

PRZEGLĄD TECHNIK DRUKU 3D STOSOWANYCH W PROTOTYPOWANIU I PLANOWANIU OBSZARÓW MIEJSKICH

Jakub Lewandowski, Marek Macko, Andrzej Szczepańczyk, Zbigniew Szczepański,
Tomasz Lewandowski

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Mechatroniki, Wydział Mechatroniki
ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz
e-mail: jlewy@ukw.edu.pl

Streszczenie: Druk 3D jest znany jako "produkcja addytywna", tj. technologia polegająca na tworzeniu trójwymiarowych obiektów poprzez nakładanie na siebie warstw materiału. Obecnie znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym: produkcji prototypów, medycynie, lotnictwie i kosmonautyce. W prototypowaniu druk 3D pozwala znacznie przyspieszyć proces projektowania i obniżyć koszty dzięki możliwości wczesnego testowania różnych wersji prototypu. W planowaniu infrastruktury miejskiej druk 3D pozwala na produkcję realistycznych modeli całych miast lub poszczególnych elementów, takich jak mosty, drogi czy osiedla mieszkaniowe. Daje to możliwość późniejszej szybkiej modyfikacji projektów i dostosowania ich do zmieniających się potrzeb miasta. W niniejszej pracy przedstawiono przykłady wykorzystania wybranych technologii druku (FDM i CJP) w prototypowaniu i planowaniu przestrzennym.

Słowa kluczowe: Druk 3D, prototypowanie, planowanie miejskie, komputerowe wsparcie projektowania, modelowanie

Overview of 3D printing techniques used in prototyping and planning of city areas

Abstract: 3D printing is known as 'additive manufacturing' i.e. a technology that involves creating three-dimensional objects by adding layers of material on top of each other. Currently, it is used in many areas, including: prototype production, medicine, aviation and cosmonautics. In prototyping, 3D printing allows to significantly speed up the design process and reduce costs thanks to the possibility of early testing of different versions of the prototype. In planning urban infrastructure, 3D printing allows on production of realistic models of entire cities or individual elements, such as bridges, roads or housing estates. This makes a possibility to quickly modify projects later and adapt them to the changing needs of the city. This work presents examples of the use of selected printing technologies (FDM and CJP) in prototyping and spatial planning.

Keywords: 3D printing, prototyping, city area planning, computer support for design, modeling

1. Wprowadzenie

W dynamicznie zmieniającym się krajobrazie nowoczesnego planowania miejskiego i rozwoju produktów, integracja najnowszych technologii stała się niezbędna. Wśród tych postępów technologicznych druk 3D wyróżnił się jako narzędzie przełomowe, rewolucjonizujące procesy prototypowania i planowania obszarów miejskich. Wykonywane tradycyjnie projekty budowlane są zazwyczaj fragmentaryczne, a ich unikatowy charakter znacząco utrudnia proces automatyzacji w tej branży [1, 2]. Jak wynika z dotychczasowych analiz, od wielu już lat produktywność w branży budowlanej pozostaje na

niezmienionym poziomie [1]. Sektor budownictwa jest ponadto odpowiedzialny za znaczące obciążenia dla środowiska, zużywając 48% globalnej energii dostarczanej w skali roku i wyczerpując zasoby naturalne [2]. Oprócz eksploatacji materiałów, produkcja materiałów budowlanych i prace eksploatacyjne odpowiadają za 38% światowej emisji gazów cieplarnianych [2]. Obecne wskaźniki produktywności w tym sektorze, rozumiane jako nakład pracy człowieka w przeliczeniu na roboczogodziny, w połączeniu ze wzrostem urbanizacji stanowią problem w utrzymaniu rosnącego popytu na mieszkania [2]. Tradycyjne procedury konstrukcyjne napotykają przeszkody w przypadku realizacji skomplikowanych geometrycznie kształtów. Wówczas również ich precyzja wykonania jest

