czy rozmaitego rodzaju usługi.

W przypadku zbierania przez określoną szkołę środków na zakup drukarki 3D, można np. zaofiarować darczyńcom zrealizowanie ich unikalnych pomysłów projektowych na tej właśnie drukarce – gdy już zostanie zakupiona.

Informować o zbiorce można własnymi kanałami informacyjnymi, ale i sam serwis czynnie włącza się w promowanie wydarzenia. Co istotne, gdy nie uda się zebrać odpowiednich funduszy na realizację projektu, wspierający otrzymują z powrotem wpłacone środki (zwrotu dokonuje sam portal, nie zaś zbierający!), co sprowadza dla nich do zera ryzyko inwestowania w ideę czy też produkt, które nie zostaną sfinalizowane. Zbierający sam określa czas trwania zbiórki. Zazwyczaj wynosi on od kilku tygodni do kilku miesięcy.

**Więcej informacji o crowdfundingu:**

<http://crowdfunding.pl>

**Przykładowe polskie serwisy crowdfundingowe:**

<http://wspieram.to>

<http://polakpotrafi.pl>

<http://wspolnyprojekt.pl>

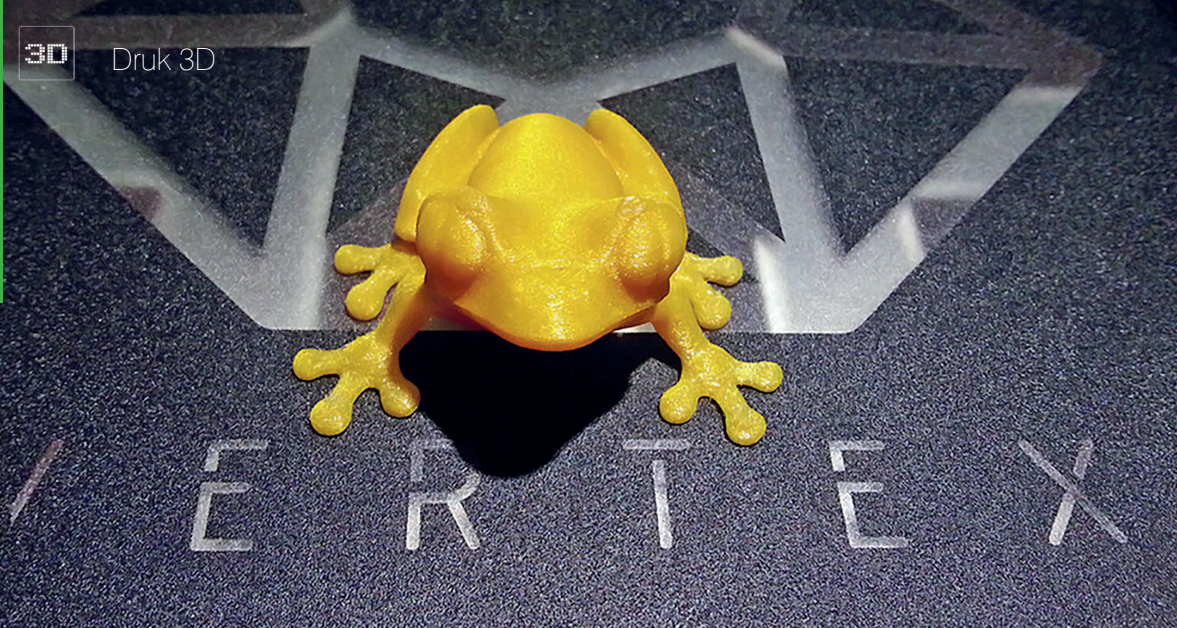
<http://zrzutka.pl>

## Ramka 3. Cele i program kursu

Hasło „Druk 3D” brzmi dość tajemniczo, ale samodzielne projektowanie i drukowanie przestrzenne jest osiągalne dla każdego – a już na pewno z naszym kursem! Po zapoznaniu się z całym cyklem warsztatów, każdy czytelnik będzie umiał samodzielnie obsługiwać drukarkę 3D, zaprojektować model, skonfigurować opcje wydruku oraz bez żadnej pomocy dokonać samego wydruku. Wszystko to wymaga oczywiście nabycia specyficznej wiedzy, ale z całą pewnością aby móc drukować w 3D, nie trzeba być informatykiem.

