

Artykuł pochodzi z publikacji: Zeszyty Naukowe WSP nr 3/2017 Technologie. Procesy. Bezpieczeństwo. (Red. tomu) M. Chrzęścik, Wyższa Szkoła Promocji, Mediów i Show Businessu, Warszawa 2018

Wybrane aspekty technologii druku 3D

Patryk Szyndler

Wydział Humanistyczny

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Abstrakt:

Poniższy artykuł został poświęcony problemowi bezpieczeństwa związanego z pojawieniem się technologii druku 3D i jej wykorzystaniem. Na początku zostały opisane najpopularniejsze metody tworzenia modeli przestrzennych wraz z materiałami, jakie są zazwyczaj w nich używane. Artykuł ten jest wstępem do rozprawy doktorskiej, w której zostanie rozwinięty i poszerzony o dodatkowe zagadnienia związane z drukiem przestrzennym.

Słowa kluczowe: Druk 3D, Bezpieczeństwo, FDM

Abstract - Selected aspects of 3D print technology

The following article discusses the security issue associated with the advent of 3D printing and its use. In the beginning, I described the most common methods for creating spatial models, along with the materials that are usually used in them. This article is an introduction to a doctoral thesis in which it will be expanded and extended to additional issues related to spatial printing.

Key words: 3D Printing, Security, FDM

WSTĘP

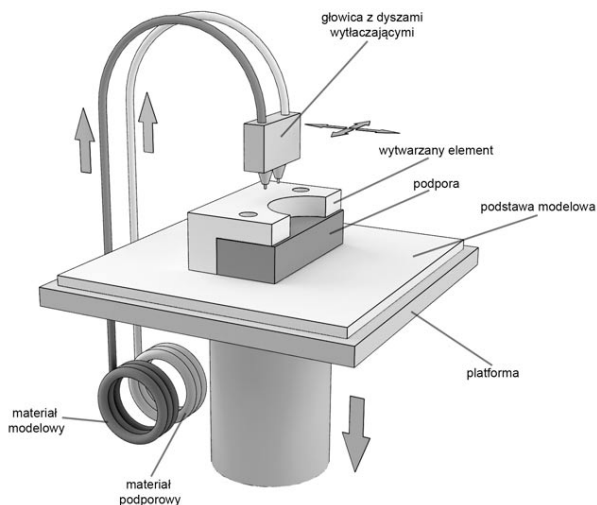
Postęp technologiczny sprawia, iż coraz większa liczba osób staje się posiadaczem drukarki 3D. Większość z nich kupuje zazwyczaj najtańsze zestawy przeznaczone do samodzielnego montażu będące zazwyczaj kopią Prusy i3. Pomimo słabej jakości części, z których składają się te drukarki i dodatkowo niedokładnego złożenia całości, potrafią one po odpowiednim dopracowaniu mechaniki i samego oprogramowania drukarki tworzyć projekty bardzo dobrej jakości jak na swoją półkę cenową. Za ich pomocą użytkownicy mogą stworzyć małe i niewinne projekty figurek różnych postaci z filmów lub gier, a także bardziej zagrażające szeroko pojętemu bezpieczeństwu przedmioty takie jak na przykład kopie kluczy do mieszkań, skimmery czy też broń palną. Użyteczność tych przedmiotów zależy od tego, w jakim celu zostały stworzone, a także z jakich materiałów i w jakiej technologii zostały one stworzone. Innym niebezpieczeństwem związanym z drukiem 3D jest powstawanie groźnych dla zdrowia oparów podczas procesu wytwarzania modeli w drukarkach FDM z materiałów takich jak nylon.

Rodzaje technologii druku 3D

Obecnie dostępnych jest wiele rodzajów druku przestrzennego, które różnią się od siebie w znaczący sposób, pozwalając na stosowanie w różnych dziedzinach. Rodzaje druku 3D są zazwyczaj dzielone ze względu na sposób, w jaki są nakładane poszczególne warstwy materiału, ale można je dzielić także pod względem: dokładności tworzonych elementów, szybkości budowy modeli, materiałów wykorzystanych w procesie konstrukcji. Do najpopularniejszych obecnie metod druku 3D można zaliczyć:

1. FDM – Fused Deposition Modeling, polegający na wyciskaniu rozgrzanego do odpowiedniej temperatury termoplastycznego materiału przez dyszę. Poniższy rysunek przedstawia ogólny zarys pracy drukarki tego typu.

