

# Společne skutki druku 3D. Czyli jak druk 3D zmieni nasze życie

Helena Dodziuk

## 1. Wstęp

Burzliwie rozwijający się druk 3D, 3DP, zwany również wytwarzaniem addytywnym, AM, polega na tworzeniu trójwymiarowego obiektu z cyfrowego modelu poprzez nakładanie kolejnych warstw materiału, które są następnie sklejjane [1]. AM oznacza na ogół zastosowania przemysłowe tej metody, wtedy 3DP odnosi się do wszystkich innych zastosowań, np. w służbie zdrowia, edukacji, nauce lub sztuce. Jednak niektórzy używają 3DP do oznaczenia całej tej dziedziny.

Druk 3D jest częścią Trzeciej, a według niektórych Czwartej, Rewolucji Przemysłowej obejmującej m.in. sztuczną inteligencję, interfejsy człowiek – komputer, nano- i biotechnologię oraz robotykę [2]. Długofalowy wpływ 3DP porównano ze skutkami wynalezienia druku, silnika parowego czy też wprowadzenia komputerów osobistych. Obecnie znaczenie gospodarcze rynku 3DP jest niewielkie [3], ale dziedzina ta szybko się rozwija i oczekuje się, że około 2040 r. 3DP będzie stanowić 5% całkowitej produkcji przemysłowej. Ilustruje to dobrze sprzedaż drukarek 3D: 1816 w 2009 r. [4], 500 tys. w 2017 r. [5] i 2,2 mln sztuk w 2021 r. pomimo pandemii. Oczekuje się, że sprzedaż wzrośnie do 21,5 miliona sztuk do 2030 r. [6]. Jednak już dziś nie jest on „technologią niszową” [7] i np. w wytwarzaniu aparatów słuchowych przejął 98% rynku [8]. Technologia ta jest przyjazna dla środowiska, ponieważ generuje bardzo mało odpadów. Umożliwia ona personalizację produktów, którą przepowiedział już Alvin Toffler w „Szoku przyszłości” [9] oraz pozwala na skrócenie łańcuchów dostaw. Główne zastosowania przemysłowe 3DP obejmują prototypowanie, a w ujęciu branżowym przemysł motoryzacyjny, lotniczy i obronny. Ten sposób wytwarzania jest również szeroko stosowany w ochronie zdrowia [10].

Imponujący wydrukowany w 3D model serca pokazano na rys. 1. Inne nieprzemysłowe zastosowania 3DP to nauka, edukacja i sztuka.

3DP posiada liczne zalety, takie jak możliwość tworzenia w jednym kawałku obiektów o skomplikowanych kształtach, np. z „dziurami” w środku lub częściami poruszającymi się względem siebie. Pozwala to na elastyczne projektowanie i produkcję lekkich części, oszczędzając kosztowny materiał, np. tytan w przemyśle lotniczym. Ważną rolę w zastosowaniach odgrywa szybkie prototypowanie, które powoduje skrócenie czasu opracowania produktu i wprowadzenia go na rynek. Jednocześnie drukowanie na zamówienie pozwala uniknąć magazynowania wytworzonych obiektów. Zaletą 3DP jest również szybkie projektowanie i produkcja, zwłaszcza na małą skalę, a także minimalizacja odpadów, zwiększenie bezpieczeństwa środowiska i skrócenie łańcuchów dostaw. Natomiast wady 3DP obejmują m. in. konieczność stosowania pracochłonnych technik wykończenia produktów, ograniczenie rozmiarów wydruków ze względu na niewielki rozmiar drukarek 3D, niekontrolowaną jak i kontrolowaną produkcję broni przez siły zbrojne, przestępców i ekstremistów oraz problemy prawne, takie jak prawa własności intelektualnej, odpowiedzialności za produkty i ochrona danych. Problemy związane z niekontrolowaną produkcją broni bardzo się ostatnio zaostrzyły w związku ze zwiększeniem jakości tanich drukarek 3D. Jeszcze kilka lat temu publikowane w sieci pliki do produkcji broni nie były masowo wykorzystywane ze względu na niską jakość wydruków. Niestety obecnie to ograniczenie nie jest już aktualne [11]. Nie sprawdziło się oczekiwanie bezrobocia pracowników fizycznych, których miały zastąpić wydrukowane w 3D roboty.



Rys. 1. Wydrukowany w 3D model serca.  
© H. Dodziuk

Jako prawdziwie innowacyjna technologia 3DP jest destrukcyjny dla wielu sektorów produkcji, podobnie jak fotografia cyfrowa, która prawie doprowadziła do upadku firmę Kodak. 3DP z jednej strony sprawi, że niektóre gałęzie przemysłu staną się przestarzałe, a z drugiej stworzy nowe dziedziny, stymulując zapotrzebowanie na fachowców o nowych umiejętnościach. Co istotne, 3DP wpłynie nie tylko na przemysł, lecz również na całe nasze życie.

## 2. Krótka historia 3DP

Początki technologii 3DP sięgają lat 80-tych XX w., kiedy opracowano i opatentowano główne metody oraz zbudowano pierwsze drukarki 3D. Co ciekawe, jedna z pierwszych prób w tej dziedzinie została zaniechana z powodu „braku perspektywy biznesowej” [12]. Za ojca

tej dziedziny uważany jest Chuck Hull, który wynalazł jedną z najważniejszych technologii 3DP, stereolitografię, wprowadził szeroko stosowany format plików stl oraz był współzałożycielem jednej z najważniejszych firm 3DP: 3D Systems.

W latach 1990-tych pojawili się główni producenci drukarek 3D i twórcy narzędzi projektowych i stworzono pierwszą drukarkę 3D do zastosowań przemysłowych. Szybkie prototypowanie stało się pierwszym masowym zastosowaniem 3DP i do dziś dominuje na rynku. Firmy Stratasys i 3D Systems położyły podwaliny pod liczne zastosowania. Opracowanie pierwszej drukarki 3D do drukowania komórkami w 1999 roku przez grupę Atala stworzyło podstawy biodruku, jednym z celów którego jest stworzenie narzędzi do przeszczepów. Na początku drukarki 3D były nieliczne i drogie. Liczba zainstalowanych biurkowych drukarek 3D na całym świecie przekroczyła 1000 dopiero w 2009 roku [13].

W roku 2000 i latach następnych 3DP zyskało dużą popularność w mediach dzięki licznym zastosowaniom, zwłaszcza w ochronie zdrowia [10]. Jednym z pierwszych był wydrukowany w 3D implant fragmentu szczęki wszczepiony 83-letniej kobiecie w Wielkiej Brytanii w 2012 roku [14], ale dopiero później nastąpił gwałtowny rozwój tego rodzaju zastosowań.