W początkowych częściach kursu dokładnie zapoznamy uczestników z działaniem drukarki, jej obsługą, przygotowaniem podstawowych trójwymiarowych projektów oraz ich wydrukowaniem. To oznacza, że już po przerobieniu pierwszych lekcji każdy będzie potrafił samodzielnie wydrukować prosty projekt! Następne dwie lekcje będą poświęcone optymalizacji i konfiguracji wydruku przestrzennego pod kątem szybkości i jakości. Zostanie także przedstawione drukowanie z użyciem podpór oraz łączenie zmiennych ustawień w ramach pojedynczego wydruku. Kolejne dwie lekcje wprowadzą czytelnika w świat projektowania z użyciem programu typu CAD, co pozwoli poznać podstawy samodzielnego projektowania 3D oraz generowania projektów do formatu zgodnego z drukiem przestrzennym. Na koniec kursu czytelnik zapozna się z technikami obróbki gotowych wydruków, pozna metody wygładzania i polerowania, klejenia, malowania a nawet galvanizacji – taka obróbka otworzy wiele nowych możliwości wykorzystania drukarki 3D.

W dodatku, począwszy od lekcji trzeciej pojawi się opcja zrealizowania wybranego, gotowego projektu, czyli wykonania użytecznego przedmiotu – jednocześnie będą to więc zajęcia praktyczne. Źródła tych projektów oraz pliki do wydruku udostępniemy na stronie [www.mt.com.pl](http://www.mt.com.pl). Jako pierwszy pojawi się model świecącej świeczki LED, a później stopniowo będą przedstawiane bardziej zaawansowane projekty, w tym również pomoce naukowe.



Drukowanie 3D jeszcze do niedawna było pojęciem z dziedziny science fiction, niczym wytwarzanie na zwołanie przedmiotów w filmie „Star Trek”. Dziś drukarkę może mieć prawie każdy, bez względu na to, czy ją zakupi gotową do pracy, czy może zbuduje sam. Technologia druku przestrzennego zaczyna wkraczać do prawie każdej dziedziny życia, a sposób jego wykorzystania w coraz większym stopniu zaczyna ograniczać jedynie wyobraźnia użytkowników. Jesienią ubiegłego roku drukarkę 3D posłano nawet w kosmos. Jeśli jednak wydaje się nam, że to bardzo nowoczesna technologia, nic bardziej mylnego. Ale po kolei.

# Praktyczny Kurs Druku 3D. Lekcja 1

## Jak zacząć?

Czym jest drukowanie przestrzenne (z ang. *3D printing*)? Od lat większość procesów technologicznych jest oparta o obróbkę rozmaitych materiałów w celu uzyskania gotowego elementu. Ma ona na celu pozbycie się nadmiaru materiału, generując w efekcie kłopotliwe odpady. W druku przestrzennym odwrotnie – od razu wytwarza się końcowy model, bez gromadzenia niemal żadnych zbędnych odpadów. To proces, w wyniku którego otrzymuje się fizyczne, trójwymiarowe przedmioty, w procesie nakładania kolejnych warstw materiału w miejscach ścianek, odwzorowując wcześniej przygotowany wirtualny, komputerowy model. Drukarki 3D przeznaczone do zastosowań domowych najczęściej układają cienkie warstwy roztopionego plastiku. Na rynku istnieje

wiele technik druku oraz cała gama materiałów, z których powstają wydruki.

### Historia drukarki 3D

Za datę narodzin technologii druku 3D należy uznać rok 1984, kiedy to **Charles Hull opisał proces powstawania wydruku przestrzennego**. Dwa lata później opatentował go, pod nazwą **stereolitografia (SLA)**. W tym samym roku założył firmę 3D Systems, która zajęła się komercyjną produkcją pierwszych drukarek 3D – firma istnieje i buduje drukarki po dzień dzisiejszy.

Jako ciekawostkę warto przypomnieć, co było przedmiotem pierwszego wydruku 3D. Podobno chodziło o... kubek podarowany żonie. Celem

stworzenia technologii było jednak **skrócenie czasu przygotowania prototypów** różnych nowych elementów, który w owym czasie wynosił ok. 6 tygodni. Po wprowadzeniu druku przestrzennego okres ten zmalał do kilkunastu godzin. W tamtych czasach był to prawdziwy przełom.

