

Druk 3D a walka z koronawirusem

Helena Dodziuk

W związku z COVID-19 na całym świecie uaktywniły się firmy i entuzjaści związani z drukiem 3D, którzy wykorzystują jego zalety w walce z epidemią. Nie tylko wykonują oni niezbędne przedmioty, lecz również koordynują wysiłki wytwórców i łączą ich z potrzebującymi. Drukowanie trójwymiarowe może również przyczynić się do zastąpienia zerwanych przez pandemię łańcuchów dostaw.

W związku z epidemią koronawirusa znowu głośniejsze jest o druku 3D¹. Do początku maja 2020 r. tą metodą wykonano miliony urządzeń wspomagających walkę z pandemią COVID-19². Dlaczego ta metoda wytwarzania tak szybko znalazła zastosowanie w tej dziedzinie? Jakie jej cechy się do tego przyczyniły? I co interesującego dzieje się w tej dziedzinie?

Druk 3D – czym jest?

Zacznijmy od definicji. Mówi się o wytwarzaniu przyrostowym (ang. *additive manufacturing*, AM) albo o druku 3D (ang. *3D printing*, 3DP). To pierwsze pojęcie stosuje się często do zastosowań przemysłowych druku 3D. To drugie – to albo zastosowania inne niż wytwarzanie przemysłowe, np. w medycynie albo w modzie, albo wszystkie zastosowania tego rodzaju. My będziemy używać określenia druk 3D w drugim, obejmującym wszystkie zastosowania znaczeniu.

Mówiąc w dużym uproszczeniu, w druku 3D obiekt powstaje przez nakładanie kolejnych, łączonych następnie, warstw na podstawie modelu komputerowego. Na tym polega wytwarzanie addytywne w przeciwieństwie do klasycznego wytwarzania subtraktywnego,

gdy z bloku usuwa się niepotrzebny materiał np. skrawaniem, aby uzyskać potrzebny kształt.

Druk 3D – zalety

Jakie są zalety druku 3D? Dlaczego znalazł tak wiele zastosowań?

Po pierwsze, dzięki drukarce 3D można wytwarzać obiekty o bardzo skomplikowanych kształtach, których otrzymanie inną metodą byłoby droższe, bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Wykorzystała to firma General Electric przy produkcji dysz do wtrysku paliwa w silnikach odrzutowców: zamiast 19 części o bardzo skomplikowanym kształcie, które trzeba było połączyć, zaprojektowała jedną wydrukowaną w 3D³. Było to prostsze i tańsze.

Po drugie, możliwość drukowania w 3D skomplikowanych obiektów, np. z nieregularnymi dziurami w środku, to okazja do zaoszczędzenia często bardzo drogiego materiału, np. stopów tytanu w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym.

Po trzecie, wydrukowane w 3D fragmenty mogą poruszać się względem siebie. Ilustruje to wydrukowany „w jednym rzucie” model astrolabium, w którym poszczególne kręgi mogą obracać się względem siebie (rys. 1).

Po czwarte, druk 3D jest bardziej ekologiczny niż tradycyjne metody wytwarzania, ponieważ przy jego stosowaniu znacznie mniejsze są straty materiału.

Kolejną zaletą druku 3D jest personalizacja (ang. *customization*), czyli dopasowanie wydruku do wymagań klienta. Jest to zgodne z opinią Alвина Tofflera, który w *Szoku przyszłości*⁴ przewidywał indywidualizację produkcji – w przeciwieństwie do produktów z taśmy produkcyjnej. Przypomina się tutaj słynna wypowiedź jej wynalazcy, Aleksandra Forda: „Każdy klient może kupić



Rys. 1. Wydrukowany w 3D „w jednym rzucie” model astrolabium, którego fragmenty mogą obracać się względem siebie © H. Dodziuk

samochód pomalowany na dowolny kolor, pod warunkiem, że będzie to kolor czarny”⁵. Druk 3D umożliwia np. precyzyjne dopasowanie rozmiarów protez do wymiarów pacjenta, co jest szczególnie korzystne w medycynie, lub zaprojektowanie sukienki dla konkretnej klientki. Warto wspomnieć, że pierwsza wydrukowana w 3D sukienka była bardzo niewygodna⁶.

Druk 3D – zastosowania przemysłowe

Prototypowanie

Pierwszym zastosowaniem druku 3D w przemyśle, i nie tylko, było prototypowanie, czyli tworzenie modeli urządzeń, które można było przetestować, zaproponować ulepszenia, wydrukować zmodyfikowany obiekt, znowu go przetestować itd. Mimo że na początku druk 3D był bardzo wolny, to i tak był on na ogół dużo szybszy od wykonania prototypu inną metodą. Po zaprojektowaniu można

było wydrukować dany obiekt nocą, by był gotowy rano. Łatwość tworzenia prototypów i uruchamiania produkcji była jednym z czynników, które pozwoliły na zastosowanie druku 3D w walce z koronawirusem.