Rys. 1. Działanie drukarki w technologii FDM

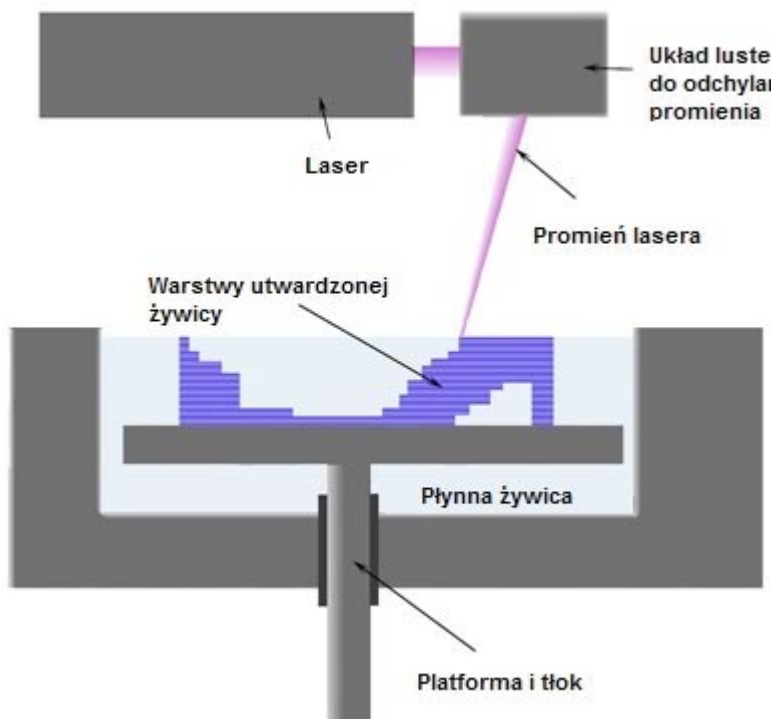


Źródło: Świat druku 3D. <http://swiatdruku3d.pl/fdm-fused-deposition-modeling/>, 20.06.2018r.

Jest to obecnie jedna z najpopularniejszych i najtańszych technik drukowania wykorzystywanych w domowych warunkach. Jakość wydruków niestety w przypadku najtańszych maszyn jest bardzo zróżnicowana i zależy w bardzo dużym stopniu od dopracowania urządzenia i umiejętności osoby, która się nią posługuje. W przypadku droższych drukarek jakość wydruków jest bardziej powtarzalna jednak nadal najwyższa jakość wymaga od użytkownika pewnych bardziej zaawansowanych umiejętności takich jak na przykład dopasowanie temperatury i prędkości wydruku do obecnie używanego materiału czy też dostosowania samej maszyny do pracy z nowymi materiałami poprzez zamontowanie podgrzewanego stołu, na którym powstają projekty (W. Kempton).

2. SLA – Stereolitografia, jest to technologia, w której wydruki są dokładniej wykonane od tych stworzonych w FDM jednak cena jest również dużo wyższa. Technika ta polega na naświetlaniu fotoutwardzalnej żywicy wlewanej do pojemnika promieniami lasera w odpowiednich miejscach, po wykonaniu pełnego obrysu jednej warstwy stół na którym jest wykonywany model zostaje opuszczany o jedną warstwę, procedura ta jest powtarzana do otrzymania pełnego modelu. Poniższy rysunek przedstawia w ogólny sposób pracę takiej drukarki.

Rys. 2. Działanie drukarki w technologii SLA



Źródło: 3D Phoenix. <https://3dphoenix.pl/technologia/>, 20.06.2018r.

