

Maciej Major¹, Izabela Minda¹

ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII DRUKU PRZESTRZENNEGO W BUDOWNICTWIE

Wprowadzenie

Technologia druku przestrzennego opracowana została przez amerykańskiego uczonego Charlesa Hulla pod koniec XX wieku [1]. Początkowo system druku 3D był nieosiągalny dla większości osób z uwagi na wysokie koszty realizacji. Na przestrzeni lat metoda ta stała się zdecydowanie tańsza i znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach życia, począwszy od przedmiotów codziennego użytku, skończywszy na wykorzystaniu m.in. w branży motoryzacyjnej, lotniczej czy medycynie. W budownictwie technologia druku 3D stosowana jest zarówno w części wykonywania projektu architektonicznego poprzez przygotowanie fizycznej wizualizacji obiektu, jak i na etapie realizacji, produkując w całości m.in. budynki mieszkalne.

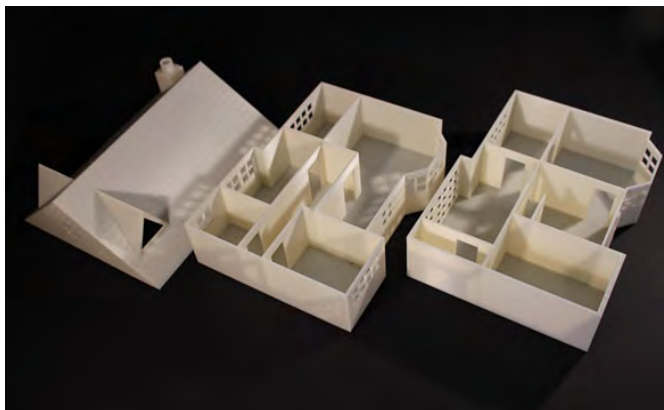
1. Zastosowanie technologii druku przestrzennego na etapie projektowania

Wstępnym etapem realizacji obiektu budowlanego jest wykonanie projektu architektonicznego. Postęp technologii druku przestrzennego przyczynił się do popularyzacji obrazowania obiektów zgodnie z dokumentacją techniczną w określonej skali za pomocą wykonywania makiet, które są zdecydowanie przystępniejsze dla osób niezajmujących się branżą architektoniczną czy budowlaną. Fizyczna wizualizacja konstrukcji w precyzyjny sposób ukazuje detale, których osoba postronna nie potrafi odczytać w dokumentacji projektowej, a przy tym jest trwalsza oraz wykonywana w krótszym czasie niż modele wytwarzane w sposób tradycyjny.

Tego typu rozwiązanie znajduje zastosowanie w budownictwie jednorodzinny (rys. 1) oraz kubaturowym (rys. 2). Modele wiernie odzwierciedlają projekt tech-

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42-200 Częstochowa, e-mail: mmajor@bud.pcz.czest.pl

niczny w postaci trójwymiarowej. Makiety wykonywane są z zachowaniem wszystkich istotnych elementów obiektu: stolarki okiennej i drzwiowej, schodów, ścian nośnych oraz działowych, elementów połączeni dachowej. Technologia druku 3D umożliwia zaprezentowanie odmiennych wersji projektu, dzięki czemu osoba kupująca może zmienić koncepcję określonych obszarów (np. przesunięcie ścianki działowej) przed fazą realizacji obiektu, co zmniejsza koszty i czas budowy.



Rys. 1. Model domu jednorodzinnego w technologii druku 3D [2]



Rys. 2. Model obiektu kubaturowego w technologii druku 3D [2]

Makiety 3D wykorzystywane są również przy projektowaniu innych obiektów inżynierskich typu mosty, wiadukty lub kładki dla pieszych (rys. 3) z precyzyjnym odtworzeniem wszystkich elementów znajdujących się na nim (m.in. nawierzchnia, balustrady, chodniki, krawężniki). Stanowią one jedną z metod weryfikacji poprawności dokumentacji projektowej i umożliwiają dokładne sprawdzenie propor-

cji trójwymiarowej bryły obiektu, dzięki czemu można wyeliminować ewentualne błędy konstrukcyjne [3].



Rys. 3. Model obiektu mostowego w technologii druku 3D [2]

Najpopularniejszą technologią wydruku jest FDM (ang. Fused Deposition Modeling). Umożliwia ona drukowanie przedmiotów poprzez układanie na sobie kolejnych warstw materiału. Drukarka 3D pracująca w omawianej technologii posiada głowicę, której celem jest roztapianie materiału drukującego. Głowica oraz obiekt drukowany porusza się wzdłuż osi x i y , dzięki czemu materiał zostaje umieszczony w odpowiednim miejscu. Nakładanie kolejnych warstw realizuje się poprzez przesunięcie o zadany skok wzdłuż osi z . Metoda ta charakteryzuje się bardzo wysoką dokładnością, właściwościami mechanicznymi, a przede wszystkim prostotą działania, co przekłada się na niską cenę drukarek [4, 5].