Oprządkowanie

Następnym krokiem w zastosowaniach tej metody wytwarzania po prototypowaniu było oprządkowanie, czyli wytwarzanie narzędzi do procesów produkcyjnych. Laicy zwykle nie wyobrażają sobie, jak wiele czasu zajmuje przygotowanie narzędzi potrzebnych w nowo uruchamianych procesach produkcyjnych. Zastosowanie 3DP do wytwarzania narzędzi skraca na ogół proces uruchamiania nowych linii produkcyjnych z 1,5–2 lat do dwóch miesięcy.

Średnio- i wielkoprzemysłowa produkcja

Obecnie mamy do czynienia z pewnym wyhamowaniem rozwoju druku 3D/AM⁷. Przyczynami są trudności związane z trzecim etapem wykorzystania druku trójwymiarowego, czyli z wprowadzaniem go do produkcji na średnią i dużą skalę produktów końcowych. Wbrew temu, co napisano przy omawianiu produkcji masek i przyłbic na krakowskiej AGH⁸, druk 3D jest już używany do masowej produkcji⁹. Oczywiście nie każda drukarka 3D się do tego nadaje.

Walka między firmami, chcącymi zarabiać, a zwolennikami wolnego dostępu do wiedzy i wszystkich wynalazków

Podobnie do rozwoju komputerów na wczesnym etapie (co opisał Isaacson w swojej książce *Innowatorzy*¹⁰), ogromną rolę w rozwoju druku 3D odgrywała konkurencja między firmami, które chciały zarabiać pieniądze, i wolnymi strzelcami-entuzjastami, a nawet hakerami, zainteresowanymi rozwojem tej technologii i jej jak najszerszym udostępnieniem. W innej swojej rewelacyjnej książce o Stevie Jobsie¹¹ Isaacson opisał kontrowersje między Stevem Wozniakiem, który rozdawał swoje schematy układów elektronicznych, podczas gdy Jobs chciał je sprzedawać. W programowaniu na komputery najbardziej

znanym przykładem takiej niezmonetyzowanej współpracy jest pakiet programowy Linux, z którego bezpłatnie korzystają użytkownicy na całym świecie.

W druku 3D takie podejście rozwijało się w dwóch kierunkach. Jednym z nich był RepRap, czyli wspólne opracowywanie projektów tanich drukarek 3D przez kilkaset twórców na całym świecie¹². Ruch RepRap przyczynił się do lawinowego wzrostu produkcji drukarek 3D. Wyrosło z niego wielu uczestników dzisiejszego rynku druku 3D, m.in. producent drukarek Czech Josef Prusa bardzo aktywny w walce z koronawirusem¹³. Wygaszanie patentów i łatwo dostępne projekty drukarek dały początek burzliwemu rozwojowi tej dziedziny po 2008 roku.

Drugim kierunkiem stymulującym rozwój tej metody wytwarzania jest, czasami bezpłatne, udostępnianie plików do drukowania, które obejmuje tak różne zastosowania, jak wytwarzanie protez i innych urządzeń medycznych (co krótko opiszemy poniżej), narzędzi, robotów, dronów, a także gadżetów i zabawek oraz wielu innych rzeczy. Nawet firmy sprzedające drukarki lub w inny sposób związane z drukiem 3D mają często w celach reklamowych takie bezpłatne wzory na swoich stronach internetowych. Niektóre z takich stron zawierają pliki do wydrukowania w 3D milionów modeli¹⁴. Chyba najbardziej znana z nich to bezpłatny portal thingivers¹⁵ zawierający prawie półtora miliona wzorów. Oczywiście większość tych plików może być wykorzystana pod warunkiem Creative Commons¹⁶, to znaczy, że można je zmieniać i wykorzystywać jedynie do własnych celów, a nie do celów komercyjnych. Zdarzało się, że warunek ten nie był spełniony, co prowadzi do interesujących implikacji prawnych z jednej strony i do wycofywania wzorów do drukowania z bezpłatnych portali z drugiej.

Druk 3D – przykłady zastosowania bezpłatnych projektów do druku 3D

Chęć dzielenia się swoją wiedzą, charakterystyczna dla części społeczności druku 3D, wiąże się z tzw. społeczną lub otwartą nauką. Jej najbardziej znanym przykładem jest projekt Łowcy Planet¹⁸,

w ramach którego laicy zwani naukowcami-obywatelami analizują na swoich komputerach dane obserwacji astronomicznych w celu wykrycia anomalii świadczących np. o istnieniu planet poza Układem Słonecznym.

