

DOI: 10.37105/enex.2022.1.05

# ENGINEERING EXPERT RZECZOZNAWCA



## Analiza druku 3D w budownictwie w zakresie wad i zalet jego zastosowania

Anna STARCZYK – KOŁBYK (ORCID ID: 0000-0002-5448-7366)

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska  
Autor do korespondencji: anna.starczyk@wat.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki analizy dotyczącej druku 3D w budownictwie na przestrzeni ostatnich lat. W badaniach przeanalizowano stosowane rozwiązania w zakresie dostępnych rodzajów drukarek oraz przykłady wykonanych z ich pomocą przedsięwzięć budowlanych. Następnie przedstawiono wyniki analizy skupiając się na zestawieniu zalet i wad zastosowania druku 3D w budownictwie.

**Słowa kluczowe:** technologia 3D, druk 3D w budownictwie, rodzaje drukarek 3D, wady i zalety stosowania druku 3D.

**Oficjalną wersją publikacji jest wersja angielskojęzyczna – posiada DOI. Niniejszy plik jest polskojęzyczną wersją.**

**Zacytuj ten artykuł w następujący sposób:**

Starczyk-Kołbyk, A. Analysis of 3D printing in the construction industry in terms of its pros and cons, Engineering Expert, p. 41-50, No. 1, 2022, DOI: 10.37105/enex.2022.1.05

## 1. Wprowadzenie

W artykule poddano analizie zastosowanie druku 3D w Polsce i na świecie na przestrzeni ostatnich lat. Tezy pracy postawione podczas badania dotyczyły możliwości rozwoju druku 3D w budownictwie, tj. 'Rozwój druku 3D jest faktem. W celu dowiedzenia tak postawionej tezy dokonano analizy wad i zalet zastosowania druku 3D w budownictwie, przedstawiono przykłady wykorzystania druku 3D podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych oraz perspektywy na przyszłość.

Podczas dokonanej analizy korzystano z publicznie dostępnych internetowych źródeł literaturowych oraz zamieszczono w niniejszej publikacji fotografie i dokumentacje zdjęciowe również zaczerpnięte z publicznie dostępnych stron internetowych.

## 2. Opis technologii

Koncepcja drukowania 3D polega na wytłaczaniu odpowiedniej mieszanki i nakładaniu jej warstwa po warstwie, łącząc ze sobą kolejne warstwy materiału w oparciu o trójwymiarowy model komputerowy.

Przygotowana mieszanka umieszczana jest w zbiorniku urządzenia, skąd transportowana jest do głowicy drukarki. Następnie mieszanka nakładana jest na powierzchnię obiektu albo na wcześniej wydrukowane warstwy.

Przez długi czas ograniczeniem druku 3D były niewielkie rozmiary roboczej objętości drukarek 3D, a więc i wielkości drukowanych obiektów.

W 2015 roku na targach w Berlinie pokazano ogromną (w tamtym czasie) drukarkę 3D o objętości roboczej  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ , co oczywiście nie było wystarczające dla budownictwa.

Wprowadzenie robotów z drukującym w 3D ramieniem lub wykorzystanie suwnic radykalnie zmieniło tę sytuację (Dodziuk H., 2020), (Major M., Minda I., 2022).



Rys. 1. Drukarka 3D Apis Cor (8,5 m x 1,6 m x 1,5 m) [Walasek M., 3d.edu.pl, 2021].

### 3. Stosowane rozwiązania

Możemy wyróżnić trzy rodzaje urządzeń do drukowania 3D:

#### 1) Drukarki 3D z suwnicą

Składają się z bramki, trzech suwnic i głowicy drukującej. Z jej pomocą można drukować budynek sekcjami albo w całości.



Rys. 2. Drukarka 3D Vulcan (11,5 stopy wysokości, 33 stopy szerokości) [Walasek M., 3d.edu.pl, 2021].



## 2) Drukarki delta

Nie są ograniczone przez trójwymiarowy model i mogą tworzyć bardziej skomplikowane konstrukcje. Głowica drukująca zawieszona jest na dźwignach przymocowanych do pionowych prowadnic.



Rys. 3. Drukarka Big Delta, Crane Wasp [PlanRadar, 2022], [WASP].