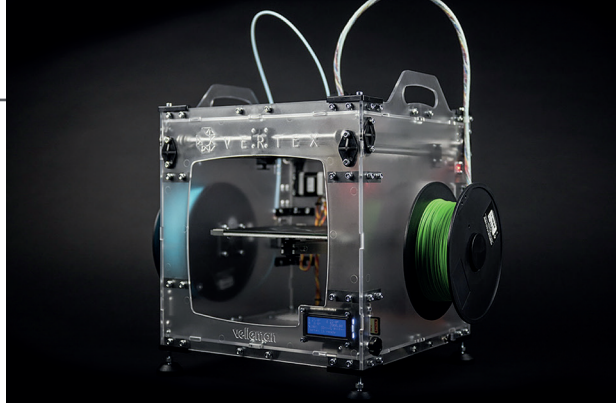
W kolejnych latach opracowano kolejne technologie druku 3D. **Scott Crump**, który założył firmę Stratasys, zaprezentował metodę **FDM, czyli osadzanie topionego materiału**. W tym samym okresie patent na technologię zwaną **SLS** (selektywne spiekanie laserowe) zgłosił z kolei **Dr. Carl Deckard**. Technika ta jest o wiele dokładniejsza od FDM, daje też większe możliwości – niestety, do dziś z racji ceny pozostaje praktycznie niedostępna dla przeciętnych użytkowników.

Prawdziwy przełom rozpoczął się jednak dopiero w 2006 r., gdy **Adrian Bowyer** w ramach projektu RepRap zbudował **pierwszy prototyp domowej drukarki 3D FDM**. Było to możliwe, ponieważ wygasły patenty na druk w technologii FDM. Urządzenie Bowyera z założenia miało być sprzętem domowym i służyć do budowy... kolejnych drukarek. Tak – głównym celem projektu RepRap było **zbudowanie urządzenia, które miało się samo powielać**. Nie udało się to w 100%, jednak projekt przyczynił się do popularyzacji druku przestrzennego. Został udostępniony jako otwarty i posłużył przyszłym konstruktorom do tworzenia kolejnych modeli domowych drukarek.

## Po co nam drukarka 3D?

To pytanie, które zadaje sobie każdy przyszły „drukacz przestrzenny”. Odpowiedzi jest wiele. Przede wszystkim **możliwość drukowania przestrzennego daje użytkownikowi poczucie wolności, szansę realizacji marzeń i pomysłów bez konieczności posiadania wyspecjalizowanej linii technologicznej, tworzenia form i stosowania wtryskarki do plastiku**. Nie można też zapomnieć o **personalizacji produktu** oraz **tworzeniu bardzo wyrafinowanych kształtów**, praktycznie niemożliwych do realizacji przy pomocy wtryskarek. Warto wspomnieć o **oszczędności materiału**. Na wydruk zużywa się bowiem dokładnie tyle plastiku, ile jest niezbędne do odwzorowania kształtu, co ma znaczenie szczególnie przy produkcjach niskoseryjnych, poniżej 500 szt.

Zakup i posiadanie drukarki 3D w domu zmienia też postrzeganie wielu kwestii. Przykładem może być urwana gałka od szuflady w pokoju córki. Zakup zamiennika bywa wtedy utrudniony, bo powstaje on w ramach specjalnej serii, przeznaczonej tylko dla producenta mebli. Tymczasem przy wykorzystaniu technologii druku 3D wystarczy kwadrans na utworzenie wirtualnego modelu, następnie ok. pół godziny na wydruk, a później jeszcze tylko montaż i problem rozwiązany! Inny przykład – pojawia się potrzeba zamocowania kabli, a uchwyty do montażu są wprawdzie dostępne, ale w nieodpowiednim kolorze i niepasującym nam kształcie. Zamiast więc



## Dane techniczne drukarki K8400

**Liczba głowic w standardzie:** 1 (możliwość dokupienia i montażu drugiej)

**Technologia wydruku:** FFF (Fused Filament Fabrication)

**Rozdzielczość wydruku:**

standardowa – 0,1 mm,  
maksymalna – 0,2 mm,  
minimalna – 0,05 mm.

**Maksymalny rozmiar drukowanego obiektu:**

180×200×190 mm (7"×7,8"×7,5")

**Prędkość wydruku:** 30-120 mm/s

**Prędkość wydruku:** 30-300 mm/s

**Powierzchnia stołu:** zdejmowana nakładka BuildTak

(wymierna, traktowana jako część eksploatacyjna)