Możliwość szybkiego wyprodukowania prototypu pozwoliła firmom przyspieszyć tworzenie nowych modeli, gdy drukarki były drogie, a drukowanie powolne. Stworzenie niedrogich drukarek 3D przez RepRap Project oraz wygasanie patentów pobudziły szybki rozwój tej dziedziny. W 2004 roku najtańsza drukarka 3D kosztowała ok. 77 000 USD. W tym czasie Dr Adrian Bowyer stworzył projekt RepRap [15], mający na celu opracowanie taniej drukarki 3D wraz z towarzyszącym jej oprogramowaniem. W nietypowy dla biznesu sposób setki majsterkowiczów z całego świata, współpracując w internecie w projekcie open source, zaprojektowało kilka modeli drukarek i towarzyszące im oprogramowanie do bezpłatnej dystrybucji. Projekt RepRap i wygaśnięcie wczesnych patentów doprowadziły do spadku kosztów drukarek z setek tysięcy dolarów do setek dolarów. Drukarki stały się dostępne dla wielu i powstały liczne odnoszące sukcesy startupy. Kickstarter i inne platformy finansowania społecznościowego pomogły tym firmom w rozpoczęciu produkcji drukarek 3D, rozwoju oprogramowania i/lub zastosowań 3DP. Innym czynnikiem stymulującym rozwój tej dziedziny jest udostępnianie plików do zastosowań 3DP tak różnorodnych, jak produkcja protez, urządzeń medycznych, narzędzi, robotów, dronów, gadżetów jubilerskich i zabawek. Istnieją internetowe repozytoria darmowych lub tanich plików milionów przedmiotów takich jak implanty, protezy, itp., co napędzało dalszy rozwój. Inną typową dla 3DP inicjatywą o dużym wpływie na społeczeństwo, jest tworzenie fundacji, które zbierają fundusze, opracowują niedrogi sposoby drukowania protez w 3D i bezpłatnie rozdają je potrzebującym. Niekommercyjne rozpowszechnianie informacji o produkcji drukarek, oprogramowania oraz bezpłatne lub tanie udostępnianie plików do 3DP, nietypowe dla podejścia świata biznesu, przyczyniło się do szybkiego rozwoju tej dziedziny.

Drugim czynnikiem wpływającym na ekspansję 3DP było wygasanie patentów na najważniejsze technologie w tej

dziejnie. Spowodowało to szybki rozwój całej branży i znaczny wzrost liczby firm produkujących drukarki. Potem, w wyniku intensywnej konkurencji upadło wiele firm. Z drugiej strony znaczny spadek cen drukarek 3D umożliwił wynalazcom budowanie prototypów i niedrogo sprawdzanie swoich pomysłów przed założeniem startupu. Ponadto niski koszt drukarek pomógł wielu organizacjom non-profit w wykorzystaniu 3DP w swojej działalności.

Co ciekawe, widoczność w mediach i liczne zastosowania wywołały pomijanie ograniczeń tej technologii i nieracjonalne, wyolbrzymione oczekiwania, że drukarki 3D będą w każdym domu. Np. słaba powtarzalność wydruków spowolniła przemysłowe zastosowania 3DP na dużą skalę i wymagała znacznych wysiłków w dziedzinie metrologii.

W roku 2010 i latach następnych znacznie zwiększyła się widoczność 3DP, wprowadzono wiele innowacji i znacznie zwiększyły się nadzieje związane z tą dziedziną. Nowe zastosowania, takie jak wydrukowane w 3D samochód [16], dom [17] czy wszczepiony fragment szczęki [14], przyczyniły się do jej akceptacji. Do tej branży wkroczyły wielkie korporacje dotychczas z nią niezwiązane. Wzrosła również świadomość znaczenia 3DP wśród polityków. W USA powstało partnerstwo publiczno-prywatne w zakresie technologii wytwarzania przyrostowego i edukacji America Makes [18], a ostatnio rządowy program wspierania rozwoju innowacji z uwzględnieniem AM [19]. Podobne programy wspierające 3DP zostały uruchomione w wielu krajach. Rozwój tej branży wpłynął również na sposób pracy, umożliwiając samodzielne wytwarzanie i tworzenie nowych produktów bez odwoływania się do firm technologicznych. **Ten rozwój 3DP napędza The Maker Revolution, która ceni twórczość, koncentruje się na sprzęcie i oprogramowaniu typu open source i masowo przyczynia się do zakładania nowych startupów.**

Rok 2000 i lata następne: obecna dekada charakteryzuje się dalszym rozwojem biodruku i opracowaniem nowatorskich zaawansowanych materiałów a także wdrażaniem 3DP do produkcji średnio- i wielkoseryjnej. Wymagało to opracowania oprogramowania obejmującego cały proces produkcyjny

od projektowania poprzez zdalne sterowanie i monitorowanie pracujących drukarek 3D oraz ocenę jakości wydrukowanych w 3D części, a także symulowanie ich zużycia. Jak wspomniano uprzednio, **społeczny charakter 3DP odzwierciedla również nietypowe udostępnianie części oprogramowania 3DP oraz licznych plików do drukowania wielu obiektów, co stymuluje rozwój branży.** Do nowych zastosowań potrzebne były materiały o nowych właściwościach. Np. wysokie standardy bezpieczeństwa były konieczne do zastosowań w przemyśle spożywczym i służbie zdrowia. Oprócz niezwykle wytrzymałych i sztywnych albo bardzo elastycznych tworzyw sztucznych, włókien węglowych, metali i stopów opracowywane są specjalne materiały do biodruku. Interesujące są materiały funkcjonalne wykazujące określone właściwości (termiczne, elektryczne, magnetyczne itp.), takie jak polimery z pamięcią kształtu zmieniającą swój kształt pod wpływem określonego bodźca oraz materiały żywe (ang. animated materials), m.in. materiały biomimetyczne i samoleczące się (ang. self-healing).

Początkowo 3DP był bardzo wolny, przez co nadawał się jedynie do produkcji jednostkowej lub małoseryjnej. Obecnie znaczne wysiłki skierowane są na włączenie tej technologii do praktyki przemysłowej, zwłaszcza do produkcji na średnią i dużą skalę. Oprócz zastosowań na dużą skalę w motoryzacji, budownictwie, obronie, itd., kwitną różne zastosowania w opiece zdrowotnej. Jak już wspomniano, inne nieprzemysłowe zastosowania 3DP obejmują edukację, naukę, sztukę i modę. Dopiero niedawno wystartowały, ale szybko się rozwijają i będą coraz bardziej wpływać na nasze codzienne życie.

### 3. 3DP a pandemia Covid-19

Pandemia Covid-19 położyła się cieniem na naszym życiu na początku 2020 roku. Jest interesujące, że szerokie zaangażowanie społeczności 3DP w walkę z tą chorobą przyczyniło się do popularyzacji tej metody wytwarzania. Dobrze zintegrowana w internecie społeczność 3DP włączyła się do produkcji masek ochronnych, zaworów tlenowych do

respiratorów, patyczków do wymazów do testów na obecność koronawirusa, robotów do dezynfekcji pokoi, itp. Szereg firm i instytucji (m.in. Amerykańskie Narodowe Instytuty Zdrowia, Stratasys, HP, GE Healthcare, Chrysler, Ferrari, Airbus, itd.) włączyło się w walkę z koronawirusem, produkując niezbędny sprzęt i/lub udostępniając darmowe pliki do jego wydruku w 3D a także upowszechniając informacje o występujących potrzebach.

Warto przypomnieć, że pandemia Covid-19 spowodowała zerwanie łańcuchów dostaw, co zakłóciło produkcję w wielu zakładach przemysłowych. W tej sytuacji druk 3D mógłby pomóc w utrzymaniu ciągłości produkcji poprzez wykonanie brakujących części na miejscu. Jak wspomniano uprzednio, zaangażowanie społeczności 3DP w walkę z Covid-19 i świadomość jego aktywności w przeciwdziałaniu zerwaniu łańcuchów dostaw, przyczyniły się do zwiększenia widoczności 3DP i lepszego zrozumienia jego znaczenia.

### 4. 3DP a bezrobocie

Drukarki 3D mogą pracować 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu. W roku 2010 i latach następnych oczekiwano, że spowodują one bezrobocie z powodu zastąpienia robotników wydrukowanymi w 3D robotami. Obawy te nie spełniły się. Wręcz przeciwnie, wprowadzenie 3DP na większą skalę mogłoby zmniejszyć dotkliwy niedobór siły roboczej m.in. w pracochłonnej branży budowlanej. Ponadto wiele firm zajmujących się 3DP ma trudności ze znalezieniem potrzebnych wykwalifikowanych pracowników. Jak wspomniano, w USA uruchomiono program rządowy wspierania kształcenia pracowników w tej dziedzinie [18, 19].