## 3) Drukarki z mechanicznymi ramionami.

Wykorzystują one robota albo sieć robotów, takich jak np. manipulator przemysłowy z wytłaczarką, kontrolowany przez komputer.



Rys. 4. Drukarka CyBe Construction CyBe RC 3Dp, CyBe R 3Dp [Walasek M., 3d.edu.pl, 2021].

#### 4. Przykłady realizacji

1) Siedziba główna: Rosja

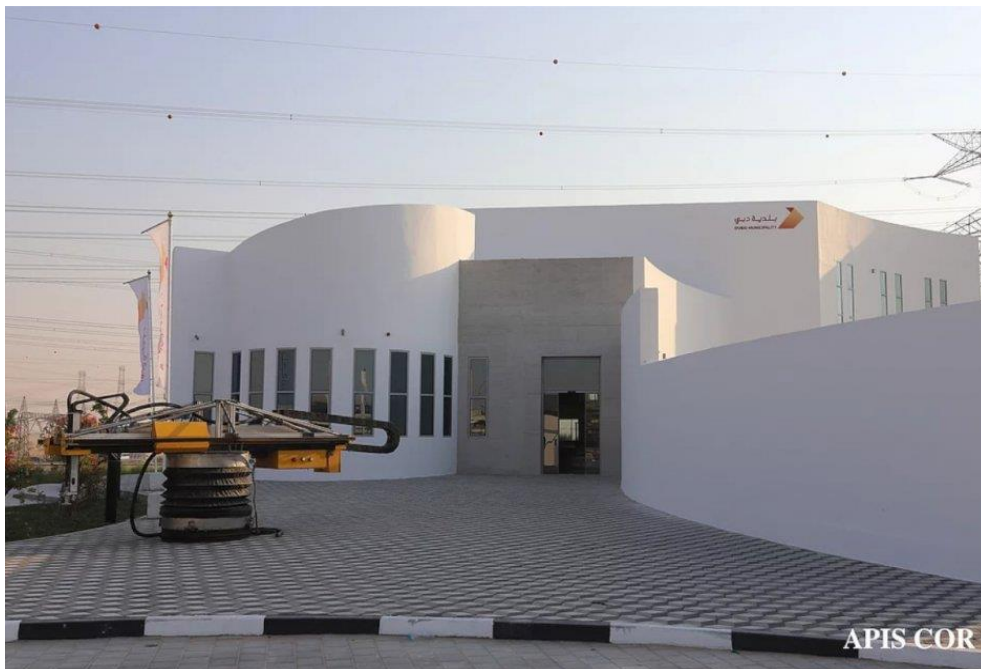
Rodzaj konstrukcji: Budynki niskie, ale firma pracuje nad stworzeniem sprzętu dla budownictwa wysokościowego

Region działania: Globalny

Drukarka: 3D Apis Cor (8,5 m x 1,6 m x 1,5 m)



Rys. 5. Obiekt zrealizowany przez drukarkę Apis Cor [Walasek M., 3d.edu.pl, 2021].



Rys. 6. Dwupiętrowy biurowiec w Dubaju, Zjednoczone Emiraty Arabskie [dezeen, 2019].



2) Siedziba główna: Teksas (USA)

Typ konstrukcji: Budynki o niskiej zabudowie

Region działania: Globalny

Drukarka: 3D Vulcan (11,5 stopy wysokości, 33 stopy szerokości)



**Rys. 7.** Budowa osiedla w Meksyku złożonego z 50 domów realizowana przez drukarkę Vulcan firmy Icon [Walasek M., 3d.edu.pl, 2021].

3) Siedziba główna: Francja

Typ konstrukcji: Budynki o niskiej zabudowie

Region działania: Globalny

Drukarka: XtreeE Duże 6-osiove ramię robotyczne



**Rys. 8.** Obiekt zrealizowany przez drukarkę XtreeE [Walasek M., 3d.edu.pl, 2021].

4) Siedziba główna: Chiny

Rodzaj konstrukcji: Budynki niskie i wysokie

Region działania: Globalny

Drukarka: Winsun (Yingchuang Building Technique) 3D o długości 492 stóp



Rys. 9. Domy drukowane w 3D przez WinSun w Chinach [PlanRadar, 2022].