niewystarczająca [3,4]. W branży budowlanej wykorzystuje się znacząco dużo surowców naturalnych takich jak piasek, glina, wapień (główny składnik cementu), skała i żwir. Jest to związane z procesem globalnej urbanizacji (zwiększone zapotrzebowanie na materiały budowlane) [4]. Największa ilość odpadów wytwarzanych w Europie (blisko 36%) wywodzi się z branży budowlanej [1, 4]. Ulepszenia procedur budowlanych i wykorzystanie bardziej ekologicznych produktów to kluczowe kwestie ściśle powiązane z ochroną środowiska, zwiększeniem efektywności stosowanych procedur i ekonomicznym zarządzaniem zasobami materiałowymi [1, 2, 3, 4]. Wykorzystanie technologii druku 3D przekracza tradycyjne granice, oferując precyzję i kreatywność w tworzeniu koncepcji oraz późniejszej realizacji projektów zagospodarowania przestrzeni miejskich. Ponadto, różne technologie druku 3D zakorzeniły się mocno w obszarze prototypowania, jak również w medycynie. Szczególną rolę odgrywa w chirurgii (w zakresie planowania przedoperacyjnego, wskazówek śródoperacyjnych oraz produkcji spersonalizowanych implantów, jak również w procesie edukacji personelu, stażystów bądź samych pacjentów [5]) – programy do segmentacji umożliwiają identyfikację konkretnych wokseli w wybranym fragmencie anatomii, w oparciu o zapis z MRI lub CT, a następnie wyizolowanie go w postaci elementów składowych, pozwalających na wygenerowanie kompletnego pliku, rozpoznawalnego przez drukarki 3D [5].

Celem niniejszego artykułu jest eksploracja i syntetyczne podsumowanie wieloaspektowego zastosowania druku 3D w prototypowaniu i planowaniu obszarów miejskich, jak również w obszarze zastosowań medycznych. Szczególną uwagę poświęcono temu, w jaki sposób druk 3D wpływa na iteracje projektowe, opłacalność i ogólną poprawę środowisk miejskich. Podczas podróży przez dziedziny architektury, rozwoju miejskiego i projektowania produktów spersonalizowanych i biokompatybilnych, wpływ druku 3D staje się coraz bardziej widoczny, kształtując sposób, w jaki wyobrażamy sobie, tworzymy i konstruujemy świat wokół nas. Od usprawniania procesów prototypowania, po redefiniowanie parametrów planowania miejskiego, wykorzystanie druku 3D stoi na czele rewolucji technologicznej, która obiecuje przekształcić nasze miasta i produkty, z których codziennie korzystamy.

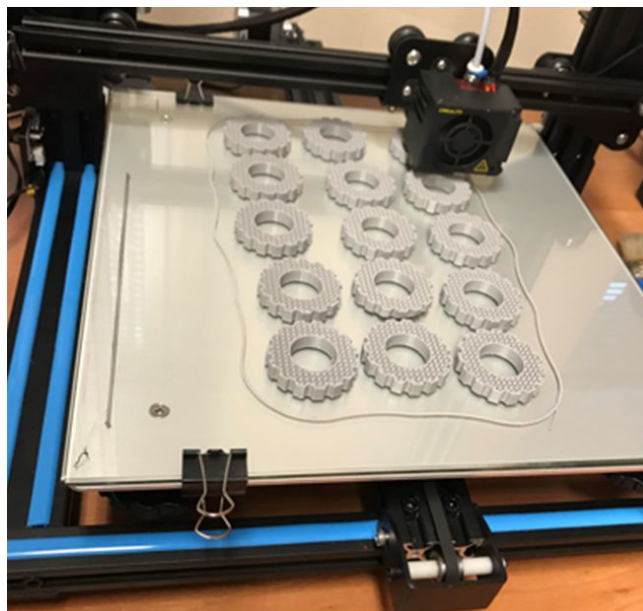
2. Materiał i metody

W rozdziale zostały scharakteryzowane najczęściej wykorzystywane metody druku 3D, z uwzględnieniem kwalifikacji do stosowania wybranej metody w prototypowaniu, planowaniu infrastruktury miejskiej, czy też do zastosowań medycznych. Przeznaczenie wydruku predestynuje dobór technologii, jak również materiału, który w danej technologii będzie podlegał obróbce, tak aby uzyskany finalnie wyrób gotowy spełniał założenia przyjęte na etapie projektowania.

2.1 Technologia FDM

W technologii FDM materiałem budulcowym jest termoplastyczne tworzywo w postaci żyłki nawiniętej na szpule. Materiał ten jest doprowadzany do elementu drukarki – ekstrudera, gdzie jest ogrzewany i topiony, a następnie rozprowadzany warstwa po warstwie, według obrysu modelu 3D, przetworzonego przez oprogramowanie do druku 3D.

