

# 3D w budownictwie

**prof. dr hab. inż. Anna Sobotka**  
**mgr inż. Katarzyna Wrońska**  
**AGH Akademia Górniczo-Hutnicza**  
**w Krakowie, Wydział Górnictwa**  
**i Geoinżynierii**

W artykule, na podstawie dotychczasowych doświadczeń w zakresie zastosowania technologii druku przestrzennego, zarówno w budownictwie, jak i w innych dziedzinach, podjęto próbę określenia wad i zalet druku przestrzennego oraz szans i zagrożeń w zastosowaniu do budownictwa.

**D**rukowanie przestrzenne (ang. 3D printing) to technologia wytwarzania trójwymiarowych, fizycznych obiektów na podstawie komputerowego modelu. Początkowo była wykorzystywana do wykonywania form i prototypów produktów. Rozwój technologii druku przestrzennego (drukarek, materiałów używanych do drukowania itd.) pozwala na jej zastosowanie nie tylko w procesie szybkiego prototypowania (Rapid Prototyping), lecz także wytwarzania (Rapid Manufacturing) gotowych produktów, a nawet tkanek.

Możliwości wykorzystania drukarek przestrzennych zależą głównie od metody wytwarzania produktu, dostępnych materiałów oraz częściowo kubatury urządzenia.

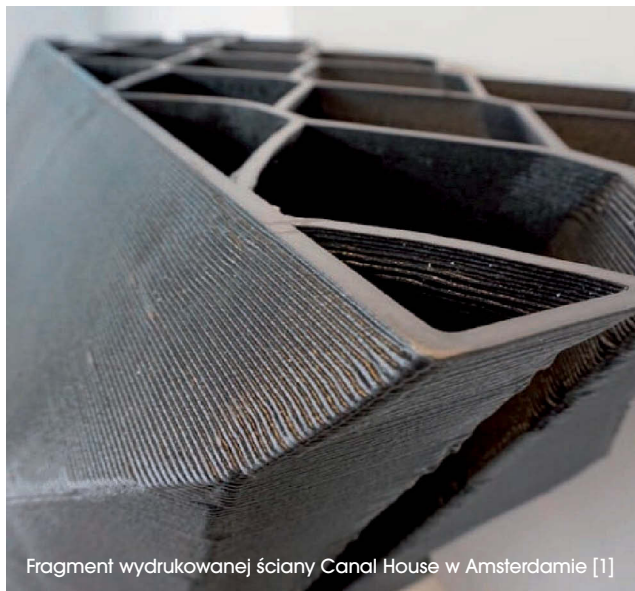
Druk 3D rewolucjonizuje kolejne gałęzie gospodarki, umożliwiając natychmiastowe wykonanie wymyślonego przez człowieka przedmiotu. Możliwość zastosowania tej technologii w budownictwie jest szansą zredukowania kosztów i przyspieszenia czasu wykonywania konstrukcji budowlanych.

Roboty budowlane, których efektem są wyroby i konstrukcje budowlane, nawet przy zastosowaniu nowoczesnych technologii budowlanych charakteryzują się dużą prędkością. Większość z nich jest w dużym stopniu zmechanizowanych, począwszy od zastosowania mechanizacji częściowej, poprzez kompleksową, aż po automatyzację, a nawet robotyzację. Przełomem w robotyzacji w budownictwie może być wprowadzenie technologii druku przestrzennego do wykonywania konstrukcji budowlanych.

## Rozwój technologii druku przestrzennego

Pokolenie obecnych inżynierów, inspirowane magicznym ołówkiem, jakim posługiwali się Piotrek i jego piesek z filmu „Zaczarowany ołówek”, poszukiwało metod szybkiego przenoszenia swoich wizji i planów w świat rzeczywisty. W 1967 r. pojawiły się pierwsze koncepcje, polegające na utwardzaniu żywicy za pomocą lasera [15], lecz faktyczny rozwój technologii druku przestrzennego przebiega następująco [17]:

- 1980 – w maju dr Kodama złożył w Japonii pierwszy patent dotyczący technologii Rapid Prototyping (RP).
- 1986 – Charles Hull złożył patent dotyczący stereolitografii (SLA),
- 1987 – wprowadzenie na rynek przez 3D System SLA-1,
- 1989 – Carl Deckard opatentował selektywne spiekanie laserowe (SLS),
- 1990 – sprzedaż pierwszego komercyjnego systemu ‘Stereos’ przez EOS,
- 1992 – firma Stratsys opatentowała osadzanie topionego materiału (FDM),
- 1993 – uniwersytet MIT opatentował technologię 3DP,
- 1996 – założenie firm Sanders Prototype (później Solidcape) i ZCorporation (wykupił on potem patent na technologię 3DP),
- 1997 – założenie firmy Arcam, która wykupiła patent na technologię Electron Beam Melting (EBM),
- 1998 – założenie firmy Object Geometries, która wynalazła technologię PolyJet,
- 2000 – firma MPC Technologies wprowadziła na rynek technologię selektywnego spiekania i przetapiania sproszkowanych metali przy pomocy lasera (SLM),



Fragment wydrukowanej ściany Canal House w Amsterdamie [1]

- 2004 – dr Browyer zaproponował otwarty projekt, w którym każdy może stworzyć sobie własną drukarkę 3D, mając już dostęp do jednej (RepRap),
- 2004 – prof. Behrokh Khoshnevis szef zespołu naukowców z University of Southern California opracował metodę budowy domów Contour Crafting,
- 2007 – firma 3D System stworzyła rozwiązanie drukowania 3D, którego koszt nie przekraczał 10 tys. dolarów,
- 2009 – wprowadzono pierwszy komercyjny zestaw umożliwiający stworzenie drukarki 3D, na podstawie koncepcji RepRap,
- 2012 – Enrico Dini prezentuje swoją maszynę D-Shape do drukowania budynków,
- 2014 – Ma Yihe właściciel firmy z Szanghaju stawia domy, wykorzystując druk 3D,

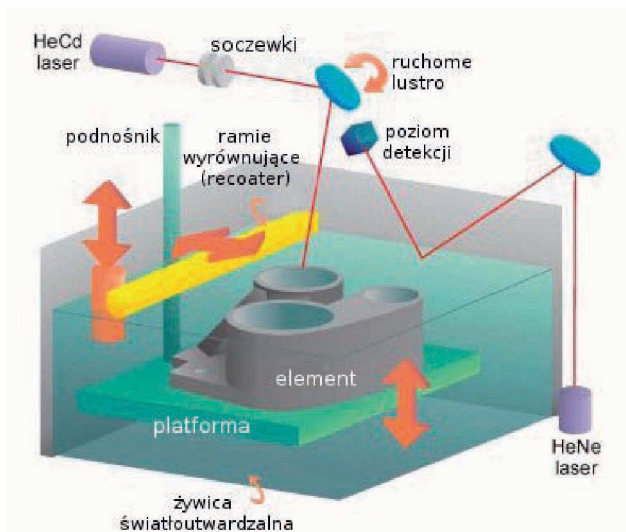
W celu przybliżenia zasad druku przestrzennego przedstawiono ogólną charakterystykę niektórych z wymienionych technologii.