Bardzo ciekawy projekt obywatelskiej nauki związany z drukiem 3D zainicjował amerykański informatyk Bodo Hoenen¹⁹, którego pięcioletnia córeczka była prawie całkowicie sparaliżowana. Do jej usprawnienia konieczny był egzoszkielec do ćwiczeń. Przyrząd ten był bardzo drogi, miał kosztować ok. 100 tys. dolarów. Zdesperowany ojciec, nie mając takich pieniędzy, opisał problem i poprosił o pomoc w jego realizacji na portalach społecznościowych Facebook i LinkedIn. Obawiał się braku odzewu, jak się okazało – niesłusznie. Zgłosiło się do niego wielu specjalistów z różnych krajów, którzy pomogli przygotować projekt i zdobyć podzespoły. Następnie jakaś firma wykonała skan ręki, a inna wydrukowała w 3D egzoszkielec. Prace nad prototypem urządzenia, które kosztowało jedynie 200 dolarów, trwały kilka miesięcy. Pliki do wydrukowania w 3D tego egzoszkielec są bezpłatnie udostępnionym w internecie projektem typu open²⁰, to znaczy, że mogą z niego korzystać i ulepszać go inne osoby, np. zainteresowani rodzice.

Ten projekt oraz wiele innych pokazują, że **druk 3D jest szczególnie predystynowany do bezpłatnych lub niskokosztowych zastosowań medycznych.**

Podobny projekt zastosowano również w Polsce. Drukarnia Golem 3D z Częstochowy²¹ wydrukowała egzoszkielec dla chłopca cierpiącego na rzadką postać rdzeniowego zaniku mięśni SMARD (ang. *spinal muscular atrophy with respiratory distress*), wykorzystując pliki amerykańskich studentów z Grand Valley State University w Grand Rapids, w stanie Michigan. Studenci opracowali je dla małej dziewczynki i bezpłatnie udostępnili w internecie. Proponowali przy tym pomoc w adaptacji projektu dla innych potrzebujących, prosząc o datki na działalność. Na wspomnianym już portalu thingivers są umieszczone pliki prawie tysiąca urządzeń medycznych²², takich jak protezy, maski chirurgiczne, pomocne w nauczaniu modele organów i wiele innych.

Innym przykładem zastosowania bezpłatnych projektów do druku 3D z dziedziny medycyny są stetoskopy²³. Palestyńsko-kanadyjski lekarz Tarek Loubani uznał, że szpitali ze strefy Gazy nie stać na markowe słuchawki, których koszt wynosi ok. 200 USD, i nie tylko zaprojektował do wydrukowania w 3D swoje, nie gorsze od markowych i kosztujące ok 5 USD słuchawki, lecz także udostępnił pliki do ich wydrukowania w internecie. Podobnie jak w poprzednich przypadkach, pliki można wykorzystać tylko do własnych potrzeb, a nie w celach komercyjnych.

Trochę inny charakter mają projekty protez dla osób biednych i ofiar min przeciwpiechotnych w krajach Azji i Afryki. Najbardziej znanymi instytucjami w Afryce, które zajmują się wydrukiem 3D w medycynie, są fundacje e-NABLE²⁴ i Not Impossible²⁵. Ta pierwsza ma zasięg światowy i wykonała już tysiące protez rąk dla osób niemających. Włączyła się też do walki z koronawirusem²⁶, ma nawet swój polski oddział. Not Impossible, obok zbierania pieniędzy i robienia protez, zajęła się obecnie pomocą osobom głodującym ze względu na pandemię COVID-19²⁷. **Nastawienie na pomoc potrzebującym to również cecha charakterystyczna społeczności działającej w druku 3D, która spowodowała szybkie włączenie się jej do walki z pandemią.**

Druk 3D – liczba drukarek na świecie

Brak jest chyba szacunkowych danych dotyczących ilości drukarek 3D w Polsce, ale są one bardzo powszechne w wielu krajach. Np. w Australii już w 2016 r. 3 proc. gospodarstw domowych posiadało drukarkę 3D. Dodatkowo było ich wiele w szkołach i na uczelniach, w bibliotekach, lokalnych centrach majsterkowania (ang. *community makerspaces*) oraz w firmach²⁶.

Duża liczba drukarek prywatnych i firmowych w wielu miejscach – nie tylko w dużych zakładach produkcyjnych, lecz również w małych firmach, m.in. w szpitalach – także przyczyniła się do znacznego udziału społeczności druku 3D w walce z koronawirusem. Ten tzw. rozproszony charakter druku 3D stanowi ogromną zaletę w sytuacji

lockdownu, a więc ograniczeń transportowych i przerwania łańcuchów dostaw.