**Srednica obsługiwanego filamentu:** 1,75 mm

**Srednica otworu montażowego dla szpuli filamentu:**

53 mm

**Materiały do drukowania:** PLA, ABS

**Srednica dysz:** 0,35 mm

**Odległość między dyszami dla dwóch głowic:**

23,7 mm

**Maksymalna temperatura pracy każdej z dysz:** 270°C

**Oprogramowanie:**

firmware: zmodyfikowany Open Source Marlin 3D Printer (otwarty)

software: Repetier, CuraEngine, Slic3r

**Komunikacja:** USB 2.0 lub karta SD

**Płytką sterującą:** AVR ATmega2560 – obsługuje podwójną głowicę i podgrzewany stół

**Wyświetlacz LCD:** 4×20, niebieski z białym podświetleniem

**Zasilanie:** 100-240 VAC, 50-60 Hz, maks. 150 W

**Wymiary:** 360×380×395 mm (bez szpul z filamentem)

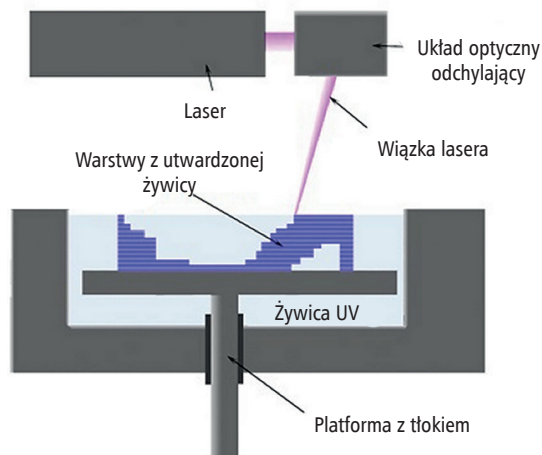
**Rama:** płyty poliwęglanowe (plexi)

poświęcić kilkanaście godzin na wycieczki po sklepach lub poszukiwanie w Internecie, wystarczy utworzyć model, wydrukować i zamocować. Takie historie można mnożyć. W dodatku pamiętajmy, że **większość ludzi ma potrzebę tworzenia**, a druk przestrzenny pozwala na jego realizację. Oczywiście nie jest to technologia idealna. Ma szereg ograniczeń, chociażby dotyczących możliwych do stosowania materiałów oraz wielkości i czasu wydruku, jednak przy odpowiednim podejściu można je w dużym stopniu zniwelować.

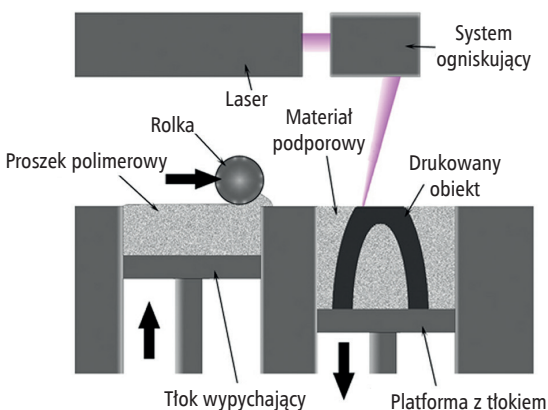
## Dzisiejsze technologie

Na rynku znajduje się cała gama rozwiązań. Niektóre z nich, z racji ceny urządzeń i materiałów eksploatacyjnych, są dostępne jedynie dla dużych przedsiębiorstw. Można jednak zaobserwować projekty mające na celu obniżenie kosztów tych metod, by dały się stosować przez szersze grono użytkowników. Dużo wody w Wiśle upłyne, nim te drukarki będą dostępne dla każdego, jednak warto wiedzieć już dziś, jakie technologie druku 3D są obecne na rynku.