### SLA/SL Stereolithography Apparatus (Stereolitografia)

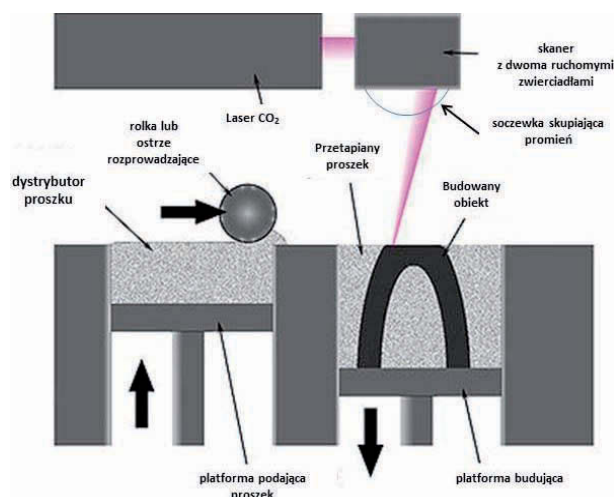
Stereolitografia (SLA/SL) [15, 17] (rys. 1) jest powszechnie uznawana za pierwszą technologię druku 3D, która została skomercjalizowana. Technologia ta oparta jest na miejscowym utwardzaniu żywic fotopolimerowych poprzez intensywne naświetlenie, najczęściej przy pomocy lasera. Fotopolimerowa żywica znajduje się w zbiorniku, w którym zanurza się platforma, poruszająca się pionowo za pomocą podnośnika. Pozostałe konfiguracje kinematyczne systemu SLA składają się z recoatera, urządzenia do rozprowadzania i wyrównywania żywicy, oraz systemu dwóch lust, które poruszają się za sprawą precyzyjnych galwomotorów. Wiązka laserowa skierowana jest na powierzchnię żywicy w płaszczyźnie poziomej, zgodnie z instrukcjami sterującymi dostarczonymi do urządzenia. Żywica zostaje utwardzona tam, gdzie wiązka laserowa styka się z powierzchnią. Element zanurzony jest w żywicy w momencie, gdy laser zakończy utwardzanie warstwy. Trwa to do momentu, aż cały produkt zostanie wykonany. Wyjątkowy charakter procesu stereolitografii wymaga wykonania dodatkowych, wsporczych elementów w momencie, gdy wykonywany element będzie wspornikiem. Struktury te należy ręcznie usunąć. Obiekty wydrukowane przy pomocy stereolitografii należy oczyścić z pozostałego, nieutwardzonego materiału. Finalnym etapem jest utwardzenie wydrukowanego elementu poprzez intensywne naświetlenie. Stereolitografia pozwala wykonywać elementy z jak największą dokładnością, a wydrukowane przedmioty posiadają wyjątkowo gładkie powierzchnie. Czynności końcowe polegające na czyszczeniu i utwardzeniu mogą powodować, że wydrukowany produkt stanie się bardziej kruchy.

### SLS Selective Laser Sintering (selektywne spiekanie laserowe)

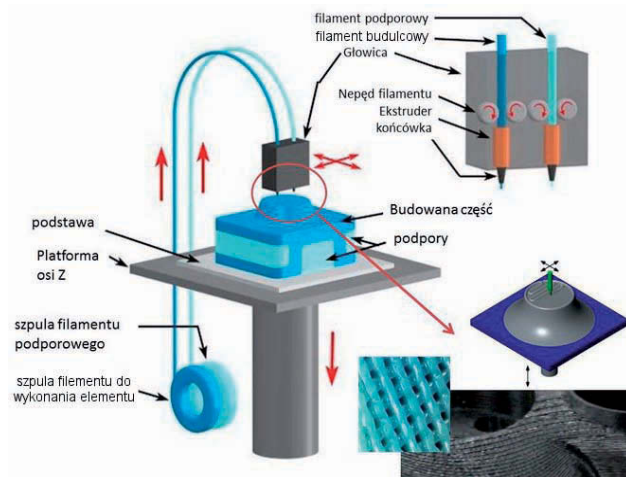
W technologii SLS [13, 17] (rys. 2) maszyny przy pomocy lasera o dużej mocy, tworzą elementy poprzez selektywne spiekanie nanoszonego warstwowo proszku z tworzywa sztucznego. Metoda ta jest bardzo podobna do stereolitografii, lecz zamiast ciekłego materiału wykorzystywany jest sproszkowany materiał, najczęściej poliamid. Światło lasera przebiega po dobrze ubitej i sprasowanej warstwie sproszkowanego materiału. Promień lasera porusza się według instrukcji sterujących podawanych z komputera, w płaszczyźnie poziomej. W chwili ukończenia rysowania warstwy element stolik zostaje opuszczony, w tym momencie proszek jest stopniowo наносzony z zasobnika, a rolki wygładzają nowo naniesiony materiał przed następnym przejściem lasera. Światło lasera powoduje stopienie cząstek sproszkowanego materiału, w wyniku czego roztopione cząstki materiału łączą się z innymi, tworząc bryłę. Niezwiązane cząstki służą jako materiał podporowy, dzięki czemu konstrukcje o nietypowych kształtach mogą być puste w środku, co jest zaletą techniki SLS. Ta technologia druku przestrzennego ma największy potencjał produkcyjny.