Druk 3D w walce z koronawirusem

Obok wyżej wymienionych czynników **dobra organizacja społeczności druku 3D w internecie sprzyja mobilizacji do różnych projektów**, co zaowocowało szybkim włączeniem się dużych i małych firm oraz osób prywatnych zajmujących się drukiem 3D do walki z koronawirusem.

Na przykład w Hiszpanii już 18 marca 2020 r. grupa 800 osób działających w branży druku 3D (inżynierowie, designerzy oraz niezrzeszeni entuzjaści) utworzyła grupę współdziałania, która szybko wzrosła do 17 000 członków²⁷. Wykonali oni 450 000 przyłbic, adaptery do filtrów do respiratorów, a także respiratory dla szpitali.

Powstało wiele platform koordynujących pomoc w walce z pandemią. Jedną z największych baz danych zastosowań druku 3D/AM do walki z COVID-19 otworzyły na swojej stronie poświęconej drukowi 3D amerykańskie Narodowe Instytuty Zdrowia²⁸, które współpracują w tej dziedzinie z inicjatywą America-Makes²⁹ i amerykańską agendą Veteran Affairs³⁰, której działalność poświęcona jest m.in. zdrowiu weteranów. Do akcji włączyły się również Światowe Forum Ekonomiczne³¹ i Unia Europejska³².

W Polsce strona internetowa Centrum Druku 3D³³, podobnie jak wiele stron firm działających w branży 3D, udostępnia informacje i pliki do drukowania wyposażenia pomocnego do walki z pandemią. W Polsce drukarzy łączy akcja na Facebooku #DrukarzeDlaSzpitali³⁴.

Na początku pandemii COVID-19 okazało się, że szpitalom i innym placówkom medycznym nie tylko w naszym kraju brakuje odzieży ochronnej i innego wyposażenia. Prawie połowa lekarzy w Wielkiej Brytanii przyznaje, że jest zmuszona sama zaopatrywać się w odzież ochronną²⁶. W tej sytuacji społeczność druku 3D włączyła się do produkcji takich urządzeń. Są to:

- ochronne maski (rys. 2);
- zawory tlenowe do wentylatorów;
- rozdzielacze do wentylatorów i respiratorów pozwalające na ich stosowanie dla kilku pacjentów;

- pałeczki do wymazów testów na koronawirusa;
- przyłbice;
- kabiny do kwarantanny (robi je znana z zastosowań druku 3D w budownictwie chińska firma Winsun³⁵);
- prowizoryczne respiratory utworzone z wyposażenia do nurkowania z akwalungiem;
- a nawet dźwignie pozwalające otworzyć drzwi łokciem³⁶.

Bardzo interesującym rozwiązaniem jest wytwarzanie w druku 3D łączników, pozwalających na podłączenie nawet czterech pacjentów do jednego respiratora³⁷. Nieoczywista jest możliwość zwiększenia tempa produkcji szczepionek dzięki drukarce 3D do ceramiki³⁸.

Bardzo popularne jest drukowanie w 3D przyłbic, jednak rzut oka na ich kształt uświadamia, że druk trójwymiarowy nie jest idealną metodą ich wytwarzania, ponieważ największa ich część jest zgięta z płaskiej powierzchni. Nie jest to więc wyjściowo prawdziwie trójwymiarowa struktura. Zdając sobie z tego sprawę, polski inżynier wykorzystał inną, szybszą metodę wytwarzania przyłbic³⁹.



Rys. 2. Zaawansowana technologicznie maska FFP3 wydrukowana na drukarce firmy HP40. Data Courtesy of Research Institute CIIRC – CVUT

Mimo że druk 3D nie jest najbardziej efektywną ich metodą produkcji, to jest ona bardzo skuteczna. Świadczą o tym co najmniej setki tysięcy wydrukowanych i przekazanych pracownikom medycznym przyłbic.

Ograniczenia związane z drukiem 3D

Wiadomo, że urządzenia medyczne muszą otrzymać akceptację krajowych lub unijnych agencji. Komisja

Unii Europejskiej wydała zalecenia dla takich urządzeń drukowanych w 3D⁴¹. Stosowne rekomendacje wydała również amerykańska Food and Drug Administration (FDA). Ostatnio FDA przedyskutowała zalecenia związane z drukowanymi w 3D urządzeniami do walki z pandemią⁴².