Rys. 10. Biuro przyszłości z Zjednoczonych Emiratach Arabskich [PlanRadar, 2022].

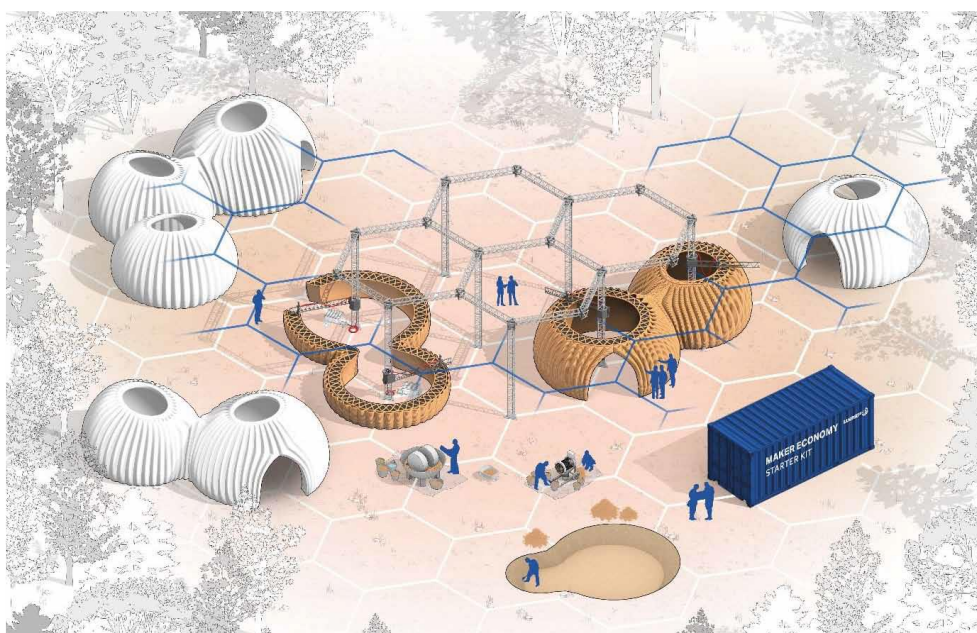


5) Siedziba główna: Kalifornia (USA)  
Typ konstrukcji: Niskie budynki modułowe  
Region działania: Globalny  
Drukarka: Mighty Buildings niestandardowa



Rys. 11 Obiekt zrealizowany przez drukarkę Mighty Buildings [Walasek M, 3d.edu.pl, 2021].

6) Siedziba główna: Włochy  
Rodzaj konstrukcji: Budynki o niskiej zabudowie, ale firma pracuje nad rozszerzeniem swojego portfolio  
Region działania: Głównie Włochy  
Drukarki: Big Delta, Crane Wasp  
Ta włoska firma (WASP) przedstawiła jedną z najciekawszych inicjatyw w dziedzinie taniego i ekologicznego budownictwa – projekt osiedla TECLA



Rys. 12. Projekt osiedla TECLA firmy WASP [Dodziuk H., 2020], [WASP].

## 5. Wyniki analizy

**Tabela 1.** Zestawienie zalet i wad zastosowania druku 3D w budownictwie [Walasek M., Maciążek M., 3d.edu.pl, 2021], [PlanRadar, 2022].