Na zdjęciu poniżej przedstawiono kadr z procesu druku detali w technologii FDM w celu wsparcia działań medyków podczas trwania pandemii COVID.



Rys. 1. Proces druku FDM.

Na kolejnym zdjęciu został zobrazowany proces nakładania warstwy materiału termoplastycznego, na obiekcie zbudowanym w procesie drukowania. Wyraźnie widoczne jest nakładanie kolejnych warstw detalu.



Rys. 2. Nakładanie kolejnej warstwy druku 3D.

2.2 Technologia CJP

Technologia CJP to druk 3D z proszku gipsowego w pełnym kolorze. Na stole roboczym drukarki 3D rozsypywana jest warstwa proszku gipsowego. Następnie głowica drukująca przesuwa się nad nim w osi X, natryskując selektywnie lepiszcze i kolorowy atrament. Na zdjęciu nr 3 przedstawiono detale z druku CJP, już po oczyszczeniu i wstępnym utrwaleniu.



Rys. 3. Detale z druku CJP po oczyszczeniu i wstępnym utrwaleniu.

W technologii tej na szczególną uwagę zasługuje trwałość i intensywność barw, uzyskiwana po przejściu pełnego procesu utrwalaenia. Nie sposób zapewnić takiego nasycenia

kolorów przy wykorzystaniu innej technologii. Ma to duże znaczenie zwłaszcza w procesie tworzenia makiet różnych obiektów architektonicznych np. dla celów muzealnych. Rysunek nr 4 przedstawia projekt budynku wydrukowany w technologii CJP.



Rys. 4. Model budynku wydrukowany w technologii CJP

2.3 Materiały

Wybór odpowiedniego materiału do druku 3D zależy od wielu czynników, takich jak:

- rodzaj technologii druku 3D: różne technologie druku 3D wymagają stosowania różnych materiałów,
- właściwości: materiały do druku 3D powinny charakteryzować się odpowiednimi właściwościami fizycznymi i mechanicznymi, aby spełnić wymagania charakterystyczne dla danego zastosowania,
- cena: materiały do druku 3D mogą różnić się ceną.

Do najpopularniejszych materiałów do druku 3D należą: termoplasty - materiały termoplastyczne są najpopularniejszym typem materiałów do druku 3D. Wytwarza się je z polimerów, które mogą być topione i ponownie formowane.

Do termoplastyków wykorzystywanych do druku 3D należą m.in.:

- Polipropylen (PP): materiał o dobrych właściwościach mechanicznych i chemicznych. Jest odporny na ścieranie, korozję i temperaturę.

- Polietylen (PE): materiał o niskiej gęstości i dużej wytrzymałości na rozciąganie. Jest odporny na korozję i uszkodzenia mechaniczne.
- ABS (Acrylonitrilo-butadieno-styrene): materiał o dobrej wytrzymałości mechanicznej i odporności na uderzenia. Jest również odporny na temperaturę i chemikalia.
- Żywice: żywice są materiałami ciekłymi, które utwardzają się pod wpływem promieniowania UV lub lasera.
Do żywic wykorzystywanych do druku 3D należą m.in.:
 - Żywice epoksydowe: materiały o wysokiej wytrzymałości mechanicznej i chemicznej. Są odporne na ścieranie, korozję i temperaturę.
 - Żywice poliuretanowe: materiały o dobrych właściwościach mechanicznych i odporności na uderzenia. Są również odporne na temperaturę i chemikalia.
 - Żywice fotopolimerowe: materiały o szerokim zakresie zastosowań. Mogą być wykorzystywane do drukowania modeli o różnych właściwościach fizycznych i mechanicznych.
- Metale: metale są materiałami o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych. Są wykorzystywane do drukowania modeli o dużej wytrzymałości i odporności na uszkodzenia.
Do metali wykorzystywanych do druku 3D należą m.in.:
 - Aluminium: materiał o niskiej gęstości i wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Jest również odporny na korozję.
 - Stal: materiał o bardzo wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Jest również odporny na korozję i uszkodzenia.
 - Tytan: materiał o bardzo wysokiej wytrzymałości mechanicznej i odporności na korozję.
 - Ceramika: ceramika jest materiałem o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych i odporności na temperaturę. Jest wykorzystywana do drukowania modeli o dużej wytrzymałości i odporności na uszkodzenia.
 - Szkło: szkło jest materiałem o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych i odporności na temperaturę. Jest wykorzystywane do drukowania modeli o dużej wytrzymałości i odporności na uszkodzenia.