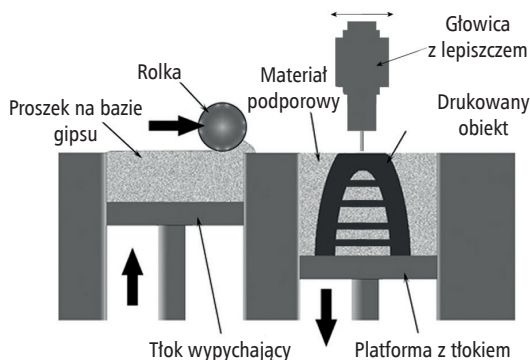
- **SLA.** Zaczynając od początku, należy przyrzeć się pionierskiej w latach 80. ubiegłego wieku technologii „stereolitografii”, często przedstawianej skrótem SLA. Bazuje ona na wytwarzaniu modeli 3D przy użyciu wiązki UV (ultrafioletu, promieniowania elektromagnetycznego o długości fali od 10 do 400 nm, wchodzącego w skład światła), która naświetlając ciekły materiał fotopolimerowy (specjalna żywica twardniejąca pod wpływem promieni UV) tworzy poszczególne warstwy drukowanego obiektu. Wydruki są dokładne i precyzyjne, jednak wymagają używania sporej ilości podpór wzmocniających. Obecnie powstają nowe modele drukarek SLA, wykorzystujące projektor do naświetlania całych warstw jednocześnie, co przyspiesza proces drukowania. Niestety, ta technologia ma sporo wad, głównie wynikających z właściwości materiału fotopolimerowego i jego bardzo wysokiej ceny. Żywica jest toksyczna, więc wydruk musi przejść cały szereg kąpeli, zanim możliwe staje się dotknięcie go bez rękawic ochronnych.
- **SLS.** *Selective Laser Sintering*, czyli selektywne spiekanie laserowe, polega na tworzeniu modeli 3D z warstw sproszkowanego materiału polimerycznego zespalanego przy użyciu lasera. Typowa drukarka oprócz komory roboczej ma tu komorę z sykiem materiałem, który po utwardzeniu warstwy jest наносzony i ponownie utwardzany (spiekany) laserem. Wszystkie puste przestrzenie w projekcie są wypełniane sykiem materiałem, usuwanym po zakończeniu drukowania. Takie zawieszenie przedmiotu w proszku niweluje problemy występujące w innych metodach – w tym SLA i FDM (patrz: niżej), w których elementy tworzonych przedmiotów nie mogą wisieć w powietrzu i wymagają podpór dla ich drukowania.
- **DMP.** *Direct Metal Printing* to metoda podobna do SLS, z tą istotną różnicą, że polimer jest zastępowany sproszkowanym metalem. Poprzez spiekanie drobnego proszku za pomocą wiązki laserowej warstwa po warstwie, można uzyskać przedmioty z litego metalu.
- **CJP.** *ColorJet Printing* polega na tworzeniu modeli poprzez selektywne zespalanie materiału proszkowego za pomocą strumieniowo dozowanej cieczy zespalającej. Zaletami tej technologii są: krótki czas budowy przedmiotów (2-4 cm wysokości/godz.) oraz możliwość druku



1. Proces wydruku w technologii SLA

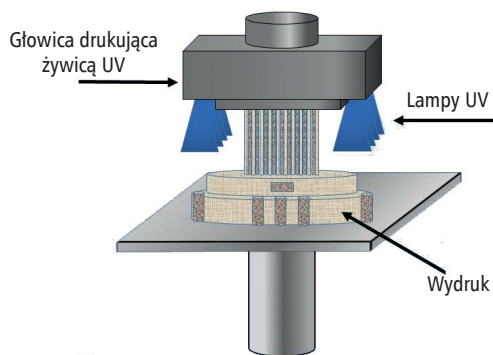


2. Proces wydruku w technologii SLS

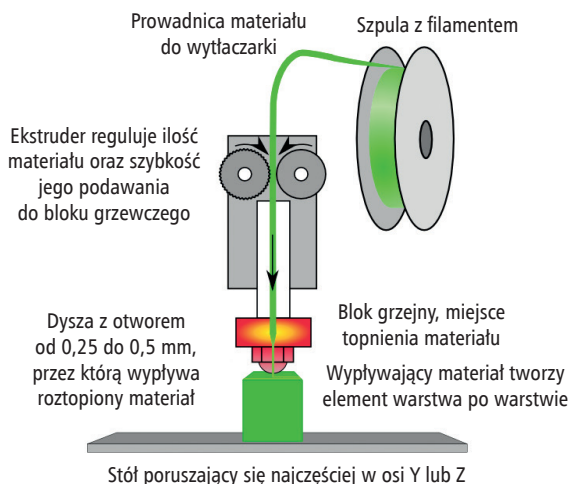


3. Proces wydruku w technologii CJP

egzemplarzy wielobarwnych. Przedmiot tworzy się warstwowo, poprzez zespalanie materiału proszkowego, za pomocą specjalnego, kolorowego lepiszczka. Elementem dozującym ciecz jest głowica drukująca, przypominająca budowę standardową głowicę drukarek atramentowych. Proces nakładania i zespalania poszczególnych warstw powtarza się do momentu ukończenia budowy całego modelu.