### 5. 3DP jako materializacja informacji cyfrowej

Rzadko dyskutuje się o roli informacji cyfrowej w rozwoju 3DP. W 2012 r. M. Ratto i R. Ree przeanalizowali 3DP jako przykład materializacji informacji cyfrowej [20]. Stwierdzili oni, że 3DP to niespotykane wcześniej połączenie produkcji cyfrowej i fizycznej, w którym „grupy posiadające różne poziomy wiedzy technicznej są w stanie jednocześnie

wytwarzać i dzielić się zarówno rzeczami („materialnymi”), jak i wiedzą („niematerialnymi”) poprzez nowo wymyślone, zapośredniczone cyfrowo praktyki” prowadzące do głębokich przemian tradycyjnych relacji produkcja – konsumpcja i istniejących podziałów między ekspertami a laikami.

Opisując najbardziej kreatywne zastosowania 3DP, Ratto i Ree „koncentrowali się na społeczno-ekonomicznych implikacjach nowych technologii produkcyjnych, które są coraz bardziej zintegrowane z procesem wytwarzania, szczególnie na poziomie jednostki i mikroorganizacji”. Kluczowe trendy w rozwoju 3DP zidentyfikowane przez tych autorów to m.in.:

- a. Nowatorskie przestrzenie do produkcji, bardziej powszechne w domach, szkołach, małych firmach i przestrzeniach wirtualnych, takich jak wirtualne społeczności online i fora sieciowe. Te ostatnie stały się hybrydami internetowego warsztatu mechanicznego i sieci społeczno-sociowej, skupiając „tysiące twórców na całym świecie, aby dzielić się wirtualną wersją zbiorowego studia lub przestrzeni warsztatowej, typologii cenionej w społecznych historiach rzemiosła, sztuki i projektowania”. Wskazali oni również na ważną przyszłą rolę repozytoriów plików do 3DP.
- b. Jak ujęli to autorzy: „We współczesnej gospodarce cyfrowej konsumenci coraz częściej poszukują zindywidualizowanych doświadczeń i oczekują, że produkty będą dostosowane do ich konkretnych potrzeb, pragnień, kontekstów i gustów”, co prowadzi do zmian w zachowaniu konsumentów. Tym samym 3DP wspiera

przewidzianą przez Tofflera w „Szoku przyszłości” [9] indywidualizację oraz prosumeryzm, czyli wytwarzanie produktów nie tylko na potrzeby własne, ale także na sprzedaż.

- c. Nowe rozumienie pracy spowodowane zatarciem granicy między produkcją cyfrową a fizyczną umożliwia realizację dużych projektów, takich jak Linux i Wikipedia, w oparciu o współpracę i wkład wielu osób. Przykładem tego w 3DP jest omówiony poniżej projekt Hoenena [21].
- d. Ratto i Ree przewidzieli również, że 3DP napędzi rozwój przedsiębiorczości, sprzyjając tworzeniu nowych przedsiębiorstw.

Powyższe krótkie omówienie wskazuje, że już w 2012 roku Ratto i Ree trafnie przewidzieli liczne zmiany społeczne, jakie przynosi 3DP. Pirjan i D.-M. Petrošanu [22] zebrali ciekawe przykłady zastosowań w ochronie zdrowia i przewidywali, że 3DP doprowadzi do znaczących przemian w życiu codziennym, gospodarce i społeczeństwie, podczas gdy Mary Gehl uznała 3DP jako siłę napędową prosumeryzmu. Liczne skutki społeczne 3DP przedstawiono w Raplocie Niemieckiego Stowarzyszenia Ochrony Środowiska, który omówimy poniżej.

## 6. Zrównoważony rozwój i ekologia a 3DP

Prawdopodobnie najobszerniejsze badanie zrównoważonego rozwoju i przyjaznego stosunku do środowiska 3DP zostało opublikowane przez Niemieckie Stowarzyszenie Ochrony Środowiska, Umweltbundesamt [23]. Omówiono tam kilka aspektów wpływu

3DP na społeczeństwo. W raporcie stwierdzono, że 3DP to wspólna nazwa kilku różnych procesów, takich jak stereolitografia SLA, selektywne spiekanie laserowe SLS, osadzanie topionego materiału FDM i wiele innych metod, bardzo różniących się technologią, zużyciem materiałów i energii. Zatem ocena wpływu 3DP na środowisko jest bardzo skomplikowanym problemem, który należy analizować oddzielnie dla każdej technologii. Generalnie typowa dla 3DP marginalna produkcja odpadów oraz oszczędności materiałowe możliwe dzięki wytwarzaniu obiektów z pustkami skutkują znaczną redukcją kosztów. Oprócz oszczędności materiałowych prowadzi to czasem do zmniejszenia zużycia paliwa ze względu na zastosowanie lekkich części drukowanych w 3D w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym. Ciekawą perspektywą jest wydłużenie okresu użytkowania produktu ze względu na jego konstrukcję specyficzną dla 3DP, jak również możliwość produkcji części na żądanie na miejscu, co eliminuje łańcuchy dostaw i powoduje oszczędność energii i zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>.

Jak wspomniano, oszczędność materiałów charakteryzuje produkcję 3DP, która jednocześnie często wymaga wysokiego zużycia energii. Niestety opublikowano bardzo niewiele analiz tego problemu. Oczywiście energochłonność 3DP należy porównywać z produkcją tradycyjną, zwłaszcza w przypadku średnio- i wielkoseryjnej produkcji przemysłowej. Kolejnym aspektem ekologiczności 3DP jest jego wkład w pozyskiwanie energii słonecznej, wiatrowej, geotermalnej oraz w dekarbonizację przeciwdziałającą zmianom klimatycznym.

Trudnym problemem jest analiza recyklingu odpadów zawierających różne materiały, m.in. z konstrukcji wsporczych stosowanych w niektórych procesach 3DP oraz błędów drukarskich. Raport [20] podkreśla potrzebę dalszych badań czynników zanieczyszczających nieodłącznie związanych z 3DP w każdej stosowanej technologii. Bardzo świadoma ekologicznie społeczność 3DP wkłada znaczny wysiłek w gospodarowanie odpadami poprzez rozwój biodegradowalnych filamentów, takich jak PLA, oraz zbieranie plastikowych czy metalowych śmieci w celu ponownego ich wykorzystania. Branża budowlana stosując 3DP coraz częściej wykorzystuje kompozyty PLA i zasoby odnawialne, takie jak kawa, włókna kokosowe, gleba czy łuski ryżu.

Raport z 2018 koncentruje się głównie na tworzywach sztucznych, choć obecnie dużą rolę odgrywają również metale. W tych ostatnich mamy do czynienia ze znacznym zapotrzebowaniem na energię i innymi kosztami środowiskowymi, np. zużyciem paliw kopalnych i emisją gazów cieplarnianych. W związku z tym w Raporcie porównano toksyczność różnych metod 3DP i skrótowo omówiono niektóre zagrożenia dla środowiska i/lub zdrowia związane z zastosowaniami 3DP w kilku branżach. Raport pokazuje złożoność analizy wpływu 3DP na środowisko, nie doceniono w nim jednak roli średnio- i wielkoseryjnej produkcji przemysłowej, a przeceniono ilość i znaczenie domowych drukarek 3D. W chwili obecnej względna złożoność projektowania dla 3DP, trudności w realizacji procesu drukowania oraz brak poważnego wsparcia hobbystów przez sprzedawców drukarek uniemożliwiły masowe zastosowanie domowe 3DP, natomiast dzięki dużemu wysiłkowi wielu firm metoda ta jest coraz częściej wprowadzana do średnio- i wielkoseryjnej produkcji przemysłowej.