Oprócz wymienionych materiałów, do druku 3D wykorzystywane są również inne materiały, takie jak gumy,

kompozyty, materiały biokompatybilne i materiały specjalne.

Wybór odpowiedniego materiału do druku 3D jest ważnym czynnikiem, który decyduje o jakości i właściwościach wydrukowanego modelu.

3. Wyniki

3.1. Wykorzystanie druku 3D w prototypowaniu

Druk 3D jest coraz częściej wykorzystywany w prototypowaniu, ponieważ umożliwia szybkie i niedrogie wytwarzanie obiektów trójwymiarowych. Prototypy wykonane w technologii druku 3D mogą być wykorzystywane do testowania funkcjonalności, ergonomii i estetyki produktu. Mogą być również wykorzystywane do weryfikacji projektów i doświadczeń klientów. Rysunek nr 5 przedstawia efekt procesu wytwarzania prototypowej obudowy do długopisu.

Zalety wykorzystania druku 3D w prototypowaniu:

- Szybkość: drukowanie 3D umożliwia szybkie wytwarzanie prototypów, nawet w ciągu kilku godzin.
- Niski koszt: drukowanie 3D jest stosunkowo tanie, zwłaszcza w porównaniu z tradycyjnymi metodami prototypowania.
- Elastyczność: drukowanie 3D umożliwia wytwarzanie prototypów o dowolnych kształtach i rozmiarach.
- Dokładność: drukowanie 3D umożliwia uzyskanie prototypów o wysokiej dokładności.

Przykłady zastosowań druku 3D w prototypowaniu:

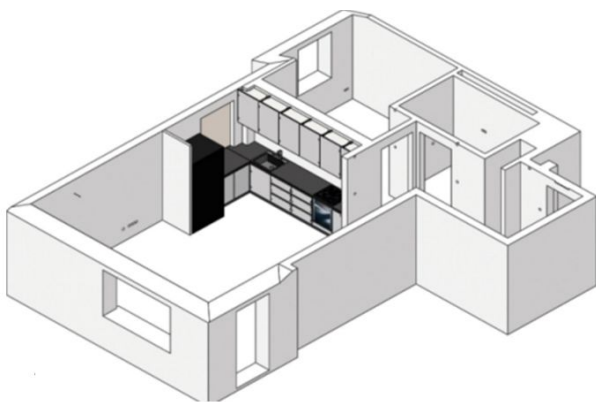
- Przemysł: druk 3D jest wykorzystywany w przemyśle do prototypowania części zamiennych, narzędzi i urządzeń.
- Medycyna: druk 3D jest wykorzystywany w medycynie do prototypowania protez, implantów i modeli anatomicznych.
- Obronność: druk 3D jest wykorzystywany w systemach obronności, do prototypowania broni, pojazdów i urządzeń.
- Sztuka: druk 3D jest wykorzystywany w sztuce do tworzenia dzieł sztuki, biżuterii i przedmiotów użytkowych.



Rys. 5. Prototyp oprawki na długopis.

3.2. Wykorzystanie druku 3D w planowaniu infrastruktury miejskiej

Druk 3D jest niezastąpiony w prototypowaniu, gdyż pozwala szybko i efektywnie tworzyć fizyczne modele obiektów. Przykłady zastosowań to np. tworzenie prototypów samochodów, sprzętu medycznego, czy architektonicznych modeli budynków. Zalety druku 3D w prototypowaniu to przyspieszenie procesu projektowania, obniżenie kosztów i możliwość dokładnego testowania wczesnych wersji projektu. Na rysunku 6 przedstawiono projekt budynku stworzony przy wykorzystaniu programów CAD/CAM.



Rys. 6. Projekt budynku 3D.