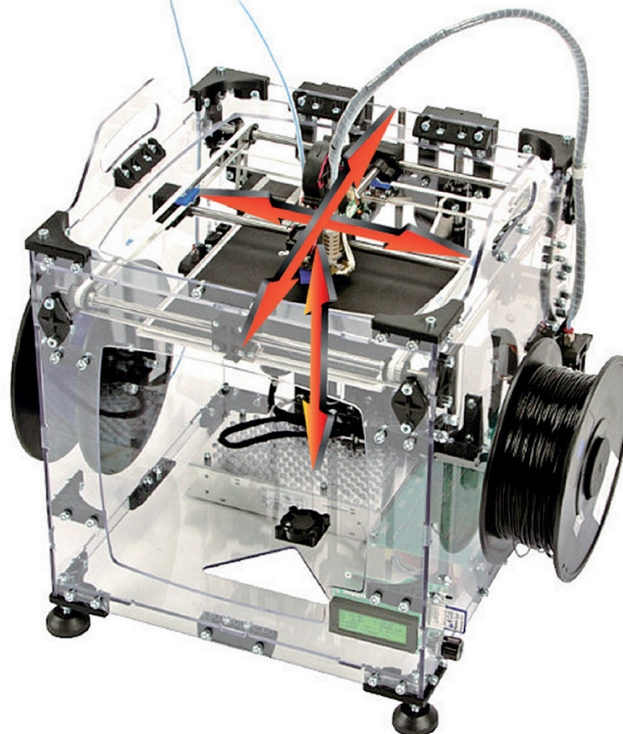


#### 4. Proces wydruku w technologii MJM



#### 5. Proces wydruku w technologii FDM (FFF)

- **MJM.** *MultiJet Modeling* polega na budowie modelu metodą przyrostową. Materiał fotoutwardzalny jest podawany przez specjalną głowicę na tacę roboczą, a następnie automatycznie utwardzany za pomocą lampy UV. Każda warstwa materiału jest precyzyjnie dozowana przez dysze drukujące. Urządzenie dla elementów zawieszonych w przestrzeni buduje woskowe podpory, które są automatycznie wytapiane po zakończeniu procesu druku. Głównymi zaletami tej technologii są: najwyższa precyzja odwzorowania detali oraz wyjątkowo gładka powierzchnia tworzonych przedmiotów, okupiona co prawda długim czasem drukowania i wysoką ceną.
- **FDM.** *Fused Deposition Modeling* (lub **FFF** – *Fused Filament Fabrication*), czyli warstwowe osadzanie stopionego materiału. Metoda polega na modelowaniu ciekłym materiałem termoplastycznym, najczęściej tworzywem sztucznym. Materiał jest наносzony przez dyszę rozgrzaną do temperatury topnienia używanego materiału. Praca dyszy (w tym jej przemieszczanie się w osiach X/Y/Z oraz kontrola nad ilością



#### 6. Praca w trzech osiach

wypływającego materiału) sterowana jest instrukcjami zapisanymi w pliku \*.STL a następnie \*.gcode. Technologia FDM wykorzystuje całą gamę materiałów różniących się wytrzymałością i temperaturą topnienia. Typowa drukarka FDM korzysta z masy plastycznej (filamentu) w postaci cienkiego drutu o średnicy 3 mm lub 1,75 mm, roztopianego w dyszy i „wypływającego” jako cienki pasek o szerokości odpowiadającej średnicy dyszy oraz grubości odpowiadającej mniej więcej szerokości szczeliny pomiędzy dyszą a stołem lub warstwą wydruku. Zaletą tej technologii jest możliwość uzyskania gotowego modelu bez dodatkowych prac wykańczających.

Na dzień dzisiejszy **FDM pozostaje najtańszą technologią**, dlatego rozwija się ona najszybciej i ma dużą szansę trafić pod „strzechy”. Koszt drukarki powoli staje się akceptowalny dla średniozamożnego „Kowalskiego” (dość bogato wyposażony model w zestawie do montażu można nabyć już za ok. 3 tys. zł.), za typowy materiał PLA zapłacimy ok. 120 zł/kg, za materiały specjalnego przeznaczenia ok. 180 zł/0,5 kg, zaś oprogramowanie do użytku domowego jest najczęściej darmowe.

#### Czas podrukować?

Znając już historię w pigułce oraz wiedząc co nieco o technologii druku 3D, czas chyba rozpocząć tę przygodę i dołączyć do grona osób potrafiących korzystać z tych wspaniałych urządzeń. Do omówienia całokształtu działań – począwszy od utworzenia projektu po wydrukowanie modelu – wybrałem drukarkę VELLEMAN K8400.