Ekologiczne zastosowania 3DP są bardzo wszechstronne. Na przykład, metodę tę zastosowano do wykrywania azbestu oraz zwalczania pożarów lasów i innych kłesk żywiołowych. Stosuje się ją także do regeneracji wyblakłych raf koralowych. Interesujące jest przekształcanie odpadów jabłkowych w biomateriały stosowane w regeneracji tkanek.



Rys. 2. The Curve Appeal House zaprojektowany przez Urban Architecture Studio WG Chicago.

© WG

### 7. Społeczny wpływ 3DP w Raporcie [23] i nie tylko

W Raporcie przedstawiono kilka aspektów wpływu społecznego 3DP, nie doceniając szybkich zmian w przemysłowych zastosowaniach 3DP, które zachodzą dzięki ogromnemu wysiłkowi przemysłu. Z drugiej strony, mimo spadku cen drukarek, domowe drukarki 3D pozostają niszą. Duże zbiory darmowych lub tanich plików umożliwiają drukowanie w 3D części zamiennych, urządzeń medycznych i protez, prezentów i wielu innych przedmiotów. Nie wystarcza to jednak do szerokiego użytku drukarek w gospodarstwach domowym.

### Rozwój nowych rynków niszowych

3DP wywiera znaczny wpływ na gospodarkę, w szczególności na konkurencyjność i rentowność przedsiębiorstw. Szybkie prototypowanie pozwoliło im znacznie skrócić czas potrzebny na wprowadzenie nowych modeli oraz niedrogi sprawdzenie krótkich serii pod kątem opłacalności komercyjnej. Nowy model biznesowy pozwalający na ekspansję rynku ilustruje współpraca japońskiego producenta zabawek Hasbro z dostawcą usług Shapeways. Jego klienci mogą wykorzystywać i modyfikować modele zabawek. Projekty te, po akceptacji Hasbro, są publikowane na stronie internetowej i mogą być kupowane przez innych klientów, natomiast Shapeways je produkuje i dystrybuje.

Taka współpraca między firmami i ich klientami reprezentuje nowy rodzaj działań w świecie biznesu ze wzmocnionymi relacjami między firmami a klientami.

### Zmiany w modelach biznesowych

Możliwość szybkiego prototypowania modelu za pomocą niedrogiej drukarki 3D wprowadziła duże zmiany w modelach biznesowych, w szczególności w branży jubilerskiej. 3DP zmieniło reguły na rynku biżuterii designerskiej, otwierając go na niezależnych projektantów, którzy mogą zaprezentować swoje projekty bez inwestowania dużych pieniędzy. Usługodawcy zabezpieczają nie tylko produkcję, ale także zapewnienie jakości, pakowanie, reklamę, sprzedaż, a nawet obsługę klienta, a projektant koncentruje się na tym, co robi najlepiej: tworzeniu świetnych projektów. Ponadto produkcję można lokować w regionach zbliżonych do rzeczywistego popytu, dodatkowo unikając nadprodukcji wymagającej kosztownych materiałów. Obniżyło to barierę wejścia do branży, która wcześniej wymagała dużych inwestycji w nadziei na zysk w trakcie targów pół roku później. Dziś młodzi projektanci mogą z powodzeniem konkurować z dużymi firmami, które inwestują duże pieniądze, aby czerpać korzyści z cięcia kosztów produkcji wielkoseryjnej, ale nie są w stanie szybko dostosować się do trendów rynkowych. Dodatkową korzyścią dla klientów jest możliwość wykorzystania licznych darmowych plików do samodzielnego wydrukowania biżuterii 3D.



Rys. 3. Gaia – pierwszy dom wydrukowany w 3D z użyciem gleby jako materiału. © WASP



Rys. 4. Protezy wydrukowane w 3D przez fundację Not Impossible dla ofiar min łądowych. © Not Impossible

### Decentralizacja logistyki i transportu

Jeśli chodzi o branżę jubilerską, kolejną zaletą 3DP jest decentralizacja logistyki i transportu. Produkt może być wytwarzany na żądanie, zmniejszając związane z tym koszty magazynowania. Ciekawą perspektywą jest regionalizacja produkcji części zamiennych lub wręcz ich wytwarzanie w warsztatach naprawczych. Takie korzyści z produkcji części zamiennych, zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym, umożliwiają produkcję części zamiennych do wycofanych już z produkcji pojazdów zabytkowych i klasycznych, co przedłuża ich użytkowanie, np. w Indiach. Podobnie dorobienie części zamiennych do urządzeń z lat 1930tych w nowojorskim metrze, kiedy od dawna nie istnieją już zakłady je produkujące, pozwoliło na przedłużenie użytkowania tych urządzeń.

### Zmiany wzorców konsumpcji i stylu życia

Omawiając zmiany w stylach życia, autorzy Raportu [23] przedstawiają zwiększone wykorzystanie drukarek 3D w Laboratoriach Fabrykacji (ang. FabLab) i przestrzeniach twórców (ang. Makers space) jako praktykę społeczną powiązaną z określonymi wartościami, stylami życia i motywacjami. Fablaby i makerspace'y to „wspólne przestrzenie, w których użytkownicy mogą projektować i wytwarzać własne obiekty poza konwencjonalnymi kanałami masowej produkcji, wykorzystując na przykład wycinarki laserowe, drukarki 3D i stacje elektroniczne”. Wartości reprezentowane przez ruch twórców to „uczestnictwo”, „współpraca”, „dzielenie się”, „samorealizacja”, „eksperymentowanie”, „otwartość”, itp. Twórcy są częścią kontrkultury, która generalnie manifestuje postawę proekologiczną i aktywnie ją realizuje. Korzystają oni z darmowych i/lub tanich plików do produkcji części zamiennych do napraw domowych lub wyrażają siebie poprzez tworzenie biżuterii, zabawek, dekoracji itp. Ten aspekt wpływu społecznego 3DP jest właściwie niezbadany.

### Identyfikacja cech innowacyjnych

Swoboda projektowania i produkcji, nowi producenci i elastyczne miejsca produkcji to innowacyjne cechy 3DP. Innowacyjność „nowych producentów” sprawia, że dzięki przystępnym cenom drukarek i względnej prostocie obsługi łatwiej jest stać się producentem. Temu