W planowaniu infrastruktury miejskiej druk 3D pozwala na wytwarzanie realistycznych modeli miast i ich elementów, takich jak mosty, drogi czy osiedla mieszkaniowe. Druk 3D ułatwia wizualizację projektów, co jest nieocenione podczas procesu zatwierdzania i komunikacji z kontrahentami. Dodatkowo, technologia ta pozwala na szybką modyfikację projektów i dostosowanie ich do zmieniających się potrzeb miasta. Poniżej, na rysunkach nr 7 i 8 zostały zilustrowane makiety obiektów architektonicznych, wykonanych w technologii CJP.



Rys. 7. Makieta wydrukowana z użyciem technologii CJP.



Rys. 8. Model sieci wodnej miasta

3.3. Wykorzystanie druku 3D w medycynie

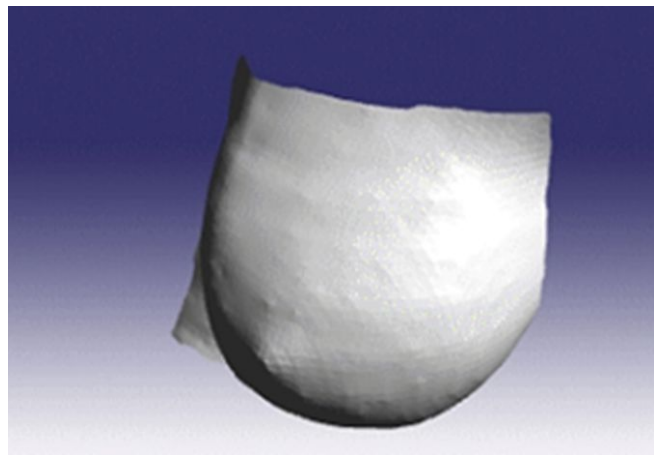
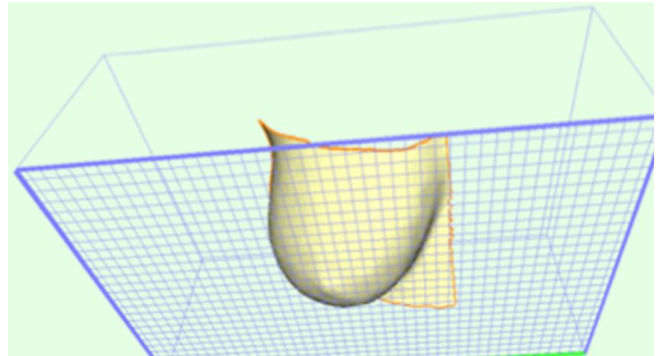
W zastosowaniach medycznych wykorzystywany jest skan i druk 3D. Metoda ta jest coraz częściej wykorzystywana do przygotowania sztucznych narządów do ćwiczeń preoperacyjnych lub dla studentów medycyny. Formy drukowane znajdują zastosowanie w protetyce i implantologii. Technologia jest tania i ogólnodostępna,

pozwala na produkcję większej ilości komponentów, a zastosowanie skanu umożliwia precyzyjne ich odwzorowanie. Rysunek nr 9 przedstawia elementy kostne, odtworzone w technologii druku 3D.



Rys.. 9 Elementy kości.

Skanowanie pozwala na odwzorowanie geometrii np. odtworzenie kształtu piersi u pacjentki po mastektomii, poprzez wykonanie skanu zdrowej piersi i odbicia lustrzanego. Następnie w oparciu o skan tworzone są formy do wypieniania fantomów/protezy piersi. Na rysunku nr 10. przedstawione zostały najważniejsze etapy w procesie przygotowania protezy (wypełnienia biustonosza) dla pacjentki po zabiegu mastektomii. Podobne uzupełnienia, wykonywane w tej technologii, mogą być stosowane również u pacjentek poddawanych w ostatnich latach bardziej powszechnemu zabiegowi oszczędzającemu (BCT), obejmującemu wycięcie samego guza z marginesem chorobowo zmienionych tkanek wokół niego.





Rys. 10 Najważniejsze etapy wytwarzania protezy piersi.