	Zalety	Uzasadnienie	Wady	Uzasadnienie
1.	Budownictwo zero waste	<p>Prawie jedna trzecia odpadów w Wielkiej Brytanii pochodzi z branży budowlanej. Szacuje się, że branża budowlana wygeneruje 2,2 mld ton odpadów na całym świecie do 2025 roku. Duża część pochodzi z rozbiórki, ale również i z placu budowy. Często zamawia się zbyt dużo materiału, co generuje niepotrzebne koszty i odpady.</p> <p>Druk 3D może ograniczyć generowanie odpadów prawie do zera. Drukarka 3D korzysta jedynie z takiej ilości materiału, jaka jest potrzebna do wydrukowania obiektu. Może się to wiązać z ogromnymi oszczędnościami.</p>	Koszt badań i rozwoju	Większość firm budowlanych ma niskie marże zysku. Inwestycja, która umożliwiłaby zastosowanie projektów drukowanych w 3D na szeroką skalę, wymagałaby ogromnego nakładu pieniędzy.
2.	Oszczędność czasu i pieniędzy	<p>Tak samo jak w przypadku wykorzystania sztucznej inteligencji w budownictwie, drukarka 3D może działać przez całą dobę, 7 dni w tygodniu. Może się to przyczynić do szybszej realizacji projektów budowlanych oraz zredukowania kosztów związanych z wykonywaniem prac niewymagających wysokich kwalifikacji. Co więcej, drukowanie 3D nie wymaga przygotowywania obiektów tymczasowych, takich jak rusztowania czy szalunki, powszechnie wykorzystywanych w tradycyjnym budownictwie.</p>	Trudność integracji innych komponentów	Drukarki 3D świetnie sobie radzą z unikatowymi projektami. Jeśli jednak mamy do czynienia z budynkiem, który stosuje wiele różnych mediów albo elementów, które nie nadają się za bardzo do drukowania 3D, zastosowanie drukarki 3D będzie stanowić większy problem niż budowa z wykorzystaniem tradycyjnych technik.
3.	Możliwość realizacji nietypowych projektów	Jedną z najbardziej atrakcyjnych właściwości drukarek 3D jest możliwość realizacji złożonych i nietypowych projektów, nawet takich „na raz”. Działanie drukarek 3D polega na nawarstwianiu materiału, dlatego można zaprogramować je do przygotowania bardziej skomplikowanych kształtów, które byłyby znacznie trudniejsze w realizacji z wykorzystaniem technik tradycyjnych.	Niedostatek wykwalifikowanej siły roboczej	Przy aktualnym niedoborze pracowników w branży budowlanej, drukowanie 3D wiązałoby się z posiadaniem jeszcze bardziej wyspecjalizowanych umiejętności, tak więc dostępność kandydatów byłaby jeszcze mniejsza.
4.	Minimalizacja błędów ludzkich i poprawa bezpieczeństwa	Pracownicy budowlani są jedną z grup najbardziej narażonych na wypadki. Druk 3D najprawdopodobniej przyczyni się do zmniejszenia częstotliwości poważnych i śmiertelnych wypadków w miejscu pracy ze względu na większą automatyzację i programowalność procesu budowy. Budowa z wykorzystaniem robotów wymaga ustandaryzowanych, dokładnych i pełnych danych	Kontrola jakości na budowie	Warunki pogodowe są w stanie spowolnić tradycyjną budowę, a w przypadku drukowania 3D może być jeszcze gorzej. Czynniki środowiskowe mogą sprawić, że komercyjne zastosowanie druku 3D w budownictwie może przerodzić się w porażkę.



Analiza druku 3D w budownictwie w zakresie wad i zalet jego zastosowania

		cyfrowych budynku. Drukowanie 3D jest bardziej precyzyjne i wydajne, a poprawki związane z korektą błędów ludzkich lub sprzecznymi informacjami zdarzają się niezwykle rzadko.		Co więcej, kontrola jakości tak realizowanej budowy może być trudnym zadaniem, wymagającym ciągłego ludzkiego nadzoru.
5.	Zmniejszone zużycie energii	Drukowanie 3D w budownictwie promuje wykorzystanie lokalnie dostępnych, naturalnych materiałów. Może to przyczynić się do ograniczenia zużycia energii na transport, budowę czy produkcję dzięki przetwarzaniu i instalacji w większości miejscowych materiałów z wykorzystaniem mniejszej ilości energii. Miejscowe materiały często lepiej radzą sobie w lokalnych warunkach klimatycznych, co pozwala zaoszczędzić na ociepleniu budynku, a to wiąże się ze zmniejszeniem kosztów realizacji.	Brak przepisów i regulacji	Druk 3D pojawia się ostatnio w nagłówkach gazet, ale jeszcze nie wywarł wystarczającego wpływu na branżę budowlaną. Przerzucenie części zadań na budowie z ludzi na drukarkę może skomplikować kwestie związane z odpowiedzialnością za wykonaną pracę. Dopóki nie pojawią się odpowiednie przepisy i regulacje, druk 3D nie będzie najchętniej wybraną formą tworzenia konstrukcji przez inżynierów, którzy ponoszą odpowiedzialność za to co będzie drukowane. W związku z brakiem regulacji prawnych druk 3D jest zbyt nową i niepewną formą wznoszenia obiektów na ten moment.
6.	Otwarcie nowych rynków	Wykorzystanie drukarki 3D umożliwia firmom budowlanym wejście na nowe rynki, które wcześniej były dla nich niedostępne. Dla świeżo założonych firm posiadanie drukarki 3D może stanowić przewagę konkurencyjną. Co więcej, druk 3D to świetny sposób na zwiększenie rozpoznawalności firmy budowlanej wśród osób zainteresowanych zmniejszeniem wpływu tradycyjnego budownictwa na naszą planetę.		
7.	Druk 3D skraca łańcuch dostaw i cały proces projektowania.	Z uwagi na to, iż drukowanie 3D odbywa się na miejscu, można wyeliminować kilka czasochłonnych etapów obecnych w procesie projektowania: Architekci, inżynierowie, podwykonawcy, klienci i organy wykonawcze nie są już tak potrzebne.		