Rys. 1. Zasada działania produkcji wyrobów w technologii SLA/SL [11]



Rys. 2. Zasada działania wytwarzania wyrobów w technologii SLS [13]



Rys. 3. Zasada działania wytwarzania wyrobów w technologii FDM [17]

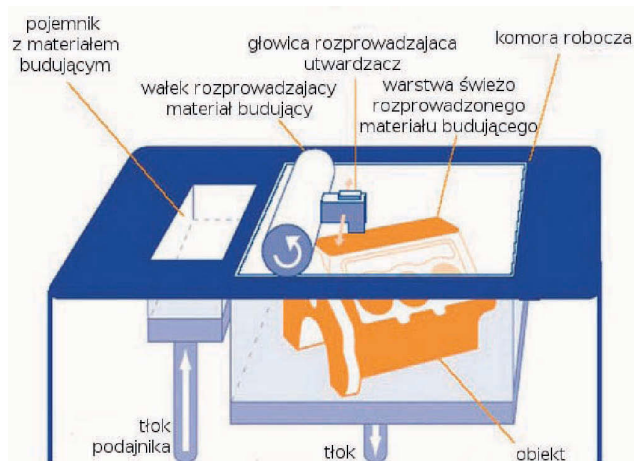
### FDM Fused Deposition Modeling (Osadzanie topionego materiału)

Metoda FDM [7, 10, 17] (rys. 3) wykorzystuje wytłaczanie termoplastycznego materiału poprzez dyszę rozgrzaną do temperatury topnienia filamentu. Głowica porusza się w płaszczyźnie poziomej, nanosząc kolejne warstwy materiału poprzez końcówkę ekstrudera. Dysza kontroluje przepływ roztopionego materiału. Element jest wytwarzany

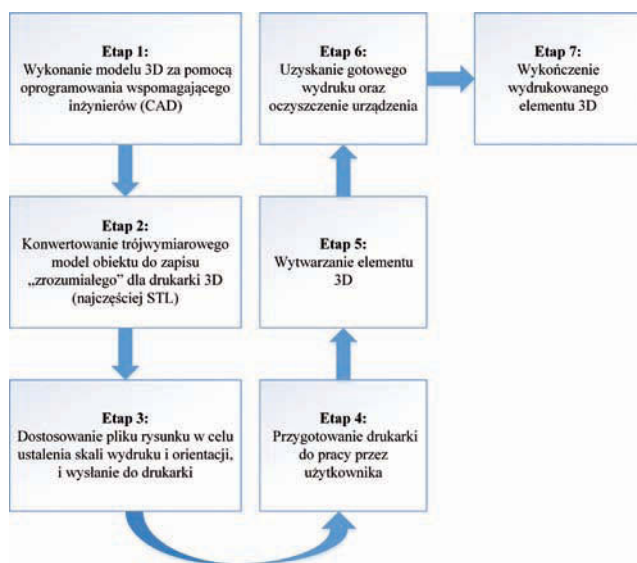
warstwowo, najpierw rysowany jest kontur obiektu, a następnie obszar jest wypełniany. Dzięki możliwości regulowania odległości pomiędzy liniami wypełniającymi możliwe jest uzyskanie obiektów o regulowanej porowatości. Wadą takiego zabiegu jest brak szczelności wytwarzanych elementów. Zastosowanie podwójnych głowic do wytłaczania rozwiązało problem z elementami wymagającymi podpór. Jedna końcówka ekstrudera podaje materiał do wykonania elementu, druga zaś – materiał na podporę. Materiał podporowy może być rozpuszczalny w wodzie lub odtłamywany od wydrukowanego elementu. W metodzie FDM wykorzystuje się najczęściej termoplastyczne inżynieryjne tworzywa sztuczne o wysokiej wytrzymałości mechanicznej, temperaturowej i chemicznej. Technologia ta wykorzystywana jest do produkcji urządzeń i narzędzi wykonywanych w małych ilościach (krótkich seriach).

### 3DP 3 Dimensional Printing (Druk 3D)

Technologia 3DP [12, 17] (rys. 4) polega na warstwowym nanoszeniu cienkiej warstwy sproszkowanego materiału kompozytowego łączonego za pomocą lepiszcza natryskiwanego z głowicy drukarki poruszającej się w płaszczyźnie poziomej. Po wydrukowaniu jednej warstwy stolik maszyny zostaje opuszczony w celu naniesienia i ubicia warstwy proszku przy pomocy wałka. Nanoszona warstwa proszku może mieć grubość od 0,08 do 0,5 mm. Technologia ta nie wymaga struktur podporowych. Pozwala to na wykonanie skomplikowanych



Rys. 4. Zasada działania produkcji wyrobów w technologii 3DP [12]