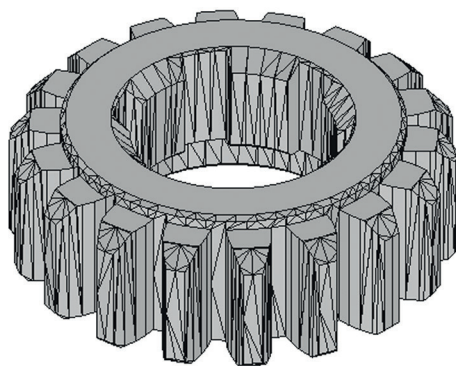
Jest to drukarka przestrzenna do samodzielniego montażu, produkcji firmy Velleman, następcą modelu K8200. Pozwala na wydruk przedmiotów o maksymalnych wymiarach  $180 \times 200 \times 190$  mm. Można w niej zainstalować dwa ekstrudery i dwie głowice drukujące, co pozwala na pracę z użyciem dwóch różnych materiałów – PLA jako głównego i PVA jako podporowego. Po zakończeniu procesu przedmiot wystarczy wrzucić do wody, a zastosowane w druku podpory same znikną. W obudowie przewidziano uchwyty na szpule z filamentem o średnicy nominalnej 53 mm. W standardzie drukarka ma wyświetlacz i gniazdo od obsługi kart SD, co umożliwia drukowanie zarówno z komputera – z użyciem dostarczanego oprogramowania, jak i bez podłączenia do komputera. Cały *firmware* urządzenia oparto o zmodyfikowany open-source'owy program Marlin, z dopuszczeniem jego modyfikacji i rozbudowy przez użytkownika. Drukarka może być sterowana z dostarczonego oprogramowania, jak również popularnych programów Repetier, CuraEngine czy Slic3r (kompatybilny z RepRap).

## Niezbędne trzy kroki

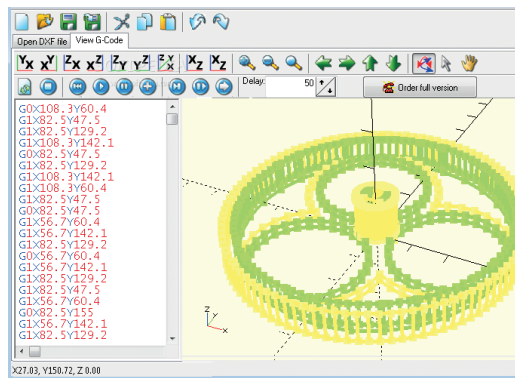
Jak wiadomo z matematyki, każdy punkt w przestrzeni jest wyrażony trzema zmiennymi: X, Y i Z. Patrząc na drukarkę z przodu, należy przyjąć, że ruchy głowicy w prawo lub w lewo odpowiadają osi X, ruchy do przodu lub do tyłu odpowiadają osi Y, natomiast ruch stołu poprzez jego podnoszenie lub opuszczanie – osi Z. W druku 3D istnieje jeszcze dodatkowy „wymiar”, jest nim moment podawania oraz ilość podawanego filamentu.

Powyższe dane są potrzebne podczas generowania plików gcode, czyli szczegółowych instrukcji dla drukarki, wskazujących położenie głowicy oraz sposób podawania filamentu. Sposoby tworzenia plików oraz ich możliwości parametryzacji zostaną omówione w opisie przeznaczonego dla drukarki oprogramowania.

**Od pomysłu do wydruku wystarczy wykonać trzy kroki.** Krok pierwszy to **utworzenie wirtualnego modelu** przedmiotu, często nazywanego źródłem. Do jego realizacji niezbędne jest specjalne oprogramowanie, nazywane **edytorem graficznym**, pozwalającym projektować strukturę przestrzenną – w kolejnych odsłonach naszego kursu poznamy przykłady takich programów oraz podstawy ich używania. Na szczęście edytor graficzny to nie jedyny sposób tworzenia wirtualnych modeli trójwymiarowych przedmiotów. Są jeszcze dostępne **trójwymiarowe skanery**. Ich praca polega na analizie kształtu obiektu fizycznego, a następnie odwzorowaniu go w postaci opisu matematycznego, co w rezultacie pozwala de facto na „kserowanie 3D”. Budowa amatorskiego skanera 3D jest w zasięgu każdego posiadacza drukarki 3D – wystarczy przeglądać kolejne części tego cyklu. Na pewno pojawią się w nim opis budowy i używania drukarek



## 7. Przykładowy plik STL



## 8. Generowanie pliku GCODE

3D oraz opis konfiguracji i wykorzystania oprogramowania do skanowania trójwymiarowego.

Kolejnym krokiem jest **zamiana projektu wirtualnego modelu na format, który można wykorzystać w drukarce**. Jest nim \*.STL, opisany i ustanowiony w 1984 przez wspomnianego Charlesa Hulla. Plik ten charakteryzuje się tekstowym opisem trójwymiarowego przedmiotu w postaci siatki wielokątów.

W większości programów typu CAD istnieje możliwość eksportu projektu do formatu STL. Niektóre programy potrafią je także importować, co pozwala na drobne zmiany i modyfikacje w modelu bez potrzeby posiadania źródłowego pliku projektu. Praktycznie każda drukarka potrafi wydrukować niemal dowolny element, mieszczący się w jej przestrzeni roboczej. Wymaga to jednak odpowiedniego przetworzenia i przygotowania modelu.