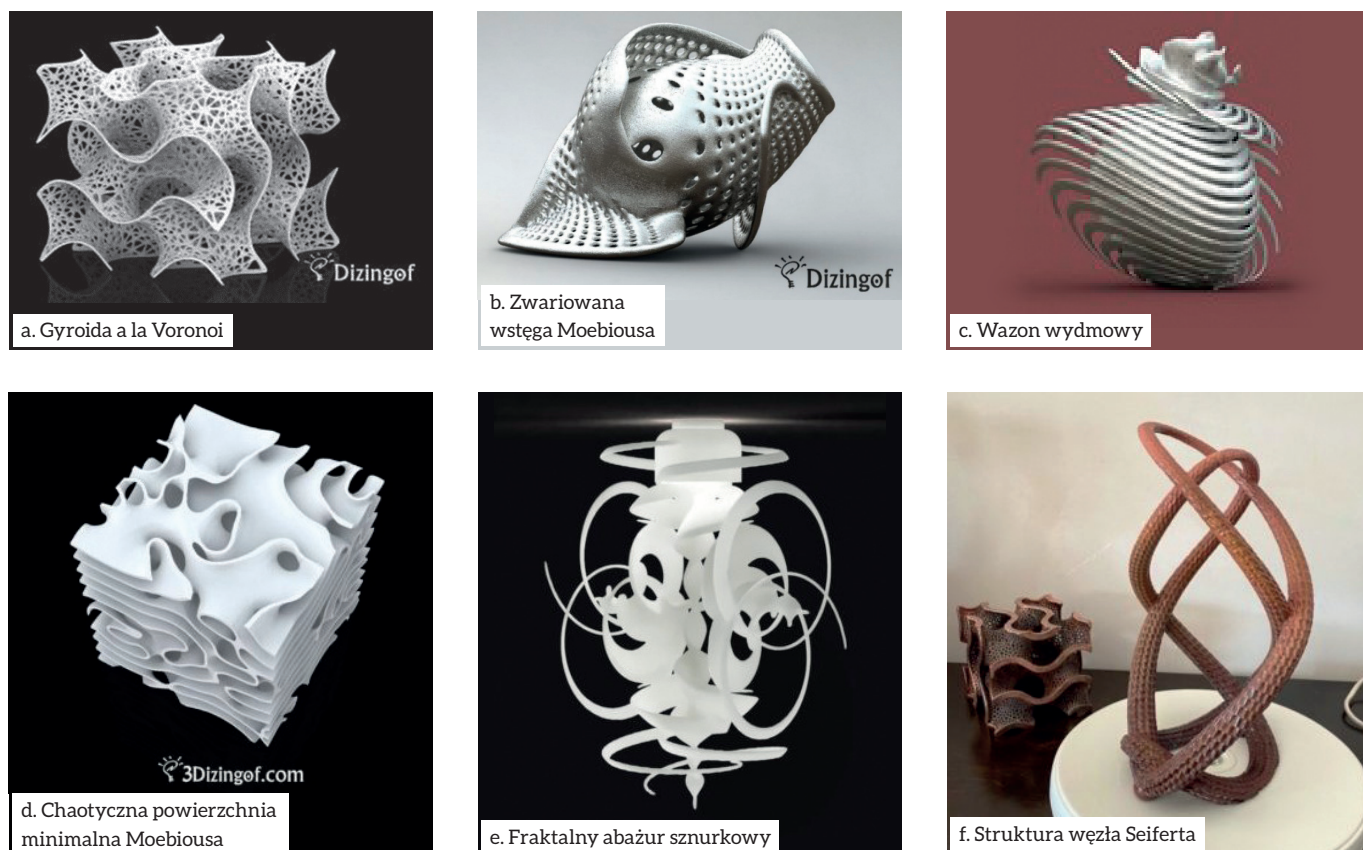
celowi służą również drukarki 3D dla dzieci, ponieważ przyzwyczajenie się do 3DP w tym wieku z pewnością przyczyni się do jego szerszego wykorzystania. Łatwy dostęp do technologii i możliwość jej stosowania w wielu różnych miejscach, czyli elastyczność miejsc produkcji, zdecydowały o docenieniu demokratyczności tej technologii.

Należy jeszcze raz podkreślić, że chęć dzielenia się wiedzą i wynikami charakterystyczne dla społeczności 3DP jest motorem napędowym rozwoju tej dziedziny. Stymulują one również liczne działania fundacji i podmiotów prywatnych. Organizacje te działają nie tylko w przemyśle, ale także w takich dziedzinach jak opieka zdrowotna, edukacja i pomoc w przypadku klęsk żywiołowych. Te społeczne implikacje 3DP zostaną bardziej szczegółowo omówione poniżej.

### 8. Wybrane przykłady społecznych projektów 3DP

Pierwszy społeczny projekt 3DP, RepRap, jest częścią szerszego ruchu tzw. nauki obywatelskiej lub otwartej, na wzór Projektu Łowienia Planet (ang. Planet Hunters Project). Otwarta nauka i 3DP zaczęły się drastycznie zmieniać i demokratyzować naukę i opiekę zdrowotną poprzez obniżanie kosztów drogiego sprzętu. Zamiast go kupować, wielu badaczy używa samodzielnie zbudowanych urządzeń lub zmodyfikowanych zamienników, często konstruowanych z pomocą organizacji non-profit. Dr Tarek Loubani zaprojektował i wydrukował w 3D stetoskop do użytku w biednych szpitalach w Strefie Gazy i udostępnił w sieci darmowe pliki do jego drukowania. Słuchawki takie kosztują około 5 dolarów i nie są gorsze niż produkty markowe. Easton LaChappelle, wówczas 17-letni, zaprojektował i wydrukował w 3D protezę ręki dla małej dziewczynki po tym, jak wyrosła ze starej, za około 250 dolarów zamiast 80 000 dolarów. Projekt zainspirował kilka podobnych projektów na większą skalę.

Bodo Hoenen zainicjował projekt 3DP chcąc wykonać egzozkielet dla swojej prawie całkowicie sparaliżowanej córki. Nie mając 50 000 dolarów na jego zakup, ogłosił problem w mediach



Rys. 5. Mathart Dizingofa. © Dizingof

społecznościowych i, wbrew oczekiwaniu, otrzymał pomoc z całego świata w opracowaniu prototypu. Następnie zebrał pieniądze, korzystając z crowdsourcingu, aby wydrukować ten projekt w 3D. Pliki prototypu są dostępne bezpłatnie w internecie, a egzoszkielek, który bardzo pomógł córce Hoenena, jest nadal ulepszany przez innych zainteresowanych rodziców. Chęć pomocy potrzebującym jest znakiem rozpoznawczym dobrze skomunikowanej społeczności 3DP, co znalazło odzwierciedlenie również w omówionych powyżej działaniach związanych z walką z pandemią Covid.

### 9. Społeczny wpływ 3DP na przemysł

Wpływ 3DP na gospodarkę jest szeroko analizowany [4 – 6]. Jednak prezentacje znaczących osiągnięć i spektakularnych zastosowań w ochronie zdrowia przesłaniają jego oddziaływanie na społeczeństwo jako całość. Wpływ 3DP na niemal wszystkie dziedziny naszego życia będzie przytłaczający i jesteśmy w stanie przedstawić tutaj tylko kilka aspektów tego wpływu.

#### Ogólny wpływ na przemysł

Odblokowanie ukrytej przedsiębiorczości dzięki łatwości prototypowania poprzez obniżenie bariery wejścia na rynek dla startupów zostało omówione powyżej. Wystarczy komputer, drukarka 3D i szybkie łącze internetowe obsługiwane przez darmowe oprogramowanie, aby przy minimalnych nakładach inwestycyjnych otworzyć przysłowiową firmę w garażu lub własnej piwnicy. Dzięki radykalnej demokratyzacji projektowania, produkcji i dystrybucji, „to co Airbnb zrobiło dla branży hotelarskiej, 3DP może zrobić dla produkcji przemysłowej” [24]. Społeczny wpływ 3DP na przemysł zilustrujemy na konkretnym przykładzie branży budowlanej.

#### Budownictwo

3DP dopiero niedawno wszedł na rynek budowlany. W zależności od rodzaju urządzeń, takich jak roboty przemysłowe, suwnice czy pojazdy autonomiczne na uwięzi, obecnie drukowane w 3D budynki mogą być wykonywane na miejscu lub w fabryce. Tradycyjne i nietypowe materiały stosowane w budownictwie przez 3DP to nie tylko piasek

i glina, lecz również sól, kawa, wytloki winne, łuski ryżowe, guma, itd. Dodatkowo zastosowanie 3DP w budownictwie obniża koszty przy mniejszej liczbie pracowników i krótszym czasie budowy. Jednak częste doniesienia o budowie budynków w ciągu 24 godzin są niewiarygodne. Budownictwo charakteryzuje się wysoką wypadkowością, ale stosowanie 3DP zmniejsza wysoki wskaźnik wypadków w tym przemyśle. Ponadto 3DP daje swobodę projektowania, tworząc kształty niewyobrażalne w tradycyjnych konstrukcjach. Imponujący budynek Curve Appeal house, który to ilustruje, pokazano na rys. 2.