Rys. 5. Schemat wykonywania produktów w technologiach druku przestrzennego na podstawie [5]

struktur, pod warunkiem że grubości ścianek oraz ich wytrzymałość pozwolą na bezpieczne wyciągnięcie obiektu z komory roboczej. W niektórych drukarkach istnieje możliwość zastosowania kolorowych lepiszczy, co pozwala na otrzymanie kolorowych modeli w krótkim czasie. Po wydrukowaniu modele 3DP są kruche i wrażliwe na uszkodzenia. W celu zwiększenia wytrzymałości mechanicznej modelu przeprowadza się najpierw odpowiednią obróbkę, a następnie pokrywa się go środkami utwardzającymi i zabezpieczającymi przed promieniami UV. Technologia 3 Dimensional Printing obecnie posiada kilka różnych odmian, w których wykorzystywane są materiały takie jak ceramika, tworzywa sztuczne czy proszki metali.

Przedstawione opisy procesów tworzenia produktów przestrzennych obejmują niektóre tylko czynności i operacje w technologii 3D. Pełny cykl produkcji wyrobów według technologii 3D przebiega zwykle według etapów jak na rys. 5.

### Dotychczasowe zastosowania technologii 3D

Wprowadzenie druku 3D zrewolucjonizowało szybkie wytwarzanie prototypów oraz przedmiotów użytkowych. Technologia ta pozwala w krótkim czasie zmaterializować ludzką myśl.

Szybkie prototypowanie ma ogromny potencjał, który jest w bardzo dużym stopniu wykorzystywany w medycynie. Indywidualne podejście do rozpatrywanych przypadków medycznych oraz możliwość tworzenia prototypów wspierających dalszy rozwój nowych produktów dla przemysłu medycznego to główne zalety metod addytywnych wykorzystywanych w medycynie [17]. Możliwości wykorzystania drukarek do prototypowania są ogromne, począwszy od opracowania nowych procesów i materiałów spełniających wymagania medyczne, poprzez możliwości poprawy warunków życia. Technologia druku 3D rozwija się między innymi w druku implantów biodrowych i kolonowych, implantów aparatów słuchowych, protez skóry, kości, tkanek, a nawet narządów ludzkich [5, 17].

Druk przestrzenny jest procesem wytwarzania fizycznych obiektów trójwymiarowych (produktów) w oparciu o technikę komputerową – program komputerowy do wytwarzania produktu i drukarkę typu 3D do jego wykonania.

Podobnie jak sektor medyczny, przemysł lotniczy bardzo szybko zaadaptował sobie technologię druku 3D w celu szybkiego produkowania i prototypowania. Przemysł ten ściśle współpracuje z ośrodkami akademickimi w celu ulepszenia technologii wytwarzania. W związku z bardzo rygorystycznymi regulami projektowania i produkcji w lotnictwie elementy samolotów wytwarzane w technologii 3D są elementami, które nie mają krytycznego wpływu na bezpieczeństwo lotu. Takie elementy znajdują się już w latających samolotach [5, 17].

Przemysł motoryzacyjny wykorzystuje technologię druku 3D do prototypowania. Sektor ten zainteresował się technologią prototypowania tak samo szybko jak przemysł lotniczy. W sektorze motoryzacyjnym wykorzystuje się druk 3D do wyprodukowania części zamiennych, rezygnując tym samym z ich magazynowania.

Technologię druku 3D wprowadza także sektor spożywczy. Wykorzystując technologię druku 3D, wypróbowywano nowe sposoby wytwarzania oraz prezentacji żywności. Początkowo drukowano czekolady i cukier. W późniejszych latach udoskonalano technologię wydruku żywności. Początkowe eksperymenty nie wykluczały drukowania na poziomie komórkowym mięsa z protein białkowych. Niedawno zainteresowano się drukowaniem makaronów [17]. Technologia druku przestrzennego ma ogromny potencjał w tym sektorze.

W jubilerstwie technologia druku 3D może wprowadzić ogromne zmiany. Zainteresowanie tą technologią jest bardzo duże. Dostęp-



Technologia druku przestrzennego ułatwiła pracę architektom – oferuje ona szybki, łatwy oraz ekonomiczny sposób na wytworzenie fizycznego modelu obiektu, który będzie budowany, z danych 3D CAD, BIM lub z innych form zapisu.

Artyści, projektanci i rzeźbiarze upatrują sobie technologię druku 3D jako nowe narzędzie do pracy. Wykorzystują możliwości tej technologii w celu poszukiwania idealnej formy oraz zbadania jej funkcji.

ność oraz możliwości, jakie może dać technologia drukowania przestrzennego, przyczyniają się do modyfikacji procesów produkcyjnych biznesu.

