

# Drukowanie w 3D i jego unikalne zalety

Helena Dodziuk

## Zalety druku 3D

Druk 3D robi tak oszałamiającą karierę, ponieważ posiada wiele korzystnych właściwości, w zasadniczy sposób różniących go od tradycyjnych metod wytwarzania. Mamy tu do czynienia z wartością dodaną związaną z tą metodą produkcji. Dzięki technologii można wytwarzać „za jednym zamachem” przedmioty, których nie da się uzyskać w taki sposób przy zastosowaniu żadnej innej metody przemysłowej. Mówi się nawet o „niemożliwej geometrii”<sup>1</sup>, ponieważ 3DP umożliwia:

1. **Drukowanie obiektów o bardzo skomplikowanych kształtach, których wytworzenie inną metodą jest trudne, drogie, czasami wręcz niemożliwe.** Chyba najlepiej ilustrują to dysze do paliwa<sup>2</sup> w silnikach lotniczych wydrukowane w 3D przez GE we współpracy z firmą Snecma (SAFRAN). Pozwoliło to zmniejszyć liczbę części składowych tych dysz o bardzo złożonym kształcie z 19 do 1. W ten sposób uniknięto konieczności montażu, co pozwoliło na zmniejszenie kosztów o 75%<sup>3</sup>. Co więcej, w maju 2015 roku samoloty odrzutowe Airbus A350 zawierały już ponad tysiąc drukowanych w 3D części<sup>4</sup>. W kwietniu 2016 roku GE Aviation dostarczył koncernowi Airbus do wmontowania do samolotów dwa pierwsze silniki wyposażone w dysze do paliwa wydrukowane w 3D<sup>5</sup>, a następnie uruchomił program mający na celu produkcję 45 tys. takich dysz rocznie<sup>6</sup>. Eliminacji montażu przy produkcji dysz metodą druku 3D oraz związanej z tym obniżki kosztów wytwarzania nie zauważył prof. Matthias Holweg z Oxfordu w artykule *The Limits of 3D Printing*<sup>7</sup> opublikowanym w „Harvard Business Review”, który zostanie omówiony później jako przykład dezinformacji często pojawiającej się w dziedzinie 3DP.
2. **Drukowanie części zawierających puste wewnętrzne przestrzenie.** Takie drukowanie to oszczędność pieniędzy, ponieważ nie ma sensu wypełnianie wnętrza modelu kosztownym materiałem. Daje to w wyniku lżejsze samoloty, helikoptery, samochody oraz pojazdy kosmiczne<sup>8</sup>, które oprócz zużywania mniejszej ilości materiałów potrzebują mniej paliwa i wydzielają mniej gazów spalinowych. Czasami pusta część przestrzeni jest wypełniona siatką, która przyczynia się do zwiększenia stabilności i wytrzymałości lżejszego obiektu.
3. **Drukowanie części ruchomych.** Drukowanie w 3D pozwala na jednoczesną i całościową produkcję przedmiotów z częściami ruchomymi. Prawdopodobnie najczęściej pokazywanym przykładem tego rodzaju jest model starego przyrządu, astrolabium (rys. 1), używanego przez astronomów i nawigatorów od starożytności aż do renesansu. Innym przykładem są trzy przeplecione pierścienie<sup>9</sup> (w matematyce noszące nazwę linku, a w chemii katenanu), których druk



Rys. 1. Model astrolabium wydrukowany w 3D „za jednym zamachem”

© H. Dodziuk

można zobaczyć na YouTube<sup>10</sup>, co może znaleźć praktyczne zastosowania.

4. **Skrócenie czasu oraz niskie koszty wytworzenia i testowania prototypu wraz z łatwością jego ulepszenia** należą do najważniejszych zalet 3DP; szybkie prototypowanie było pierwszą dziedziną licznych zastosowań druku 3D i wraz z wytwarzaniem narzędzi stanowi do dziś trzon jego zastosowań. Korzystniejsza staje się również sytuacja nowych startupów, ponieważ dużo łatwiej i taniej jest wytworzyć prototyp i – co ważniejsze – sprawdzić sam pomysł, a następnie dopracować go<sup>11</sup>. Uważa się również, że ze względu na łatwość prototypowania druk 3D zrewolucjonizował całą dziedzinę projektowania, co widać wyraźnie na przykładzie przemysłu motoryzacyjnego<sup>12</sup>, ale nie tylko. Jak ujął to największy autorytet w dziedzinie druku 3D Terry Wohlers: „Co mają wspólnego największy niemiecki producent samochodów, chirurg z Brazylii, wytwórca urządzeń do produkcji żywności i wielki producent zabawek? Wszyscy oni [i nie tylko oni – przypis H.D.] są zainteresowani metodami designu opartymi na druku 3D”<sup>13</sup>.
5. **Do innych zalet druku 3D należą: zmniejszanie kosztów** związanych z opracowaniem i wytwarzaniem narzędzi do produkcji<sup>14</sup>. Jest to tzw. szybkie wytwarzanie narzędzi. Zwrócono również uwagę na to, że łatwy i tani druk nawet prostych narzędzi, np. uchwytów<sup>15</sup>, zmienia procesy produkcyjne, ponieważ są one tanie (co szczególnie ważne dla małych przedsiębiorstw) i nie są uniwersalne, a dopasowane do konkretnego projektu. Warto dodać, że dodatkowymi zaletami 3DP są:

- możliwość samodzielnego wytworzenia obiektu, gdy nie można go znaleźć; wykorzystano to np. przy naprawach w nowojorskim metrze starych urządzeń, wytworzonych przed II wojną światową przez dziś już nieistniejącą firmę<sup>16</sup>;
- ważną zaletą jest również wykorzystanie tej metody wytwarzania w dalekich izolowanych społecznościach (ang. *remote communities*)<sup>17</sup>.

Zalety wprowadzenia druku 3D w przedsiębiorstwach podsumowano na blogu sculpteo, wskazując, poza wyżej wymienionymi, na możliwość przetestowania i wyboru tańszych materiałów<sup>18</sup>. Oprogramowanie tej firmy posiada narzędzie pozwalające na „robienie dziur” (ang. *hollowing tool*), czyli niecałkowite wypełnienie drukowanych obiektów.

Stosowanie druku 3D w medycynie to obszar, w którym ta technologia przynosi głębokie zmiany:

1. Jedną z najbardziej atrakcyjnych, dodatkowych cech zastosowania druku 3D w medycynie jest **personalizacja**, która pozwala na drukowanie w 3D narzędzi chirurgicznych, np. do specjalistycznych operacji na niemowlętach i płodach<sup>19</sup> w łonie matki lub do produkcji **niedrogich narzędzi chirurgicznych**<sup>20</sup>, zastępujących tradycyjne narzędzia ze stali nierdzewnej narzędziami z tworzyw sztucznych. Innym przykładem są różnego rodzaju **personalizowane implanty**<sup>21</sup> wydrukowane w 3D z tytanu lub z tworzywa sztucznego (PEEK, Peck lub materiału CT bone<sup>22</sup>, zawierającego fosforan wapnia, który jest głównym składnikiem naturalnych kości), a także **przeszczepy naczyńniowe**<sup>23</sup>. **Możliwość przetrenowania zabiegu**<sup>24</sup> przed jego wykonaniem pomaga chirurgom w przygotowaniu się do operacji; jest to tzw. wirtualne planowanie operacji (ang. *virtual surgical planning*).
2. Jednak wydaje się, że w medycynie druk 3D największy wpływ wywiera na **protetykę i implantologię**. Należy tu wymienić, obok personalizacji i komfortu pacjenta, cenę, szybkość wykonania oraz estetykę. Ten ostatni, może mniej ważny aspekt dotyczy wyglądu protezy.

Joel Gibbard, założyciel spółki Open Bionics<sup>25</sup>, powiedział na 3D Print Show w 2015 roku w Berlinie, że przed zajęciem się protezami narządów ruchu przeprosił osoby bez kończyn, aby dowiedzieć się, jakiego rodzaju protezy chcieliby mieć. Oprócz oczywistych odpowiedzi, że powinny być one lekkie i wygodne w obsłudze, dostał jedną pozornie zadziwiającą odpowiedź. Dla młodych osób po amputacji proteza nie powinna naśladować ludzkiej ręki, ma być ona raczej gadżetem, np. z „Gwiezdných Wojen”, z pulsującym światłem. Według Samiya Parveza z firmy Andiamo<sup>26</sup>: „Można go [gorset – przypis H.D.] albo ukryć pod suknią, lub dumnie nosić na wierzchu ozdobiony kryształkami Swarovskiego”. Jest to całkowita zmiana nastawienia, najprawdopodobniej związana nie tylko ze zmianą gustów, ale również z gwałtownym spadkiem cen protez wydrukowanych w 3D.