2. Zastosowanie technologii druku przestrzennego na etapie realizacji obiektu

2.1. Technologia druku budynków 3D

Technologia druku budynków mieszkalnych jest innowacją w branży budowlanej i w dalszym ciągu jest udoskonalana. Kolejni producenci wprowadzają nowe rozwiązania, które zostały przedstawione poniżej, mające na celu podwyższyć ekologiczność budowy oraz obniżyć jej czas wykonania, a także koszty produkcji. Obecnie, mimo iż omawiana technologia rozwija się w niesamowitym tempie i daje nieograniczone możliwości, jest daleka od zastąpienia tradycyjnych metod budownictwa.

Budynek z drukarki 3D wg A. Rudenki

Amerykański architekt pochodzący z Minnesoty Andrey Rudenko stworzył projekt zamku (rys. 4) posiadającego otwory okienne oraz drzwiowe, wydrukowany za pomocą drukarki 3D.



Rys. 4. Dom z drukarki 3D wg A. Rudenki [6]

Materiałem wykorzystanym do wydruku obiektu była indywidualnie opracowana przez autora projektu mieszanka betonowa. Proces wznoszenia ścian polegał na układaniu w płaszczyźnie osi x-y kolejnych warstw materiału budulcowego za pomocą specjalistycznej głowicy drukującej [6].



Rys. 5. Druk 3D ścian domu [6]

Powierzchnie przegród posiadają wyraźnie oddzielone od siebie warstwy materiału, co nie wpływa pozytywnie na estetykę całego obiektu. Należy jednak pamiętać,

że technologia druku 3D pozostawia obiekt w stanie surowym, po dokonaniu robót wykończeniowych konstrukcja finalnie nie będzie odbiegać estetyką od obiektu wykonanego za pomocą budownictwa tradycyjnego. Dodatkowym atutem rozwiązania wykorzystanego przez Andreyę Rudenkę jest zaprojektowanie ścian o bardzo dobrym współczynniku izolacyjności. Druk 3D umożliwi wykonanie obrysu ścian z pustką powietrzną znajdującą się wewnątrz. Zamknięte powietrze znajdujące się pomiędzy konturami przegrody jest bardzo dobrym izolatorem cieplnym [6].

Domy z drukarki 3D Szanghaj - Chiny

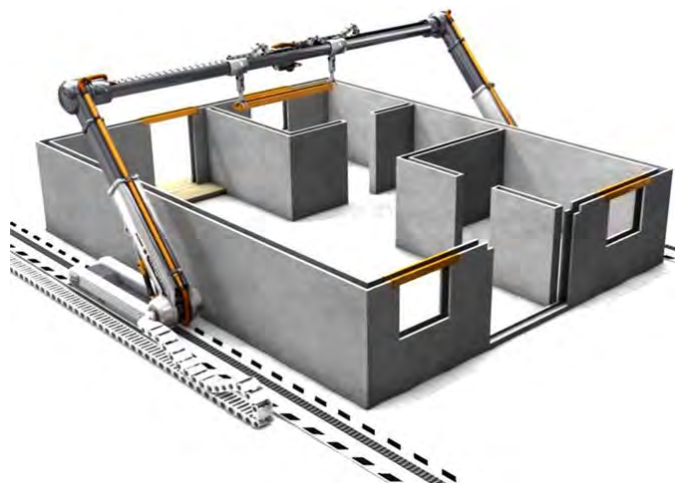
Krajem, w którym technologia druku przestrzennego znajdująca zastosowanie w branży budowlanej rozwija się najszybciej, są Chiny. Firma należąca do inżyniera Ma Yihe - Yingchuang New Materials w pierwszej połowie 2014 roku wydrukowała 10 domów (rys. 6) o powierzchni 200 metrów kwadratowych w ciągu jednej doby. Wyprodukowane obiekty znajdują się w parku technologicznym w Szanghaju, gdzie służą za biura [7].



Rys. 6. Dom w technologii druku 3D [7]

Obiekty zrealizowane zostały w technologii Contour Crafting opracowanej na Uniwersytecie Południowej Kalifornii. Procedura oparta jest na szybkim nakładaniu kolejnych warstw mieszanki betonowej za pomocą drukarki 3D zaprojektowanej przez profesora Behrokh Khoshnevisa. Na placu budowy umieszczane są szyny dostosowane do poruszania się drukarki, następnie na podstawie komputerowego projektu wykonywany jest obiekt w stanie surowym (rys. 7) [8].