Artyści, projektanci i rzeźbiarze upatrują sobie technologię druku 3D jako nowe narzędzie do pracy. Wykorzystują możliwości tej technologii w celu poszukiwania idealnej formy oraz zbadania jej funkcji. Połączenie dwóch technologii – skanowania 3D oraz drukowania przestrzennego – umożliwi odwzorowanie obiektu w przestrzeni trójwymiarowej, a następnie jej wytworzenie lub reprodukcję dzieł sztuki, co pomaga artystom i studentom w analizie formy.

Dzięki poprawie rozdzielczości wydruku oraz elastyczności materiałów technologię druku przestrzennego zaczął wykorzystywać sektor mody. Z jej zastosowaniem projektowano już buty, nakrycia głowy, torby, suknie, sukienki, pelerynki i bieliznę [17].

Technologia druku przestrzennego ułatwiła pracę architektom. Wykorzystywana jest do przedstawienia realizacji wizji architekta. Metoda ta oferuje szybki, łatwy oraz ekonomiczny sposób na wytworzenie fizycznego modelu obiektu, który będzie budowany, z danych 3D CAD, BIM lub z innych form zapisu wykorzystywanych przez architektów. Poszukuje się metod wydruku całej konstrukcji na podstawie modelu, takie badania są prowadzone przez wiele instytucji badawczych, między innymi przez Loughborough University, Contour Crafting i Universe Architecture [17].

Rozwój technologii drukowania przestrzennego to rozwój nie tylko urządzeń, lecz także surowców i materiałów wykorzystywanych do drukowania obiektów. Najczęściej wykorzystywanymi materiałami są PLA, ABS, PVA, nylon, Laywood i Laybick. Zaawansowane modele drukarek pozwalają na wydruk z takich materiałów jak żywica, guma, metale, beton, papier czy czekolada. W wielu przypadkach wykorzystuje się już istniejące materiały jako surowiec budujący. W chwili obecnej niewiele jest materiałów opracowanych specjalnie z myślą o druku przestrzennym. W przyszłości będzie to zapewne stanowiło oddzielną gałąź nauki i przemysłu.

Więcej o zastosowaniu w budownictwie już w następnym numerze.

#### Bibliografia:

- [1] 3D Print Canal House, <http://3dprintcanalhouse.com/>. Grafika dostępna w Internecie: [https://scontent.cdninstagram.com/hphotos-xaf1/t51.2885-15/e15/11325897\\_793009877480167\\_351919641\\_n.jpg](https://scontent.cdninstagram.com/hphotos-xaf1/t51.2885-15/e15/11325897_793009877480167_351919641_n.jpg), dostęp 15.06.2015.
- [2] 7 things you should know about 3D printing, Educause Learning Initiative 2012, <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/eli7086.pdf>, dostęp 15.06.2015.
- [3] Blagdon J., British company uses 3D printing to make stone buildings out of sand, „The Verge”, 21.02.2012, <http://www.theverge.com/2012/2/21/2811146/3d-printing-d-shape-monolite-enrico-dini/>, dostęp 15.06.2015.
- [4] Contour Crafting Robotic Construction System, <http://www.contourcrafting.org/>. Grafika dostępna w Internecie: <http://www.contourcrafting.org/wp-content/uploads/2013/03/slide-type-23.jpg>, dostęp 15.06.2015.
- [5] Crawford S., How 3-D Printing Works, <http://computer.howstuffworks.com/3-d-printing1.htm>, dostęp 15.06.2015.
- [6] D-Shape, <http://www.d-shape.com/>. Grafika dostępna w Internecie: <http://press.d-shape.com/bko/foto/sand%20evaqaution.JPG>, dostęp 15.06.2015.
- [7] FDM – Fused Deposition Modeling, [www.przyrostowo.pl/technologie/fdm](http://www.przyrostowo.pl/technologie/fdm). Grafika dostępna w Internecie: <http://www.przyrostowo.pl/images/technologie/FDM.jpg>, dostęp 15.06.2015.