Ograniczenia dla urządzeń medycznych do walki z pandemią związane są najczęściej, ale nie jedynie, z brakiem możliwości ich dezynfekcji. Na przykład amatorskie drukarki 3D korzystające z ekstrudera wytwarzają przedmioty, które są porowate i mają bardziej szorstką powierzchnię. Nie da się ich dobrze dezynfekować. Problemy związane z bezpieczeństwem wydrukowanych w 3D urządzeń i części stosowanych w walce z pandemią omówiono m.in. na portalu 3D print⁴³, również w odniesieniu do urządzeń drukowanych na amatorskich drukarkach domowych⁴⁴.

Warto również zasygnalizować problemy prawne związane z drukowaniem w 3D urządzeń medycznych⁴⁵. Wiele instytucji zbiera informacje dotyczące potrzeb związanych z walką z koronawirusem oraz mocy produkcyjnych firm, które chcą się do niej włączyć, a także ogłasza konkursy na projekty z tej dziedziny.

W jaki sposób firmy wykorzystujące wydruk 3D włączyły się do walki z pandemią

Nie sposób wymienić wszystkie firmy, które włączyły się do walki z koronawirusem. Przystąpiły do niej m.in. wielkie korporacje. Jedną z najbardziej aktywnych jest gigant druku 3D, firma Stratasys (wyprodukowanych w 3D 275 tys. przyłbic⁴⁶) oraz producent drukarek 3D Hewlett-Packard, który wydrukował w 3D i przekazał służbom medycznym ponad 50 tys. różnorodnych urządzeń lub ich części, zaś we współpracy ze swoimi partnerami i klientami wykonano ich na drukarkach HP 1,5 mln⁴⁷.

Podobnie jak wiele innych firm i osób prywatnych drukujących w 3D, HP umieścił na swojej stronie internetowej bezpłatne pliki do wydruku wszystkich swoich sprawdzonych modeli części do wentylatorów, respiratorów CPAP do nieinwazyjnej wentylacji płuc, przyłbic, masek ochronnych i innych urządzeń.

Z kolei GM i Ford chcą przestawić swoje zakłady produkujące auta i zakłady swoich poddostawców na produkcję części do wentylatorów. Nawet jeżeli zakłady te nie działają w oparciu o technologię druku 3D, to bez wątpienia wykorzystują ją do zaprojektowania części samochodowych oraz w przyszłości wentylatorów. Podobne wysiłki podejmują m.in. GE Healthcare, Fiat, Chrysler, Ferrari, Airbus i Rolls Royce.

Do produkcji urządzeń pomocnych w walce z koronawirusem włączyła się również firma Josefa Prusy z Czech – PrusaPrinters. Warto zauważyć, że stworzył on m.in. największą obecnie farmę, czyli zespół 1096 drukarek 3D⁴⁸, nie ma więc ograniczeń mocy produkcyjnych. Co ciekawe, zakład PrusaPrinters dofinansował wypożyczalnię rowerów, by jego pracownicy mogli uniknąć zakażenia koronawirusem w transporcie publicznym, gdy nie było dostępu do maseczek⁴⁹. Josef Prusa omówił na swoim blogu wady i zalety maseczek ochronnych⁵⁰. Opublikował także pliki projektu przyłbicy i zaapelował do *makers community* o ich drukowanie w 3D. Już w marcu 2020 r. firma PrusaPrinters przekazała czeskiemu Ministerstwu Zdrowia 10 tys. wydrukowanych w 3D przyłbic. W maju było ich już 130 tys.

Również polskie firmy i wielu majsterkowiczów włączyli się do walki z pandemią. Na przykład nasza rodzima firma 3DGence wyprodukowała 12 tys. ochronnych masek. Na swojej stronie internetowej dyskutuje nie tylko o medycznych aspektach zastosowań druku 3D do walki z koronawirusem, lecz również o roli, jaką ta metoda wytwarzania może odegrać w gospodarce w sytuacji, gdy ze względu na pandemię zerwane zostały łańcuchy dostaw⁵².

Do akcji włączyły się również m.in. firmy: ZMORPH, drukując potrzebne wyposażenie dla wrocławskich szpitali⁵³, Omni3D⁵⁴ oraz Zortrax⁵⁵. Przyłbice ochronne drukują w 3D m.in. licealiści z Gdańska⁵⁶ i Olsztyna⁵⁷, a także majsterkowicze z Wrocławia⁵⁸.