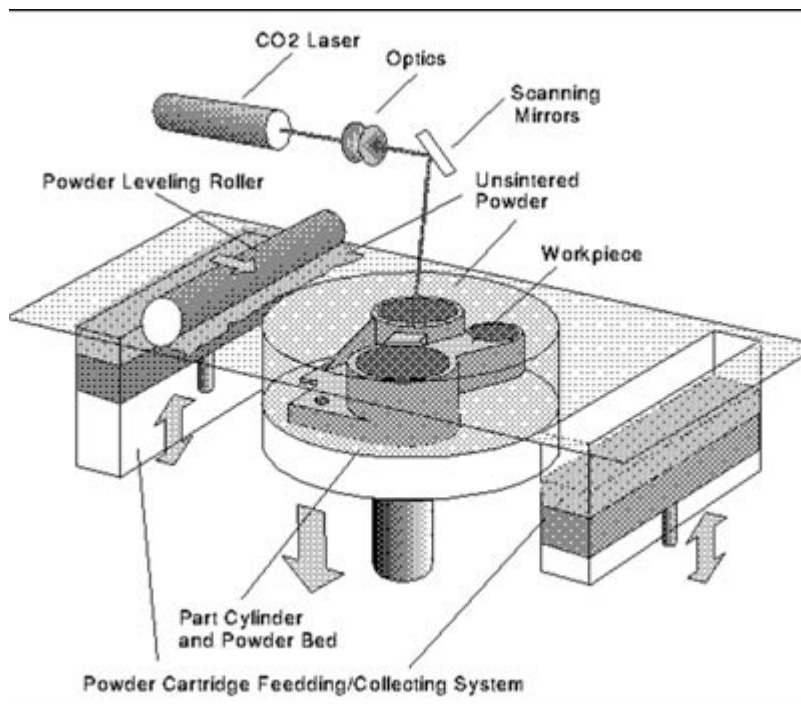
3. DLP – Digital Light Processing jest metodą bardzo podobną do SLA z tym iż różni się ona wykorzystaniem do utwardzania żywicy światła emitowanego przez projektor DLP lub wyświetlacz LCD będący tańszą alternatywą powodującą niestety także spadek jakości wydruków. Do wad tej metody należy zaliczyć występujący skurcz materiału przy tworzeniu dużych obiektów.

4. Polyjet/MJP polega na natrykiwaniu przez głowicę przesuwającą się nad stołem roboczym światło utwardzalnej żywicy, która jest równocześnie naświetlana przez promienie UV, po każdej warstwie stół jest opuszczany o wysokość kolejnej (www.3dwpraktyce.pl 01.04.2018).

5. SLS – Selective Laser Sintering, laserowe utwardzenie wybranych punktów w kolejno nakładanych warstwach materiału. Jest to jedna z technologii, w których nie jest wymagany dodatkowy materiał

podporowy i/lub struktury wspierające wydruk. Dokładność wydruku w tym przypadku wynosi około 0,05mm. Dzięki wygaśnięciu w 2016 roku patentu można zauważyć wzrost popularności drukarek tego typu i spadku cena na wydruki, jakie są przez nie wykonywane w zajmujących się tym firmami. Poniższy rysunek przedstawia działanie urządzenia SLS.

Rys. 3. Działanie drukarki w technologii SLS.



A schematic drawing of an SLS process.

Źródło: 3D Phoenix. <https://3dphoenix.pl/technologie/>, 20.06.2018r.

6. SLM/DMLS to technologia druku ze sproszkowanych metali, działająca na zasadzie podobnej do SLS, ale różniąc się tym iż wymaga ona drukowania podpór łączących modele ze stołem.

Materiały używane w druku 3D

W procesie druku 3D używane są obecnie różne materiały zależnie od technologii, w jakiej pracuje dana drukarka i do jakich materiałów została ona przystosowana. Najpopularniejszymi materiałami są obecnie:

1. ABS i jego różne odmiany posiadające różne dodatki mające na celu polepszenie jego określonych właściwości. Jako tworzywo jest on szeroko wykorzystywany w różnych branżach przemysłu, zaczynając od produkcji zabawek takich jak klocki Lego, a kończąc na produkcji części do wnętrz samochodów. Ze względu na swoją odporność na działanie żrących środków chemicznych, dużą twardość i łatwość w obróbce gotowego wydruku jest jednym z częściej wykorzystywanych materiałów w druku 3D. Jedną z wad jest wymaganie utrzymania stałej temperatury podczas wydruku nie tylko w głowicy drukującej, ale także dla całego modelu, który jest tworzony, ponieważ w przypadku zmian temperatury materiał może się kurczyć i powodować niedoskonałości wydruku. Dodatkowo gotowe wydruki wykonane z ABS-u mogą być obrabiane mechanicznie, a krawędzie powstałe w procesie produkcyjnym mogą zostać wygładzone przy użyciu acetonu (A. Kaziunas France 2013).