- [8] Frearson A., Foster + Partners to 3D print buildings on the moon, „De zeen magazine” 31.01.2013, <http://www.dezeen.com/2013/01/31/foster-partners-to-3d-print-buildings-on-the-moon/#>, dostęp 15.06.2015.
- [9] King M., Of labour, unions and 3D printing, „Arbitragemagazine.com”, May 2013.
- [10] Michael and Yve blog, A Comprehensive Introduction to 3D Printing Technology, <http://3dprintingforbeginners.com/3d-printing-technology/>, dostęp 15.06.2015.
- [11] Milius D. L., Dryer F. L., Yetter R. A., Research: Chemical Energy Conversion and Power Generation at the Microelectromechanical Systems (MEMS) Scale, <http://www.princeton.edu/~cml/html/research/mems.html>. Grafika dostępna w Internecie: <http://www.princeton.edu/~cml/assets/images/mems02.jpg>, dostęp 15.06.2015.
- [12] Mikulski P., 3DP – 3 Dimensional Printing, <http://www.przyrostowo.pl/technologie/3dp>. Grafika dostępna w Internecie: [http://www.przyrostowo.pl/images/technologie/3dp\\_zasada\\_dzialania.jpg](http://www.przyrostowo.pl/images/technologie/3dp_zasada_dzialania.jpg), dostęp 15.06.2015.
- [13] Mikulski P., SLS – Selective Laser Sintering, <http://www.przyrostowo.pl/technologie/sls>. Grafika dostępna w Internecie: <http://www.przyrostowo.pl/images/technologie/SLS.jpg>, dostęp 15.06.2015.
- [14] Rasmus R., Webb S., Short M., High performance. Delivered. 3D printing's disruptive potential, Accenture technology, 2014.
- [15] SLA/SL – StereoLithography Apparatus, <http://www.przyrostowo.pl/technologie/sla-sl>, dostęp 15.06.2015.
- [16] Steadman I., Dutch architect plans world's first 3D-printed building, 24.01.2013, <http://www.wired.co.uk/news/archive/2013-01/24/dutch-architect-3d-printed-house>, dostęp 15.06.2015.
- [17] The Free Beginner's Guide to 3D Printing. 3D Printing Industry, <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/>, dostęp 15.06.2015.
- [18] YINGCHUANG 3D Printing Builds Your Future, <http://www.yingchuangnewmaterial.com/>. Grafika dostępna w Internecie: <http://www.yingchuangnewmaterial.com/uploadfile/2014/1222/20141222122611919.png>, dostęp 15.06.2015.
- [19] Weinberg M., It will be awesome if they don't screw it up: 3D Printing, intellectual Property, and the Fight Over the Next Great Disruptive Technology, Public Knowledge, November 2010.
- [20] Weinberg M., What's the deal with copyright and 3D printing?, Institute for Emerging Innovation Public Knowledge, January 2013.

## CAPABILITIES OF USE THE THREE-DIMENSIONAL PRINTING TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION INDUSTRY

### Abstract

The three-dimensional printing technology is evolving and it is using in a variety of sectors, such as aerospace and automotive, and other branch, for example: medicine, fashion, art. The scientists are trying to apply this technology in to the construction industry.

The paper is describing the development of three-dimensional printing and contains brief description of methods like: Stereolithography (SLA/SL), Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM) and 3D Printing (3DP). This paper is describing examples from the world, where three-dimensional printing technology is used to print the buildings. Based experience in this area was used to analyze the capabilities of three-dimensional printing in wide use for building industry. This technology has a great potential for automation and robotics labor-intensive works on construction site.

**Keywords:** 3D printing, technology, construction industry

### Streszczenie

Druk przestrzenny jest rozwijającą się technologią, wykorzystaną w wielu sektorach gospodarki, takich jak przemysł lotniczy i motoryzacyjny, oraz innych dziedzinach, np. medycyna, moda, sztuka użytkowa. Pojawiają się próby zastosowania tej technologii także w budownictwie. W artykule zawarty jest opis rozwoju druku przestrzennego i krótka charakterystyka wybranych metod, tj. stereolitografii (SLA/SL), selektywnego spiekania laserowego (SLS), osadzania topionego materiału (FDM) oraz druku 3D (3DP). Przedstawiono także przykłady drukowania obiektów budowlanych. Dotychczasowe doświadczenia w tym zakresie posłużyły do przeanalizowania możliwości druku przestrzennego w szerszym zastosowaniu do budownictwa. Technologia ta niesie za sobą duży potencjał automatyzacji i robotyzacji pracochłonnych robót budowlanych.

**Słowa kluczowe:** drukowanie przestrzenne, technologie, budownictwo