Ostatni krok polega na **konwersji pliku \*.STL na plik \*.gcode**, będący zestawem prostych instrukcji zrozumiałych przez konkretny model drukarki. Dokładniej mówiąc, program typu *licer* (dosłownie tłumacząc: kralajnica) tnie model na warstwy o zadanej grubości, ustala optymalne ruchy głowicy drukującej oraz momenty wypływania roztopionego materiału. Powstały w ten sposób plik można zapisać na karcie SD, a następnie, po włożeniu do gniazda w drukarce, uruchomić proces wydruku. W przypadku korzystania

z drukarki K8400 proces ten jest mocno uproszczony, co zobaczymy w następnych odcinkach.

W Internecie można znaleźć wiele płatnych i darmowych, bardziej lub mniej rozbudowanych, programów do tworzenia, edycji i weryfikacji modeli. Na pewno kilka z nich zostanie opisane na łamach „Młodego Technika”.

Sam proces drukowania w drukarce odbywa się w pełni automatycznie, niemniej warto coś o nim wiedzieć. Uruchomienie procesu druku 3D ze wskazanego pliku gcode powoduje nagrzanie głowicy i stołu, ustawienie szczeliny pomiędzy dyszą a stołem, równej grubości warstwy wydruku. Następnie głowica jest poruszana za pomocą silników krokowych, sterowanych przez mikroprocesor zgodnie z zaprogramowanymi instrukcjami. W odpowiednich momentach płyny, rozgrzany plastik jest wypychany przez dyszę na stół, gdzie w pokojowej temperaturze błyskawicznie twardnieje. Gdy warstwa zostaje ukończona, dysza podnosi się o grubość kolejnej warstwy i cały proces ulega powtórzeniu, a ponieważ wypływający plastik jest bardzo gorący, scala się z poprzednimi warstwami, tworząc całość.

Drukowanie 3D jest oczywiście procesem długotrwałym, szczególnie jeśli porówna się go z czasem niezbędnym do wydrukowania zdjęcia na kartce papieru przez zwykłą drukarkę.

Po zakończeniu drukowania **przedmiot można od razu używać** lub poddać dalszej obróbce. W razie potrzeby da się go jeszcze dodatkowo modyfikować,

usuwając zbędne warstwy lub fragmenty, wiercić w nim otwory, malować, kleić, a także wygładzać ścianki wydruku. Metod jest wiele, postaram się większość z nich przedstawić.

## Futurystyczne wizje coraz bliżej

Na zakończenie pierwszego odcinka kilka słów o przyszłości. Już sama możliwość wytwarzania nie tylko prototypów, ale i skończonych projektów rozpała wyobraźnię wielu osób. Niektórzy roztaczają śmiało wizje odnoszące się do najbliższej dekady, porównując wynalazek druku 3D do wynalezienia koła! Czy ich autorzy mają rację? Zapewne trochę tak. Przecież czy czterdzieści lat temu projektanci kolorowych telewizorów mogli przewidzieć miniaturyzację tych urządzeń do wielkości paczki zapalek? Już teraz można zaobserwować nerwowe ruchy producentów w niektórych branżach, zmuszonych do udostępniania możliwości personalizacji swoich produktów. Przewiduję, że w najbliższej przyszłości będą oni wręcz przygotowywać do sprzedaży sam szkielet urządzenia wraz z podstawowymi elementami, natomiast obudowy oraz inne wymienne elementy staną się dostępne na stronie internetowej, w postaci projektów. Klient sam dobierze kolor, wygląd oraz wyposażenie, a następnie ściągnie odpowiedni projekt, wydrukuje go i zmontuje urządzenie.

To mocno futurystyczna wizja, ale czy nierealna? ■

*Jarosław Kita*

## MICROSOFT TEŻ WSPIERA 3D

Jeśli druk 3D propaguje już sam Microsoft w programie operacyjnym Windows, to znak, że technologia ta nieodwołalnie schodzi z „Olimpu” na ziemię, do zwykłych użytkowników. We wprowadzonej właśnie na rynek najnowszej wersji Windowsa – „dziesiątce” – pojawiła się aplikacja 3D Builder. Dzięki niej istnieje możliwość tworzenia modeli w trzech wymiarach, po czym możemy dzieło wysłać do urządzenia 3D, podłączonego bezpośrednio do komputera, lub zamówić wydruk modelu za pośrednictwem usługi Cubify. A wszystko to szybko, łatwo, sprawnie.