4 Dyskusja

4.1. Ograniczenia obecnych technologii

Pomimo swojego innowacyjnego potencjału, druk 3D w prototypowaniu i planowaniu miast napotyka kilka ograniczeń. Jednym z głównych ograniczeń jest rozmiar drukarek 3D ograniczający skalę prototypów, które można wyprodukować i złożoność modeli miejskich, jakie można wytworzyć. Ponadto materiały dostępne do druku 3D nie zawsze dokładnie odzwierciedlają właściwości materiałów końcowych stosowanych w budownictwie, co wpływa na niezawodność prototypów. Kolejnym istotnym ograniczeniem jest koszt, ponieważ drukowanie 3D może być drogie, szczególnie w przypadku projektów na dużą skalę lub wielu iteracji prototypów. Problemem jest również szybkość, ponieważ drukowanie 3D może być czasochłonne, zwłaszcza w przypadku skomplikowanych projektów lub modeli wymagających wysokiego poziomu szczegółowości. Rozdzielczość druku 3D może nie zawsze odpowiadać precyzji wymaganej do prototypowania lub planowania miasta, co prowadzi do niedokładności w produkcji końcowym. Obawy o środowisko naturalne wynikają z zastosowania niektórych materiałów w druku 3D, a także zużycia energii związanego z tym procesem, co rodzi pytania o zrównoważony rozwój w zarządzaniu miastami. Wreszcie, wyzwania regulacyjne i standardy integracji druku 3D z procesami planowania miejskiego mogą utrudniać jego powszechne przyjęcie i wdrożenie [6-12].

4.2 Wiodące kierunki dalszych badań

Przyszłe badania w dziedzinie druku 3D do prototypowania i planowania miast powinny skupić się na rozwoju nauki o materiałach w celu opracowania bardziej zrównoważonych i strukturalnie solidnych materiałów drukarskich. Badanie metod zwiększania skalowalności technologii druku 3D umożliwiłoby tworzenie większych i bardziej skomplikowanych prototypów, ułatwiając bardziej kompleksowe zrozumienie możliwości projektowania urbanistycznego. Prace nad integracją druku 3D technologiami takimi jak sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe mogłyby usprawnić proces projektowania i zoptymalizować decyzje dotyczące planowania urbanistycznego. Wysiłki badawcze mogłyby również dotyczyć poprawy szybkości i wydajności technik druku 3D w celu skrócenia czasu produkcji i kosztów związanych z prototypowaniem i modelowaniem. Dalsze badania nad wpływem procesów drukowania 3D na środowisko mogłyby doprowadzić do opracowania przyjaznych dla środowiska metod i materiałów drukarskich, promując zrównoważone praktyki w planowaniu i budowie miast. Badanie potencjału druku 3D w zakresie konfigurowalnej i adaptowalnej infrastruktury miejskiej może utworować drogę dla bardziej odpornych i elastycznych projektów miejskich, zdolnych do sprostania zmieniającym się potrzebom i wyzwaniom [13-18].

4. Wnioski

Wyzwania związane z drukiem 3D w urbanistyce to między innymi regulacje prawne, które muszą być dostosowane do nowych technologii. Przyszłość druku 3D w urbanistyce może przynieść bardziej złożone i trwałe konstrukcje, a także większe zaawansowanie w dziedzinie energooszczędności. Druk 3D może być wykorzystywany do tworzenia infrastruktury, takiej jak mosty, drogi i chodniki, jak również obiektów użytkowych typu: ławki, kosze na śmieci i latarnie.

Wyzwania związane z drukiem 3D w medycynie to m. in. wszelkie kwestie etyczne. Przyszłość związana z drukiem 3D w medycynie dotyczy głównie nowych ścieżek rozwoju w produkcji materiałów biogodnych, bądź wyhodowanych z komórek (np. skóra). Druk 3D może być wykorzystywany do tworzenia implantów i protez spersonalizowanych, czyli o dopasowanych do potrzeb pacjenta wymiarach i kształcie (jak w przypadku protez piersi, bazujących na geometrii pozyskiwanej ze skanu 3D).

Opracowanie nowych materiałów i technologii drukowania 3D z komórek może prowadzić do rewolucji w medycynie. Te technologie mogą umożliwić wytwarzanie bardziej skutecznych i bezpiecznych implantów, protez i innych produktów medycznych. Jednakże może się to wiązać z kwestiami etycznymi, takimi jak możliwość tworzenia ludzkich embrionów lub klonowania. Konieczne jest zapewnienie bezpieczeństwa materiałów i procesów wykorzystywanych w druku 3D w medycynie.