2. PLA i pochodne. Materiały bazujące na skrobi kukurydzianej są mniej wytrzymałe niż te stworzone z ABS jednak mają także mniejsze wymagania względem sprzętu używanego do druku ponieważ zależnie od wykorzystywanego rodzaju nie potrzebują podgrzewanego stołu i/lub komory utrzymującej stałą temperaturę pola roboczego. Surowiec ten niestety nie nadaje się do wydruku skomplikowanych modeli, a także takich, które wymagają odporności na wyższe temperatury, ponieważ powoduje ona odkształcanie się gotowych przedmiotów (C. Shangqing Yan 2016).

3. Nylon jest materiałem poliamidowym wyróżniającym się dużą wytrzymałością, rozciągliwością, a także trwałością. Pod względem praktycznym produkty stworzone za pomocą nylonu są wytrzymałsze mechanicznie i chemicznie od ABS-u jednak podczas wydruku wydzielanych jest dużo toksycznych oparów i pyłów, a także występują problemy z przyczepianiem się warstw do stołu i niższych części wydrukowanego modelu.

4. Żywicę fotoutwardzalną. Zależnie od wymagań, jakie są sta-

wiane gotowemu produktowi, mogą one być tylko twarde i odporne mechanicznie lub nawet spełniać wymagania certyfikatów medycznych.

5. Poliamidy stosowane w druku SLS. W zależności od stosowanych dodatków charakterystyka tych materiałów może ulegać zmianie jednak w tym przypadku możliwe jest stosowanie materiału z dodatkiem aluminium, który w gotowym produkcie pozwala na imitację metalu i częściowe zachowanie jego właściwości.

6. Materiały DMSL są proszkami na bazie różnych metali dającymi bardzo duże możliwości w tworzeniu różnych projektów dzięki zastosowaniu tytanu, niklu, aluminium i innych metali. Poważną wadą tych materiałów jest ich bardzo wysoka cena i wymaganie specjalistycznego sprzętu do drukowania.

Zagrożenia wynikające z rozwoju technologii druku 3D

Do jednych z najczęściej przytaczanych zagrożeń, jakie według wielu osób przyczynia się popularyzacja druku 3D jest tworzenie broni i ich części. Flagowym przykładem broni stworzonej przy pomocy tej technologii jest Liberator, który powstał na bazie projektu jednostrzałowego pistoletu FP-45 Liberator zaprojektowanego przez Georga Hyde podczas drugiej wojny światowej, aby wesprzeć ruch oporu w okupowanej Europie jednak nie został on wdrożony do szerokiego użytku i istnieje tylko kilka wzmianek o jego użyciu w tym czasie (<https://en.wikipedia.org> 09.04.2018). Od czasu swojego debiutu projekt tej broni przechodził wiele modyfikacji, dając początek różnym jego rodzajom jednak nawet w swojej podstawowej wersji dobrze wykonany wydruk jest w stanie oddać co najmniej jeden dość celny strzał zanim ulegnie on zniszczeniu spowodowanemu przez ciśnienie lub temperaturę. Jako jeden z prostszych pistoletów, które można stworzyć przy pomocy każdej drukarki 3D do swojego działania wymaga on niewielu części drukowanych, które mogą już na etapie tworzenia spowodować problemy niedoświadczonym drukarzom i jedynych dwóch rzeczy, które nie mogą być wydrukowane, czyli małego gwoźdźdźka i naboju. Zgodnie z danymi zawartymi na Wikipedi oficjalnie przeprowadzono kilka prób tej broni. Podczas testu zorganizowanego przez Fińską telewizję Yle TV2 pod nadzorem licencjonowanego rusznikarza broń po

wystrzeleniu jednego strzału rozpadła się. Następną próbę przeprowadził Izraelski Channel 10 podczas, której broń również oddała strzał, a przy okazji kolejnego programu została przemycona do parlamentu, aby ukazać widzom jak trudna do wykrycia jest ona dla służb zajmujących się ochroną nawet tak ważnych obiektów. Jak widać z powyższych jedna z pierwszych broni stworzonych przy pomocy technologii druku 3D jest w stanie zabić co najmniej jedną osobę bez uszczerbku na zdrowiu dla jej operatora, a także może zostać przemycona w dowolne miejsce dzięki bardzo małej ilości metalowych części. Poniższe zdjęcie przedstawia części, z jakich jest zbudowany ten pistolet, a także rzeczy potrzebne do jego działania, czyli metalowy gwoździak i w tym przypadku pocisk kalibru .380.