Opublikowane w internecie projekty są modyfikowane⁵⁹, by zwiększyć szybkość druku i wygodę ich używania. Należy jednak odróżnić proste maseczki

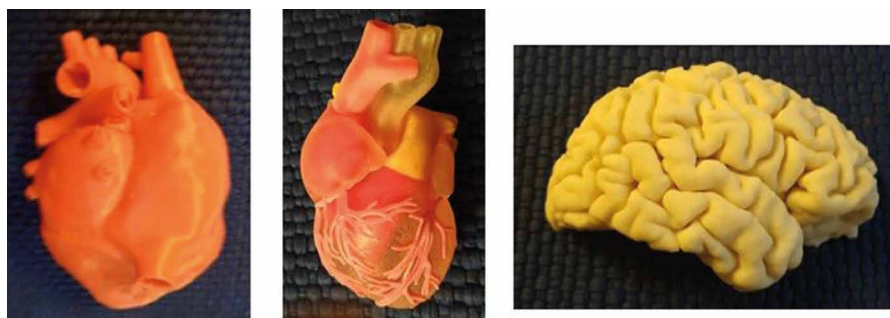
z materiału, które przeważają na ulicach polskich miast, od wyrafinowanych masek używanych przez personel medyczny. Te drugie uzyskuje się za pomocą druku w 3D. Warto przypomnieć, że każda maska to dobre środowisko dla rozwoju zarazków. WHO ogłosiła szczegółowe instrukcje, kiedy i jak należy nosić maski⁶⁰. Jak wspomniano wcześniej, szybkość modyfikacji modeli stanowi ogromną zaletę druku 3D.

Jak widać, epidemia koronawirusa wyzwoliła ogromną energię nie tylko w dziedzinie pomocy osobom starszym. Na całym świecie uaktywniły się również firmy i entuzjaści związani z drukiem 3D, którzy wykorzystują wymienione na początku zalety druku 3D. Nie tylko wykonują oni potrzebne wyposażenie, lecz również koordynują wysiłki wytwórców i łączą ich z potrzebującymi. Jak wspomniano powyżej, druk 3D może również odegrać ważną rolę w ożywieniu gospodarki po pandemii, przyczyniając się do zastąpienia zerwanych przez pandemię łańcuchów dostaw⁶¹.

Perspektywy rozwoju druku 3D/AM

Na zakończenie warto dodać kilka słów o perspektywach rozwoju druku 3D/AM. Ostatnio mamy do czynienia z zahamowaniem tempa wzrostu tej dziedziny przemysłu⁶². Jest to związane z trudnościami z jej wprowadzeniem do produkcji na średnią i dużą skalę, co wymaga modyfikacji całej filozofii tej zmiany⁶³. Nie wystarczy już po prostu drukować w 3D jakąś część. Należy – wychodząc od jej funkcji – zaprojektować ją od nowa, stosując tzw. design dla wytwarzania addytywnego (ang. *design for additive manufacturing*, DfAM) i przeprojektować cały sposób produkcji. Wymaga to zmiany podejścia do druku 3D zwłaszcza kadry kierowniczej oraz wykształcenia wielu specjalistów w tej dziedzinie. Uważa się, że są to główne przeszkody w dalszym rozwoju druku 3D/AM.

Inna dziedzina, w której druk 3D jest szeroko stosowany, to opieka zdrowotna⁶⁴. Wirtualne planowanie operacji chirurgicznych, aparaty słuchowe w 98 proc. przejęte przez druk 3D, protezy i implanty⁶⁵ mające przeciwdziałać brakowi organów od donorów, drukowanie leków i wiele innych działań medycyny



Rys. 3. Wydrukowane w 3D modele organów ludzkich: pierwszy i drugi od lewej – modele serca wydrukowane dwiema różnymi metodami; trzeci – model półkuli mózgowej H. Dodziuk

to obszary, w których coraz szerzej stosuje się druk 3D⁶⁶. Wydrukowane w 3D dwiema różnymi metodami modele serca i model półkuli mózgowej pokazano na rys. 3.

Również inne zastosowania żywiłowo się rozwijają. Bardzo interesujące są zastosowania druku 3D w sztuce, modzie⁶⁷ i edukacji⁶⁸. Mówiąc o druku 3D, warto przypomnieć, że jest to bardzo ekologiczny sposób produkcji⁶⁹, m.in. dlatego, że wytwarza się przy nim bardzo niewielka ilość odpadów. Bardzo interesujące są również prawne aspekty związane z tą metodą wytwarzania⁷⁰. Mimo że udział druku 3D w światowej gospodarce jest obecnie niewielki, rozwija się on gwałtownie. Cytując klasyka: „Będzie się działo”.