Literatura

1. Hossain M.A., Zhumabekova A., Paul S.C., Kim J.R., "A review of 3D printing in construction and its impact on the Labor Market", *Sustainability* 2020, 12(20), 8492, <https://doi.org/10.3390/su12208492>
2. Abdalla H., Fattah K.P., Abdallah M., Tamimi A.K., "Environmental footprint and economics of a full-scale 3D-Printed House", *Sustainability* 2021, 13(21), 11978, <https://doi.org/10.3390/su132111978>
3. Garcia-Alvarado R., Moroni-Orellana G., Banda-Perez P., "Architectural evaluation of 3D printed buildings", *Buildings* 2021, 11(6), 254, <https://doi.org/10.3390/buildings11060254>
4. Munir Q., Karki T., "Cost analysis of various factors for geopolymer 3d printing of construction products in factories and on construction sites", *Recycling* 2021, 6(3), 60, <https://doi.org/10.3390/recycling6030060>
5. Galstyan A., Bunker M. J., Lobo F., Sims R., Inziello J., Stubbs J., Mukhtar R., Kelil T., „Applications of 3D printing in breast cancer management”, *3D Printing in Medicine* 2021, 7(6), <https://doi.org/10.1186/s41205-021-00095-8>
6. Macko M., Szczepanski Z., Mikołajewska E., Nowak J., Mikołajewski D. "Repository of 3D images for education and everyday clinical practice purposes", *Bio-Algorithms and Med-Systems* 2017 13(2), 111-116.
7. Mangin T., Blanchard E.K., Kelly K.E., "Effect of Three-Dimensional-Printed Thermoplastics Used in Sensor Housings on Common Atmospheric Trace Gasses", *Sensors* 2024, 24(8), 2610.
8. Kopowski J., Rojek I., Mikołajewski D., Macko M., "3D printed hand exoskeleton-own concept. *Advances in Manufacturing II: Volume 1-Solutions for Industry 4.0*, 2019, 298-306.
9. Caldon E.B., Dizon J.R.C., Viers R.A., Garcia V.J., Smith Z.J., Advincula R.C., "Additively manufactured high-performance polymeric materials and their potential use in the oil and gas industry", *MRS Commun.* 2021, 11(6), 701-715.
10. Macko M., Szczepański Z., Mikołajewski D., Mikołajewska E., Listopadzki S., "The method of artificial organs fabrication based on reverse engineering in medicine", In: Rusiński, E., Pietrusiak, D. (eds) *Proceedings of the 13th International Scientific Conference . RESRB 2016. Lecture Notes in Mechanical Engineering.* Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50938-9_36.
11. Stansbury J.W., Idacavage M.J., "3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities", *Dent Mater.* 2016, 32(1), 54-64, doi: 10.1016/j.dental.2015.09.018.
12. Rojek I., Mikołajewski D., Macko M., Szczepański Z., Dostatni E., "Optimization of extrusion-based 3D printing process using neural networks for sustainable development", *Materials* 2021, 14(11), 2737.
13. Pervaiz S., Qureshi T.A., Kashwani G., Kannan S., "3D printing of fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: a status review", *Materials* 2021, 14(16), 4520, doi: 10.3390/ma14164520.
14. Deja M., Zieliński D., Kadir A.Z.A., Humaira S.N., "Applications of additively manufactured tools in abrasive machining - a literature review", *Materials* 2021, 14(5), 1318. doi: 10.3390/ma14051318.
15. Olawumi M.A., Oladapo B.I., Ikumapayi O.M., Akinyoola J.O., "Waste to wonder to explore possibilities with recycled materials in 3D printing", *Sci Total Environ.* 2023, 905, 167109. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.167109.
16. Piedra-Cascón W., Krishnamurthy V.R., Att W., Revilla-León M., "3D printing parameters, supporting structures, slicing, and post-processing procedures of vat-polymerization additive manufacturing technologies: A narrative review", *J Dent.* 2021, 109, 103630. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103630.
17. Chiappone A., Pedico A., Porcu S., Pirri C.F., Lamberti A., Roppolo I., "Photocurable 3D-printable systems with controlled porosity towards CO₂ air filtering applications", *Polymers* 2022, 14(23), 5265, doi: 10.3390/polym14235265.
18. Bardhan N. "Nanomaterials in diagnostics, imaging and delivery: Applications from COVID-19 to cancer", *MRS Commun.* 2022, 12(6), 1119-1139. doi: 10.1557/s43579-022-00257-7