Pomysł niedrogiego i zrównoważonego budownictwa z wykorzystaniem 3DP przyciągnął organizacje walczące z niedoborem mieszkań. Np. włoska firma WASP [25] produkuje drukarki 3D i opracowuje spełniające wymogi zrównoważonego rozwoju konstrukcje mieszkalne z wykorzystaniem materiałów lokalnych standardowych lub pochodzących z recyklingu. Stworzyła ona nowy ekonomiczny model budowy w jednym kontenerze: Ekonomiczny Zestaw Startowy Producenta (ang. Maker Economy

Starter Kit) składający się z drukarek 3D, zestawu narzędzi i surowców do konserwacji mechanicznej oraz karty SD. Na podstawie zebranej wiedzy taki projekt open source może być realizowany wielokrotnie, a menedżerowie, projektanci, inżynierowie i architekci mogą wchodzić na stronę internetową firmy i pobierać dane lub wymieniać się informacjami. Jako dowód słuszności koncepcji WASP zrealizował projekt Gaia (rys. 3), wykorzystując materiały biodegradowalne i odpadowe, tj. glebę, łuski i słomę ryżową oraz wapno hydrauliczne. Zaowocowało to murem o bardzo korzystnych właściwościach z bioklimatycznego i zdrowotnego punktu widzenia.

Na pograniczu przemysłu i nauki sytuuje się działalność Instytutu Architektury Biocyfrowej i Genetyki w Barcelonie, która koncentruje się na łączeniu technologii biologicznych i cyfrowych w celu przekształcania architektury [26]. Futurystyczny pomysł łączenia genetyki, produkcji cyfrowej i uczenia

maszynowego stanowi podstawę awangardowego krajobrazu miejskiego „żywych” projektów architektonicznych opracowanych w tym instytucie. Zainspirowani pracami Gaudiego i surrealistów, badacze postawili sobie za cel połączenie technologii biologicznych i cyfrowych, w tym 3DP, w celu przekształcania architektury. Na przykład zbadali biodruk i przetestowali nowe żywe biomateriały, aby stworzyć zrównoważoną architekturę, w której biodruk 3D jest jednym z narzędzi transformacyjnych umożliwiających architekturze zielonego futurizmu tworzenie miast replikujących naturę. Według naukowców z tego instytutu obecne domy przypominają kontenery ładunkowe ułożone w stosy do przechowywania, podczas gdy w przyszłości miasta będą musiały być w 50% biologiczne i w 50% cyfrowe. Co ciekawe, instytut iBAG-UIC zatrudnia również filozofów i genetyków. Tworzą oni dla naukowców ramy do zrozumienia opracowywanej przez nich architektury biocyfrowej.

## 10. Społeczny wpływ 3DP na ochronę zdrowia, edukację i sztukę

### Wpływ na opiekę zdrowotną

Społeczny wpływ 3DP na opiekę zdrowotną jest nie do przecenienia. Oprócz prototypowania urządzeń medycznych, wirtualne planowanie operacji, które pomaga chirurgom w ich przeprowadzaniu, produkcja implantów, protez (rys. 4) oraz urządzeń medycznych wykorzystujących 3DP są coraz szerzej stosowane w leczeniu. Ponadto 3DP jest szeroko stosowany w produkcji aparatów słuchowych i stomatologii, a także w modelach anatomicznych dostosowanych do pacjenta itp. Przyczynia się to do skrócenia procedur medycznych i szybszego powrotu do zdrowia, obniżenia kosztów procedur i/lub urządzeń oraz poprawia samopoczucie pacjentów. Społeczny wpływ 3DP ilustrują również strony internetowe oferujące bezpłatne i/lub tanie pliki do druku protez i urządzeń medycznych. Niektóre fundacje



produkują i dostarczają protezy ofiarom min łądowych w Azji i Afryce oraz biednym (rys. 4). Coraz szerzej wprowadza się 3DP w bezpośredniej bliskości pacjenta (ang. Point of Care). Inne bardzo oczekiwane pole zastosowań 3DP w opiece zdrowotnej stanowi wykorzystanie biodruku 3D do drukowania narządów w celu zastąpienia w przyszłości narządów pochodzących od ludzkich dawców. Biodruk 3D wykorzystuje się już obecnie do badań przesiewowych i dostarczania leków, tworzenia urządzeń do modelowania chorób oraz do regeneracji tkanek.

### 3DP a edukacja

Zakorzeniony w XIX wieku dzisiejszy system szkolnictwa z podziałem na przedmioty i programami nauczania stworzył skuteczny sposób kształcenia dużej liczby uczniów. Jednak jego sztywny i sztuczny podział na tematy, m.in. język ojczysty w oderwaniu od historii czy geografii, przyczynił się do utraty naturalnych związków między nimi a przedmiotem nauki. Rachunek różniczkowy został stworzony do badania zagadnień dynamiki i mechaniki ruchu planet, ale obecnie jest nauczany w całkowitym oderwaniu od zagadnień praktycznych. 50 lat temu praktyczne lekcje w szkołach obejmowały szycie dla dziewcząt i stolarstwo dla chłopców. Dzisiaj nikt już takich rzeczy nie robi, nikt nie zna zasady działania smartfonu czy łódzki. 3DP stwarza okazję do kontaktu z praktyką, przywraca współzależności między różnymi dziedzinami i pomaga zrozumieć abstrakcyjne pojęcia i ich implikacje praktyczne, takie jak zależność między wielkością obiektu po wydrukowaniu a siatką 200 mm × 200 mm na ekranie, a także zrozumieć plik opisujący 3DP. Na przykład w Technikum im. Henryka Sienkiewicza w Kołobrzegu członkowie klubu modelowania 3D nauczyli się projektować, aby wydrukować w 3D szczegółową dioramę zabytków swojego miasta [27]. Umożliwiło im to nie tylko zdobycie umiejętności technicznych związanych z 3DP, lecz również lepsze zrozumienie matematyki i inżynierii, a także poznanie historii swojego miasta. Szkoła zdecydowała się włączyć technologię do regularnych zajęć po tym, jak program stał się niezwykle popularny.

3DP pozwala na odejście od starego

sztywnego schematu nauczania poprzez tworzenie opartego na współpracy uczenia się opartego na problemach i przyjęcie pozytywnego nastawienia do nauki. Uczeń może wymyślić, co chce wydrukować w 3D, zaprojektować i wykonać to, czyli zrobić własnoręcznie coś, co mało kto już dziś robi. Jak zauważono, 3DP może sprawić, że takie działy, jak nauka, technologia, inżynieria, sztuka i matematyka, będą atrakcyjne, a powiązania między nimi staną się zrozumiałe. W ten sposób dzieci zapoznają się z wieloma pojęciami geometrycznymi i dogłębnie rozumieją technologię. Proste narzędzia programowe dla dzieci umożliwiają im łatwe przygotowanie plików do druku 3DP. Dziś 3DP jest nauczane na wszystkich poziomach edukacji w wielu krajach. W Chinach drukarki 3D zostały wprowadzone do 400 000 szkół już w 2007 roku. Podobne programy istnieją w innych krajach. Na liście 10 najlepszych stopni 3DP/AM University znajduje się 5 amerykańskich i 5 brytyjskich uczelni.