Konstrukcja drukarki bazuje na suwnicy niewiele szerszej od szerokości budynku, po której porusza się dysza układająca kolejne warstwy ścian. Przegrody stanowią lekką konstrukcję o wnętrzu w formie kratownicy (rys. 8). Puste przestrzenie pomiędzy konturami ściany wypełnia się izolacją termiczną, np. sykiem styropianem [7].



Rys. 7. Wizualizacja drukarki 3D opartej na technologii Contour Crafting [8]

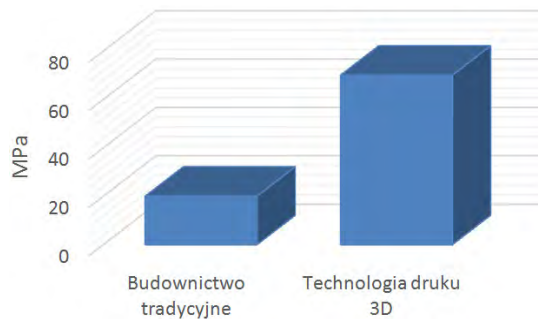


Rys. 8. Ściany drukowane w technologii Contour Crafting [8]

Materiałem wykorzystanym do wydruku domów jest mieszanka betonowa skomponowana z cementu wzmocnianego włóknem szklanym oraz kruszywa pochodzącego z odzyskanych odpadów budowlanych poddanych recyklingowi. Jedynym fragmentem wykonywanym w tradycyjnej technologii jest połać dachowa. Rozwiązanie znacząco wpłynęło na koszty produkcji, gdyż cena wykonania jednego z budynków wynosi zaledwie 15 tysięcy złotych, oraz na ekologiczność przedsięwzięcia [7].

Na rysunku 9 przedstawiono porównanie wytrzymałości konstrukcji obiektu wykonanego w technologii tradycyjnej oraz w technologii druku 3D. Przegrody wykonane za pomocą drukarki przestrzennej posiadają niemalże 4-krotnie wyższą

wytrzymałość, zatem zastosowanie wzmocnień w postaci zbrojenia nie jest konieczne. Przeprowadzone badania wykazały, iż odporność konstrukcji na trzęsienia ziemi jest zdecydowanie wyższa niż w przypadku technologii tradycyjnych [9].



Rys. 9. Wykres średnich wytrzymałości konstrukcji w poszczególnych technologiach

Czterokondygnacyjny budynek w technologii druku 3D Szanghaj - Chiny

W 2015 roku firma, która rok wcześniej stworzyła jednokondygnacyjne wolno stojące domy w technologii druku 3D, zaprezentowała pierwszy na świecie czterokondygnacyjny budynek mieszkalny (rys. 10). Konstrukcję w stanie surowym wydrukowano w ciągu pięciu dni. Obiekt w środku posiada wydzielone lokale, a wykończenie elewacji stanowi faktura imitująca cegłę [10].



Rys. 10. Czteropiętrowy budynek mieszkalny w technologii druku 3D [11]

Materiałem zastosowanym do wznoszenia, tak jak w przypadku wolno stojących domów, była mieszanka betonowa powstała z odzyskanych materiałów budowlanych, włókna szklanego, cementu oraz specjalnych dodatków.

Technologia produkcji została zmodyfikowana w stosunku do poprzedniej propozycji. Maszyna drukująca tworzy poszczególne elementy konstrukcyjne (ściany, schody, dachy) w fabryce, które w postaci prefabrykatów dostarczane są na plac budowy i montowane. Stalowe zbrojenie niezbędne do utrzymania stateczności konstrukcji oraz odpowiedniej wytrzymałości wykonuje się według tradycyjnych metod. Budynek w stanie surowym należy jedynie wykończyć, wstawiając stolarkę okienną oraz drzwiową [10].

Czas niezbędny do wytworzenia budynku mieszkalnego w technologii druku 3D jest od 50 do 70% krótszy niż w przypadku tradycyjnej technologii, natomiast niewielki koszt produkcji wpływa na niskie ceny mieszkań [10].

2.2. Technologia druku 3D obiektów mostowych

Holenderska firma MX3D prowadzi prace nad projektem stalowej kładki dla pieszych (rys. 11) o rozpiętości 8 metrów i szerokości 4 metrów wyprodukowanej w technologii druku przestrzennego. Konstrukcja docelowo ma połączyć brzegi jednego z kanałów w Amsterdamie. Prace mają rozpocząć się w 2017 roku, a czas trwania wydruku przewidywany jest na dwa miesiące [12].



Rys. 11. Stalowa kładka w Amsterdamie [12]

Kładka zostanie stworzona przez roboty firmy ABB, które w przeciwieństwie do większości drukarek 3D posiadających umiejętność produkcji obiektów jedynie w trzech płaszczyznach x , y , z charakteryzują się zdolnością sześciosiowego druku we wszystkich możliwych kierunkach. Maszyny poruszają się po wydrukowanych w trakcie budowy szynach, które mogą być wytworzone w dowolnym kierunku, dzięki czemu nie posiadają ograniczenia przestrzeni roboczej. Roboty umożliwiają wykonanie elementów ze stali, stali nierdzewnej, aluminium, plastiku, a także innych materiałów niezbędnych do budowy kładki [13].