8.	Układanie rur i wykonanie instalacji elektrycznej staje się prostsze i wydajniejsze.	W tradycyjnym budownictwie wykonanie ocieplenia oraz podłączenie systemów grzewczych, bieżącej wody czy prądu, związane jest z pracochłonną instalacją na miejscu. Część tych funkcji można zrealizować w procesie drukowania 3D. Drukowanie pustych ścian wymaga mniej zasobów, poprawia izolację i może pozwolić na wykorzystanie przewodów ciepłej oraz zimnej wody drukowanych w 3D.
9.	Lepszy proces logistyczny	Wiele elementów uszkadza się w transzycie, a tego da się uniknąć poprzez drukowanie ich na placu budowy. Elementy są dodatkowo wzmacniane, żeby wytrzymać potencjalne zagrożenia związane z transportem, co generuje większe koszty a takie działania nie muszą być konieczne przy drukowaniu 3D na placu budowy.
10.	Upowszechnienie niestandardowych projektów na rynku.	W tradycyjnym budownictwie realizacja domu z pomocą architekta jest po prostu dla wielu klientów zbyt droga. Drukowanie 3D w betonie sprawia, że kształt przestaje mieć znaczenie: nie wpływa na koszt. To oznacza, że w przyszłości więcej ludzi będzie stać na zakup domu „na miarę”, który będzie dokładnie dopasowany do ich potrzeb.

## 6. Wnioski

Przeprowadzona analiza wskazuje jednoznacznie, iż perspektywy na przyszłość druku 3D w budownictwie są obiecujące. Wprowadzenie regulacji prawnych oraz odpowiednich przepisów pozwoliłoby rozszerzyć zakres wykorzystywania druku 3D przy realizacji inwestycji budowlanych.

Już dziś technologia druku 3D jest wykorzystywana i rozwijana przez większość krajów na świecie - Dubaj wprowadził ogólnokrajową politykę takich zastosowań, według ich strategii w Dubaju już w 2025 roku każdynowy budynek ma być w 25% wydrukowany w 3D, podobne ogólnokrajowe strategie zostały wprowadzone w USA (America Makes) i w Wielkiej Brytanii (Innovate UK).

## Literatura

- Dodziuk H. (2020). *Druk 3D w budownictwie*; Napędy i sterowanie Nr 12, grudzień 2020 r.
- Major M., Minda I. (2022). *Zastosowanie technologii druku przestrzennego w budownictwie*; Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej; Budownictwo 22; DOI: 10.17512/znb.2016.1.23
- Walasek M. (2021). *Domy drukowane w 3D – 8 powodów, świadczących o tym, że są przełomowym rozwiązaniem w budownictwie*; 3d.edu.pl; 2021
- Maciążek M. (2021). *10 najważniejszych zalet druku 3D w 2021 roku*; 3d.edu.pl; 2021
- PlanRadar (2022). *Jakie są korzyści druku 3D w budownictwie?*; PlanRadar; 2022
- Walasek M. (2021). *7 Największych firm budujących domy drukowane w 3D*; 3d.edu.pl; 2021
- dezeen; (2019). *World's largest 3D-printed building completes in Dubai*; 2019; <https://www.dezeen.com/2019/12/22/apiscor-worlds-largest-3d-printed-building-dubai>