Rys. 4. Pistolet Liberator w częściach



Źródło: What you need to know about The Liberator 3D – Printed pistol. <https://techcrunch.com>, 21.06.2018r.

Pomimo iż Liberator okazuje się dość dobrą bronią jest on obecnie wypierany przez inne konstrukcje mające za cel maksymalne uproszczenie lub zwiększenie liczby możliwych do oddania strzałów kosztem ilości części, które muszą być wykonane z metalu. Dodatkowym problemem tego typu broni jest fakt iż nie można wyśledzić osoby, która je wyprodukowała jeśli posiadamy tylko pistolet lub to co z niego zostało, ponieważ żadna z jego drukowanych części nie jest w jakikolwiek spo-

sób oznakowana przez drukarkę, która ją wyprodukowała.

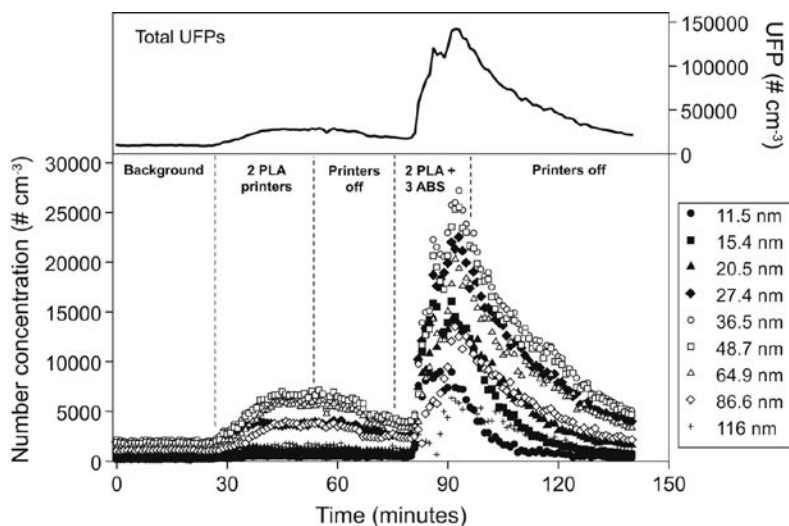
Innym dość często przytaczanym zagrożeniem związanym z tą technologią jest możliwość tworzenia podróbek takich rzeczy jak zwykle klucze służące do otwierania drzwi naszego domu lub samochodu. Jednak w tym przypadku do stworzenia dobrej jakości kopia potencjalny złodziej musi się wysilić i zrobić jak najdokładniejszy skan tego co chce odtworzyć przy pomocy drukarki lub posiadając tylko zwykłe zdjęcie przedmiotu użyć odpowiedniego oprogramowania do samodzielnego zaprojektowania albo do poprawienia projektu stworzonego przez program posługujący się odpowiednimi algorytmami przetwarzającymi obrazy 2D w 3D.

Następnym zagrożeniem jest podrabianie dzieł sztuki. Tutaj podobnie jak w przypadku podrabiania kluczy fałszerz będzie potrzebował pliku z jak najwierniejszym odwzorowaniem rzeźby lub obrazu, jaki ma zostać skopiowany przez maszynę i osoby potrafiącej odpowiednio dobrze obsługiwać dane urządzenie dopasowane do zadania zamiast jakiegoś bardzo zdolnego artysty, który dzięki swoim umiejętnościom i doświadczeniu będzie w stanie stworzyć duplikat wybranego dzieła. W tym wypadku posiadając odpowiedni sprzęt, materiały i plik zawierający dany przedmiot może zostać stworzona dowolna ilość identycznych podróbek w dość krótkim czasie (<https://whatnext.pl> 09.04.2018).

Kolejnym dość istotnym zagrożeniem wynikającym z wykorzystania tej technologii jest powstawanie niebezpiecznych oparów i pyłów podczas wydruków, a także odpadów związanych z nie udanymi wydrukami lub podporami wykorzystywanymi przy tworzeniu docelowego projektu. Powstawanie niebezpiecznych pyłów przy druku jest związane w głównej mierze z drukarkami działającymi w technologii FDM i wykorzystującymi w swoim działaniu materiały takie jak nylon, ABS lub podobne. Podczas swojej pracy kilka drukarek umieszczonych w pomieszczeniu biurowym potrafi podnieść poziom ultra drobnych cząsteczek UFP z poziomu około 2500 do poziomu około 25000 co może przy dłuższej ekspozycji osób znajdujących się w tym pomieszczeniu powodować choroby układu oddechowego ponieważ zgodnie z badaniami zespołu badawczego Brent-a Stephens-a, Parham Azimi, Zeineb El Orch i Tiffanie Ramos są to cząsteczki, które mogą w efektywny sposób odkładać się w ludzkim układzie oddechowym. Największa liczba cząstek występuję zgodnie z ich badaniami przy