Obiekt będzie tworzony przez dwa niezależne roboty rozpoczynające swoją pracę na dwóch przeciwległych brzegach kanału (rys. 12). Po napotkaniu się w osi konstrukcji dwa symetryczne fragmenty zostaną zespawane za pomocą wbudowanych uchwytów spawalniczych w ramionach maszyny. Wyżej opisana procedura nie spowoduje nadmiernych naprężeń w przeciwieństwie do sytuacji, gdyby pojedyncza maszyna miała wykonać całość z jednego do drugiego brzegu kanału [13].



Rys. 12. Wizualizacja wydruku kładki stalowej [13]

Materiałem wykorzystanym do produkcji konstrukcji będzie stalowy kompozyt stworzony przez Uniwersytet Techniczny w Delft, który zgodnie z zapewnieniem producenta ma być wytrzymały jak ogólnodostępna stal, a możliwy jest nim druk kolejnych warstw przy pomocy specjalnych głowic topiących stal w temperaturze 1500°C. Dodatkowym tworzywem jest szybkoschnąca żywica, dzięki której drukowane elementy potrafią utrzymać się bez stelażu podtrzymującego budowaną konstrukcję [14].

Firma MX3D zapewnia, że opisana powyżej technologia umożliwi zbudowanie obiektu mostowego od 10 do 1000 razy szybciej niż w przypadku tradycyjnych technologii. Roboty - drukarki mają być wykorzystywane w projektach, które mogą być niebezpieczne dla człowieka w trakcie realizacji [13].

Podsumowanie

Na dzień dzisiejszy budownictwo jest jedną z najbardziej inwazyjnych i nieekonomicznych dziedzin przemysłu. Zastosowanie technologii druku przestrzennego mogłoby zapewnić bezpieczniejszy, szybszy oraz bardziej ekonomiczny proces budowlany, umożliwiając jednocześnie większą elastyczność architektury. Ponadto urządzenia drukujące gwarantują precyzję wykonania danej konstrukcji zgodnie z dokumentacją projektową oraz bardzo dobrą wydajność, gdyż potrafią pracować bez przerwy. Koszty wydrukowania budynku mieszkalnego, dzięki

zastosowaniu surowców o niewielkiej wartości, są zdecydowanie niższe niż w przypadku technologii tradycyjnych, co znacząco wpłynie na cenę mieszkań.

Literatura

- [1] Kret W., Michnowicz M., Drukarka 3D oparta na dokumentacji, Edukacja - Technika - Informatyka 2013, 2, 4, 393-397.
- [2] <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/industry/architecture/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [3] Konopacki J., Przydatność konsumenckich drukarek 3D w technologii FDM do tworzenia modeli architektonicznych, [w:] Przestrzeń i Forma, tom 18, Wydawnictwo Szczecińska Fundacja Edukacji i Rozwoju Addytywnego SFERA, Kraków 2012, 65-80.
- [4] Filipiak M., Aspekty budowy i eksploatacji drukarek 3D, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering 2015, 275-282.
- [5] Propox, ABC drukowania 3D v1.1
- [6] centrumdruku3d.pl [odczyt 29.03.2016 r.].
- [7] <http://www.perfekthouse.pl/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [8] <http://www.contourcrafting.org/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [9] <http://techtutor.pl/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [10] <http://3dprinting.com/news/winsun-3d-printed-giant-apartment-building-villa/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [11] <http://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [12] <http://www.3ders.org/articles/20151016-worlds-first-3d-printed-metal-bridge-begins-red-light-district-of-amsterdam> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [13] <http://www.dezeen.com/2015/10/19/joris-laarman-3d-printed-canal-bridge-amsterdam/> [odczyt 29.03.2016 r.].
- [14] <http://swiatdruku3d.pl/robot-samodzielnie-wydrkuje-stalowy-most-w-powietrzu/> [odczyt 29.03.2016 r.].

Streszczenie

W artykule przedstawiono wykorzystanie technologii druku przestrzennego w budownictwie zarówno w trakcie wykonywania projektu architektonicznego poprzez tworzenie makiet 3D realizowanej konstrukcji, jak i na etapie wznoszenia obiektów budowlanych, produkując w całości m.in. budynki mieszkalne.

Słowa kluczowe: druk 3D, technologia budowy 3D

The use of 3D printing technologies in the civil engineering

Abstract

In the paper there is presented the use of 3D printing technology in building engineering, which is used both during performing of the architectural design by creating 3D models of planned construction as well as during the stage of erecting buildings.

Keywords: 3D printing, 3D construction technology