Przypisy

- 1 DODZIUK H.: *Druk 3D/AM. Zastosowania oraz skutki społeczne i gospodarcze*. PWN, Warszawa 2019.
- 2 NOVAK J.: <https://theconversation.com/millions-of-products-have-been-3d-printed-for-the-coronavirus-pandemic-but-they-bring-risks-137486>, dostęp 10 lipca 2020.
- 3 <https://www.ge.com/news/reports/transformation-3d-walnut-sized-part-changed-way-ge-aviation-builds-jet-engines>, dostęp 10 lipca 2020.
- 4 TOFFLER A.: *Szok przyszłości*. PIW, Warszawa 1997.
- 5 https://en.wikiquote.org/wiki/Henry_Ford, dostęp 10 lipca 2020.
- 6 Odn. [1], Rozdz. 13.
- 7 DODZIUK H.: <https://polskiprzemysl.com.pl/druk-3d-i-tworzywa-sztuczne/rynek-druku-3d-w-4-kwartale-2019/>, dostęp 10 lipca 2020.

- 8 <https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/nauka/1956718,1,druk-ostatniejszansy-from-krakow-with-love.read>, dostęp 10 lipca 2020.
- 9 DODZIUK H.: <https://polskiprzemysl.com.pl/druk-3d-i-tworzywa-sztuczne/rynek-druku-3d-w-4-kwartale-2019/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 10 ISAACSON W.: *Innowatorzy*. Insignis, Kraków 2016.
- 11 ISAACSON W.: *Steve Jobs*. Insignis, Kraków, 2011.
- 12 <https://pl.wikipedia.org/wiki/RepRap>, dostęp 10 lipca 2020.
- 13 MCCONNON A.: 8 czerwca 2020, <https://www.wsj.com/articles/the-coronavirus-pandemic-is-a-call-to-serve-for-3-d-printing-hobbyists-11591658423>, dostęp 10 lipca 2020.
- 14 <https://www.aniwaa.com/guide/3d-printers/best-sites-download-free-stl-files-3d-models-and-3d-printable-files-3d-printing/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 15 <https://www.thingiverse.com/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 16 <https://creativecommons.pl/poznaj-licencje-creative-commons/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 17 <https://centrumcyfrowe.pl/wp-content/uploads/2013/11/otwarta-nauka-.pdf>, dostęp 10 lipca 2020.
- 18 https://en.wikipedia.org/wiki/Planet_Hunters, dostęp 10 lipca 2020.
- 19 <https://www.techradar.com/news/lor-eleis-story-how-a-5-year-old-crowd-sourced-a-robotic-prosthetic/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 20 <https://medcitynews.com/2019/11/family-showcases-diy-robotic-exoskeleton/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 21 <http://g3d.eu/baza-wiedzy/artykuly/angel-arms-wykorzystanie-druku-3d-w-medycynie/>, dostęp 10 lipca 2020.

- 22 <https://www.thingiverse.com/tag:medical>, dostęp 10 lipca 2020.
- 23 <https://www.cbc.ca/news/health/dr-tarek-loubani-uses-3d-printer-to-overcome-gaza-stethoscope-shortage-1.3222052>, dostęp 10 lipca 2020.
- 24 <https://enablingthefuture.org/>, dostęp 10 lipca 2020. <https://www.notimpossible.com/projects>, dostęp 10 lipca 2020.
- 25 <https://enablingthefuture.org/2020/03/27/the-e-nable-community-rallies-to-fight-covid-19>, dostęp 10 lipca 2020. <https://www.notimpossible.com/hunger>, dostęp 10 lipca 2020.
- 26 <https://theconversation.com/millions-of-products-have-been-3d-printed-for-the-coronavirus-pandemic-but-they-bring-risks-137486>, dostęp 10 lipca 2020.
- 27 <https://fr.weforum.org/projects/coronavirus-makers>, dostęp 10 lipca 2020.
- 28 <https://3dprint.nih.gov/collections/covid-19-response>, dostęp 10 lipca 2020.
- 29 <https://www.americamakes.us/statement-on-covid-19/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 30 <https://www.blogs.va.gov/VANtag/73229/va-mobilizing-3d-printing-fight-covid-19/>, dostęp 10 lipca 2020.
- 31 <https://www.weforum.org/covid-action-platform/projects/3d-printing-covid-19-rapid-response-initiative>, dostęp 10 lipca 2020.
- 32 <https://www.ecdc.europa.eu/en/coronavirus>, dostęp 11 lipca 2020.
- 33 <https://centrumdruku3d.pl/tag/korona-wirus/>, dostęp 11 lipca 2020.
- 34 <https://3dwpraktyce.pl/2020/03/polska-branza-druku-3d-jednoczy-sie-pomagajac-walce-koronawirusem-covid-19/>, dostęp 11 lipca 2020.
- 35 <https://www.3dnatives.com/en/winsun-coronavirus-260220205/>, dostęp 11 lipca 2020.
- 36 <https://www.asme.org/topics-resources/content/8-ways-3d-printing-is-helping-to-fight-coronavirus>.
- 37 <https://www.medicaldesignandoutsourcing.com/how-3d-printing-is-enabling-ventilator-splitting/>.
- 38 <https://cordis.europa.eu/article/id/418142-accelerating-vaccine-production-with-ceramic-3d-printing/pl>.
- 39 <https://szczecin.onet.pl/korona-wirus-w-polsce-inzynier-opracowal-szybka-metode-wytwarzania-przylybic/193pps8>.