wykorzystaniu ABS-u jednak należy brać także pod uwagę fakt iż w dalszym ciągu wiele materiałów, które według ich badań mają mniejszą szkodliwość może zawierać w sobie wiele równie niebezpiecznych substancji takich jak barwniki oparte o szkodliwe substancje i innych, ponieważ są one produkowane w krajach niewymagających odpowiednich atestów od ich producentów. Poniższy wykres przedstawia wyniki testu wytwarzanych UFP przeprowadzonego przez ich zespół.

Rys. 5. Wyznaczone wielkości i całkowite stężenie ultra drobnych cząstek zmierzone w przestrzeni biurowej podczas próbkowania.



Źródło: Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. <https://www.sciencedirect.com>, 20.06.2018r.

Zagrożenia związane z powstawaniem odpadów wiążą się głównie z materiałami takimi jak ABS, który nie ulega biodegradacji i może być jedynie poddany recyklingowi w celu ponownego wytworzenia materiału zdatnego do ponownego wykorzystania w druku jednak o odpowiedni niższej jakości. W przypadku materiałów podobnych do PLA, czyli poddających się biodegradacji jedynym problemem może być ich zbiórka i/lub wytworzenie odpowiednich warunków do ich rozpadu na nie groźne dla środowiska związki.

Podsumowanie

Reasumując druk 3D nie stanowi obecnie znaczącego zagrożenia dla Polskiego społeczeństwa ponieważ wydruki bardzo dobrej jakości wymagają bardzo dużych nakładów pieniężnych w maszyny, materiały i personel zajmujący się ich obsługą, a mogą być często zastąpione tańszymi maszynami na przykład do domowej obróbki CNC dającymi równie dobre efekty w materiałach dużo lepszych przy budowie broni lub tworzeniu kopii kluczy i będących w użyciu od dłuższego czasu niż drukarki 3D. Dodatkowo w przypadku broni dużo większym zagrożeniem dla zwykłych obywateli byłaby osoba posiadająca replikę broni czarnoprochowej, której koszt zakupu wynosi tyle samo co gotowej drukarki, a mimo to pozwala na oddanie dużo większej ilości celnych strzałów bez jej uszkodzenia lub całkowitego zniszczenia niż Liberatro lub jedna z jego wariacji. Dodatkowo taka broń nie wymaga obecnie pozwoleń i jest niewiele trudniej dostępna od drukarki 3D, a jej główną wadą jest trudna jak na obecne standardy obsługa. Pomimo tego faktu nie jest ona używana do popełniania żadnych przestępstw, a jej głównymi odbiorcami są pasjonaci. Jedynym poważnym zagrożeniem związanym z drukiem 3D jest wytwarzanie odpadów poprodukcyjnych i UFP w czasie pracy urządzeń FDM, ponieważ duża część najtańszych stosowanych obecnie materiałów nie posiada odpowiednich certyfikatów bezpieczeństwa i nie zawsze wiadomo co zostało użyte do ich produkcji i jakie warunki powinna spełniać drukarka, aby zminimalizować ich wydzielanie w czasie wydruku. Na obecną chwilę producenci tylko niektórych urządzeń postanowili obudować szczelnie wnętrze, w którym powstają projekty i zamontować filtry mające na celu zminimalizowanie rozprzestrzeniania się UFP.

Bibliografia:

- 1 Opisy literatury w standardzie APA:
- 2 Publikacje książkowe jednego autora:
- 3 Kempton W., 3D printing unlimited, 2013.

Źródła internetowe:

- <http://3dwpraktyce.pl/rodzaje-technologiei-druku-3d/> (01.04.2018).
- <https://3dphoenix.pl/technologia/> (20.02.2018).
- <http://swiatdruku3d.pl/fdm-fused-deposition-modeling/> (20.02.2018).
- <https://www.sciencedirect.com> (20.02.2018).