3DP pomocy naukowych i modeli to kolejny ważny obszar zastosowań 3DP w edukacji. Należą do nich kopie artefaktów archeologicznych pogłębiające zrozumienie historii starożytnej oraz modele biologiczne, chemiczne lub części ciała. Wydrukowane w technologii 3DP skrzynia biegów lub silnik spalinowy pokazują, jak działają te urządzenia. Bezpłatna książka „Tanie drukowanie 3D dla nauki, edukacji i zrównoważonego rozwoju” [28] opisywała praktyczne aspekty zarówno drukowania, jak i modelowania, a także oprogramowania open source oraz wydrukowanych w 3D modeli w matematyce, nauce, medycynie i sztuce.

3DP służy również do katalogowania obiektów muzealnych, a niektóre pliki do ich wydrukowania są dostępne bezpłatnie, m.in. na stronach internetowych nowojorskiego Metropolitan Museum of Art, British Museum, Luwru i amerykańskich Muzeów Smithsonian. Projekt „Global Digital Museum” ma na celu trójwymiarowe zeskanowanie wszystkich okazów w największych muzeach. Umożliwiłoby to 3DP replik i rozszerzyło dostęp do zbiorów dla wszystkich zainteresowanych, m.in. dla osób niedowidzących.

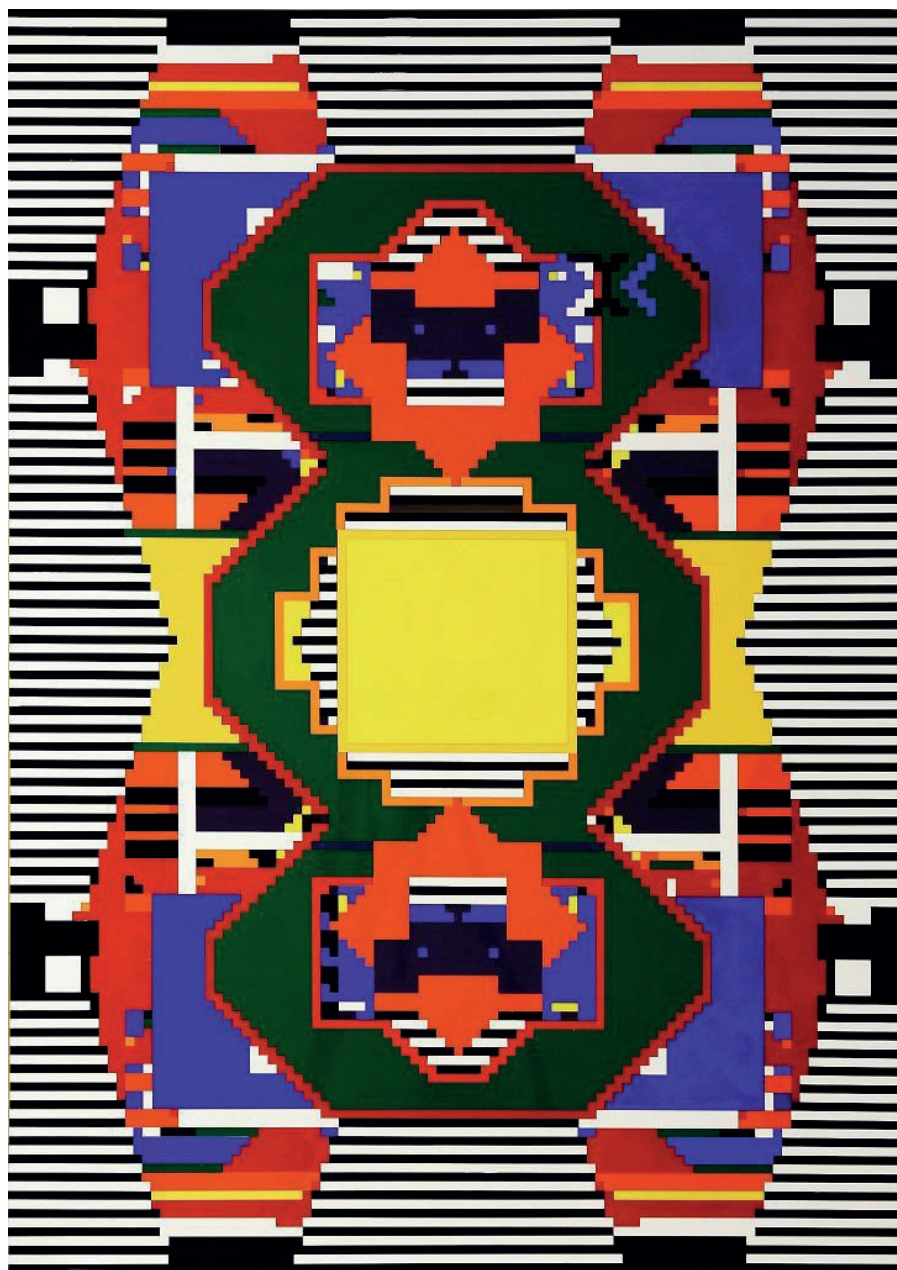
W USA 3DP zastosowano również w resocjalizacji, aby edukować młodych



Rys. 6. Sukienka projektantki Noa Raviv z kolekcji prêt-à-porter z 2014 roku pokazana na wystawie strojów w MET w 2016 roku.

© H. Dodziuk

ludzi, którzy porzucili szkołę i często wchodzą w konflikt z prawem. Zainteresowanie młodzieży 3DP zmienia ich życie, pozwalając jej zdobyć umiejętności i dobrze płatną pracę. Nauczanie 3DP dorosłych w krajach afrykańskich ma zupełnie inny charakter. W 2016 roku firma Kuunda3D odwiedziła najstabilniej rozwinięte obszary wiejskie biednej Tanzanii ucząc ludzi 3DP, opracowując przy okazji innowacyjne metody nauczania w bardzo skromnych warunkach (panele słoneczne używane tam, gdzie nie było prądu). Nauczanie niewykształconych mieszkańców Tanzanii było wyzwaniem, gdyż m.in. w języku suahili nie ma słów na trójwymiarowość. Oczywiście w czasie pokazów dzieci były oczarowane zabawkami wydrukowanymi w 3D, ponieważ większość z nich widziała takie zabawki po raz pierwszy w życiu.



Rys. 7. „Syntetyczny folklor”, płaskorzeźba autorstwa Janka Simona. © H. Dodziuk

### Wpływ druku 3D na sztukę

Oprócz katalogowania kolekcji muzealnych i renowacji obiektów sztuki, 3DP jest również wykorzystywane do rekonstrukcji utraconych arcydzieł, takich jak posąg Buddy zniszczony przez talibów. Co ciekawe, 3DP dotyczy nie tylko rzeźb, ale także obrazów. Np. słynną „Gwiazdzistą noc” van Gogha, wykonaną przez wielokrotne malowanie kilkoma warstwami farby można bardzo tanio wydrukować w 3D lub zlecić wydrukowanie kopii za pomocą bezpłatnego pliku stl.

Ciekawsze niż kopiowanie jest tworzenie nowatorskich dzieł sztuki poprzez zastosowanie pojęć matematycznych lub równań (rys. 5), jak zrobił to Dizingof. Na uwagę zasługują również nietrywialne stroje high fashion autorstwa projektantki Noa Raviv (rys. 6) oraz „Syntetyczny folklor” wygenerowany przez sztuczną inteligencję jako mieszanka motywów etnicznych różnych kultur, a następnie wydrukowany w 3D przez Janka Simona (rys. 7). Wystawę jego prac wykonanych metodą druku 3D pokazało Centrum Sztuki Współczesnej Zamek Ujazdowski w Warszawie w 2019 r.