- <https://press.hp.com/us/en/press-releases/2020/hp-inc-and-partners-mobilize-3d-printing-solutions-to-battle-c.html>.
- 41 <https://www.slideshare.net/ErikVollebregt/3d-medtech-printing-under-eu-medical-devices-directive-and-under-future-medical-devices-regulation>.
- 42 <https://www.fda.gov/medical-devices/3d-printing-medical-devices/faqs-3d-printing-medical-devices-accessories-components-and-parts-during-covid-19-pandemic>.
- 43 <https://3dprint.com/265620/safety-recomendations-for-3d-printed-covid-19-medical-devices-part-one/>.
- 44 <https://3dprint.com/265656/safety-recommendations-for-3d-printing-covid-19-medical-parts-at-home/>.
- 45 <https://www.arnoldporter.com/en/perspectives/publications/2020/04/3d-printing-in-the-fight-against-covid>.
- 46 <https://www.stratasys.com/covid-19>.
- 47 <https://www.protocol.com/3d-printing-found-market-in-coronavirus-pandemic>.
- 48 https://blog.prusaprinters.org/guinness-world-records-1096-original-prusa-3d-printers-running-at-the-same-time_30677/.
- 49 https://blog.prusaprinters.org/guinness-world-records-1096-original-prusa-3d-printers-running-at-the-same-time_30677/.
- 50 [na-twarz-do-masowego-drukowania-3d_32674/](https://blog.prusaprinters.org/pl/w-3-dni-od-projektu-medycznych-oslon-na-twarz-do-masowego-drukowania-3d_32674/).
- 51 https://www.prusa3d.com/covid19/#_ga=2.179996324.11081990984.1592656344-1108309469.1592041862.
- 52 <https://3dgence.com/3dnews/how-3d-printing-can-affect-your-broken-supply-chain-coronavirus/>.
- 53 <https://blog.zmorph3d.com/zmorph-joins-3d-printing-community-to-fight-coronavirus/>.
- 54 <http://3d.edu.pl/omni3d-wspiera-szpitala-w-walce-z-covid-19/>.
- 55 <https://zortrax.com/blog/3d-printing-respirators-and-medical-helmets-on-zortrax-printers/>.
- 56 <https://dziennikbaltycki.pl/koronawirus-licealisci-z-trojmiasta-produkuja-przylbice-ochronne-z-wykorzystaniem-druku-3d/arc14-14893723>.
- 57 <http://gazetaolsztynska.pl/642938,Przylbice-z-drukarek-3D-ze-szkoly-do-szpitali.html>.
- 58 <https://wroclife.pl/czas-wolny/druk-3d-przylbice-ochronne/>.
- 59 <https://noizz.pl/spoleczenstwo/polak-drukuje-maski-ochronne-dla-szpitali/6xbkllc>.
- 60 <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks>.
- 61 [chain-coronavirus/](https://3dgence.com/3dnews/how-3d-printing-can-affect-your-broken-supply-chain-coronavirus/).
- 62 DODZIUK H.: <https://polskiprzemysl.com.pl/druk-3d-i-tworzywa-sztuczne/rynek-druku-3d-w-4-kwartale-2019/>.
- 63 <https://polskiprzemysl.com.pl/druk-3d-i-tworzywa-sztuczne/druk-3d-w-zastosowaniach-przemyslowych/>.
- 64 Odn. [1], Rozdz. 12.
- 65 <https://www.computerworld.com/article/3184834/3d-printed-partial-liver-transplants-targeted-for-2020.html>.
- 66 DODZIUK H.: *Kardiochir. i Torakochirurgia Pol.*, 13 (3), 283, 2016, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5071603/>.
- 67 Odn. [1], Rozdz. 13.
- 68 Odn. [1], Rozdz. 8.
- 69 Odn. [1], Rozdz. 2.
- 70 Odn. [1], Rozdz. 7.
- 71 <https://www.3dizingof.com/shop/math-art/fractal-totem/>.
- 72 <https://www.3dizingof.com/shop/math-art/gyroid-la-voronoi/>.
- 73 <https://www.3dizingof.com/shop/math-art/sierpinski-star>.

 Prof. dr hab. Helena Dodziuk,
Instytut Chemii Fizycznej PAN