### 11. Wnioski

Ożywienie rynku 3DP po pandemii przyspieszyły wyjątkowe właściwości tej metody wytwarzania, zaś problemy gospodarcze spowodowane przez nią pokazały, jak ważną rolę odgrywa 3DP w innowacyjności, rozwiązywaniu problemów środowiskowych i wypełnianiu luk wynikających z przerwania łańcuchów dostaw. Oczekuje się również, że 3DP będzie przeciwdziałać globalizacji. Oprócz wpływu na rozwój gospodarczy, metoda ta spowoduje znaczne zmiany społeczne w prawie wszystkich dziedzinach. W służbie zdrowia przyczyni się do obniżenia kosztów, przyspieszenia zdrowienia pacjentów i poprawy ich samopoczucia. W edukacji 3DP zrewolucjonizuje systemy szkolne, zwiększy ich efektywność poprzez wykorzystanie modeli drukowanych w 3D i będzie wspierać kreatywność. 3DP pomoże również w upowszechnianiu sztuki, renowacji zniszczonych obiektów oraz wspieraniu kreatywności. Ta metoda wytwarzania zostanie również zastosowana do budowy tanich mieszkań, przy usuwaniu skutków katastrof zarówno naturalnych jak i tych, które są spowodowane przez człowieka. Jej przyszły głęboki wpływ na prawie wszystkie aspekty naszego życia jest nie do przecenienia.

### Literatura

- [1] Dodziuk, H. (2019), Druk 3D/AM. Zastosowania i skutki społeczne i gospodarcze, PWN, Warszawa.
- [2] Rifkin, J. (2011). The Third Industrial Revolution. New York, NY: Palgrave Macmillan.
- [3] O'Connor, D. (2020). State of the additive manufacturing industry. <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/state-of-the-additive-manufacturing-industry/>, dostęp 20 II 2024.
- [4] Wohlers, T., Caffrey, T. (2014). Wohlers Report 2014, cytowane przez Faulant, R., [https://www.researchgate.net/figure/Number-of-sold-3D-printers-in-industrial-and-consumer-markets-Wohlers-and-Caffrey\\_fig1\\_303899208](https://www.researchgate.net/figure/Number-of-sold-3D-printers-in-industrial-and-consumer-markets-Wohlers-and-Caffrey_fig1_303899208), dostęp 20 II 2024.
- [5] McCue, T. J. (2018). Wohlers Report 2018: 3D printer industry tops \$7 billion. <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2018/06/04/>

- wohlers-report-2018-3d-printer-industry-rises-21-percent-to-over-7-billion/, dostęp 20 II 2024.
- [6] Grand View Research. Additive manufacturing market size, share, trends analysis report. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/additive-manufacturing-market>, dostęp 20 II 2024.
- [7] Zastrow, M. (2020). 3D printing gets bigger, faster and stronger, *Nature*, 578, 20-23. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00271-6>, dostęp 20 II 2024.
- [8] 3DSourced. (2023). How 3D printed hearing aids silently took over the world. <https://www.3dsourced.com/editors-picks/custom-hearing-aids-3d-printed/>
- [9] Toffler, A. (1970). *Future shock*. New York, NY: Random House. *Szok przyszłości*, Zysk i S-ka, Poznań, 1999.
- [10] Dodziuk, H. (2016). *Kardiochir Torakochirurgia Pol.*, vol. 13, 283–293; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5071603/>, dostęp 18 maja 2023.
- [11] Listek, V. (2023). Global Crackdown on 3D Printed Ghost Guns Escalates. <https://3dprint.com/303010/global-crackdown-on-3d-printed-ghost-guns-escalates/>, dostęp 17 II 2024; M. Molitch-Hou, 2023. 3D Printed Guns Confiscated by Israeli Military in West Bank, <https://3dprint.com/302699/3d-printed-guns-confiscated-by-israeli-military-in-west-bank/>, dostęp 17 II 2024.
- [12] Sculpteo. (2018). Interview: Meet one of the 3D printing creators, Jean-Claude André. <https://www.sculpteo.com/blog/2018/10/10/interview-meet-one-of-the-3d-printing-creators-jean-claude-andre/>, dostęp 20 II 2024.
- [13] RepRage. How many consumer 3D printer have been sold? <https://reprage.com/posts/2012-11-10-how-many-consumer-3d-printers-have-been-sold/>, dostęp 20 II 2024.
- [14] BBC. (2012). Transplant jaw made by 3D printing claimed as first. <https://www.bbc.com/news/technology-16907104>, dostęp 20 II 2024.
- [15] All3DP. (2016). The official history of the RepRap project. <https://all3dp.com/history-of-the-reprap-project/>, dostęp 20 II 2024.
- [16] Glover, E. (2023). These 3D-printed cars are driving change in the automotive industry, one layer at a time. <https://builtin.com/3d-printing/3d-printed-car>, dostęp 17 II 2024.
- [17] Peels, J. (2022). Concrete Dreams: A Reevaluation of the Potential in 3D Printed Construction. <https://3dprint.com/294797/concrete-dreams-a-reevaluation-of-the-potential-in-3d-printed-construction/>, dostęp 19 II 2024.
- [18] <https://www.americamakes.us/>. Advancing technology. Growing the workforce. Expanding the ecosystem, dostęp 19 II 2024.
- [19] Isaac, B. (2024). White House Convenes to Propel Additive Manufacturing Investments. <https://www.3dnatives.com/en/white-house-am-forward-fund-200220244/>, dostęp 21 II 2024
- [20] Ratto, M., Ree, R. (2012). Materializing information: 3D printing and social change. *First Monday*, v. 17, n. 7, <https://journals.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/download/3968/3273>, dostęp 18 II 2024 2023.
- [21] C. Thotnett, 2017, Lorelei's story: how a 5-year-old crowd-sourced a robotic prosthetic, <https://www.techradar.com/news/loreleis-story-how-a-5-year-old-crowd-sourced-a-robotic-prosthetic/>, dostęp 10 II 2024.
- [22] Pirjan, A. Petroșanu, D.-M. (2013). The Impact Of 3d Printing Technology On The Society And Economy, *Romanian Economic Business Review*, Romanian-American University, v. 7, 360 – 370.
- [23] T. Vialva, (2018). <https://3dprintingindustry.com/news/is-3d-printing-really-as-ecofriendly-as-we-think-it-is-136335/>, dostęp 19 II 2024.
- [24] osha, (2019). [https://oshwiki.eu/wiki/3D\\_printing\\_and\\_additive\\_manufacturing\\_-\\_the\\_implications\\_for\\_OSH](https://oshwiki.eu/wiki/3D_printing_and_additive_manufacturing_-_the_implications_for_OSH), dostęp 19 II 2024.
- [25] WASP, (2020). <https://www.facebook.com/sculpteo/videos/meet-gaia-by-wasp-the-3d-printed-house-made-with-no-material-waste-curious-about/1463075773853024/>, dostęp 19 II 2024.
- [26] Listek, V. (2020). Biodigital architecture: FELIXprinters and i-BAG-UIC to test living biomaterials for sustainable architecture. <https://3dprint.com/276251/biodigital-architecture-felixprinters-and-ibag-uic-to-test-living-biomaterials-for-sustainable-architecture/>, dostęp 19 II 2024.
- [27] Pankowski, S. (2023). <https://szczecin.tvp.pl/73949765/potega-druku-3d-powstaje-w-kolobrzegu-makieta-sredniowiecznego-koszalina>, dostęp 18 II 2024.
- [28] Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development, 2013. Enrique Canessa, Carlo Fonda, Marco Zennaro, Eds., ICTP The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013, ICTP Science Dissemination Unit, bezpłatne pobranie <http://sdu.ictp.it/3d/book.html>, dostęp 19 II 2024.

 Prof. dr hab. Helena Dodziuk  
Instytut Chemii Fizycznej  
hdodziuk@gmail.com