Jedną z pierwszych i najbardziej znanych opowieści o wydrukowaniu w 3D taniej protezy jest historia 17-letniego wtedy chłopca, Eastona LaChappelle<sup>27</sup>. Dowiedział się



Rys. 2. Młody człowiek bez ręki z protezą wydrukowaną przez firmę Open Bionics

© H. Dodziuk

on, że rodzice siedmioletniej dziewczynki nie mogą sobie pozwolić na nową, kosztującą 80 tys. dolarów protezę ręki, aby zastąpić starą, z której dziewczynka wyrosła. Poruszony tą opowieścią Easton zaprojektował i wykonał, głównie za pomocą drukarki 3D, w pełni funkcjonalną protezę sterowaną przez fale mózgowe dziewczynki, odbierane przez wykonaną również przez Eastona opaskę na czoło. Proteza ta kosztowała mniej niż 500 dolarów, zaś 50 dolarów to najniższa cena wydrukowanej w 3D protezy, o której słyszałam. Takie niedrogie urządzenia poprawiły już życie wielu ofiar wojen oraz innych osób po amputacji albo ludzi, którzy urodzili się z wadami kończyn. Istnieją nawet darmowe projekty DIY (takie jak projekt Eastona LaChappelle<sup>28</sup>) oraz projekty opracowane przez innych ludzi, np. diy-bionic-hand<sup>29</sup>, a także specjalne fundusze, które zbierają pieniądze i produkują protezy dla ofiar min piechotnych w Azji i Afryce, i różne inne programy pomocowe z tego zakresu<sup>30</sup>. Należy jednak wspomnieć o tym, że takie bardzo tanie protezy były krytykowane jako niewygodne<sup>31</sup>.

3. Warto wspomnieć o próbach zastosowania 3DP do drukowania leków<sup>32</sup>.
4. Zupełnie nowa technologia, jaką jest **drukowanie w 3D z wykorzystaniem komórek** jako „atramentu”, dopiero się rozwija. Oczekuje się, że w przyszłości przyniesie ona ogromne korzyści. Drukowane w 3D fragmenty skóry będą pomagać w leczeniu poparzonych ofiar. Naukowcy z Wake Forest School of Medicine<sup>33</sup> skonstruowali specjalną drukarkę ze skanerem, który określa wielkość i głębokość rany i przekazuje te dane do drukarki. W odpowiedni sposób zaprogramowana drukarka 3D używa następnie odpowiednich typów komórek do pokrycia różnych miejsc rany. Inny program badawczy, prowadzony przez L’Oreal we współpracy z Organovo, ma na celu wytwarzanie sztucznej skóry do testowania kosmetyków<sup>34</sup>. Naukowcy hiszpańscy donieśli ostatnio (2017) o stworzeniu urządzenia drukującego

ludzką skórę<sup>35</sup>. Organovo projektuje i tworzy strukturalnie i funkcjonalnie dokładne, wydrukowane w 3D modele ludzkich tkanek do badania. Opracowane przez Organovo urządzenie Lab-on-chip exVive3DTM Human Liver Tissue<sup>36</sup>, które może wydrukować w 3D tkankę wątroby, zostało zatwierdzone przez amerykańską Agencję ds. Żywności i Leków (ang. *Food and Drug Administration*, FDA) do testowania leków. Oczywiście w perspektywie oczekuje się ogromnego wkładu druku 3D komórek w medycynie regeneracyjnej oraz ograniczenia ilości lub nawet wyeliminowania potrzeby narządów ludzkich do transplantacji. W tym celu drukuje się naczynia krwionośne, które chińscy uczeni wszczepili reżusowi<sup>37</sup>, i tkankę tarczycy<sup>38</sup>, którą wszczepiono myszy.

Nieco inny w sposobie działania jest BioPen, pozwalający chirurgom przyspieszyć regenerację kości lub chrząstki przez nanoszenie żywych komórek i czynników wzrostu bezpośrednio na ranę. Zasadniczą częścią „atramentu” jest w tym przypadku materiał komórkowy wewnątrz ekstraktu wodorostów (zawierający alginiany), zabezpieczony przez drugą, zewnętrzną warstwę materiału żelowego. Działanie takiej mieszaniny może być spotęgowane przez dodanie czynników wzrostu, leków lub innych substancji wspomagających wzrost i regenerację kości<sup>39</sup> i innych tkanek.

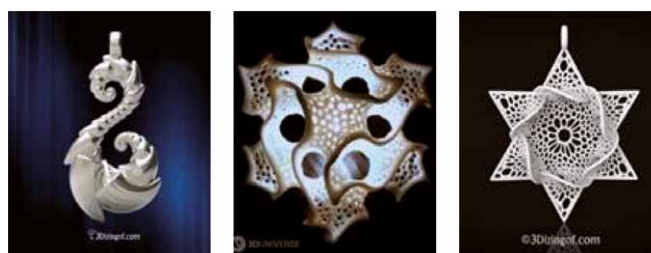
### Druk 3D a ekologia

Druk 3D jest z definicji ekologicznym sposobem produkcji, ponieważ (teoretycznie) przy wytwarzaniu tą metodą nie powstają żadne odpady<sup>40</sup>, w przeciwieństwie do tradycyjnych, subtraktywnych metod produkcji<sup>41</sup> (takich jak skrawanie), w których nadmiar materiału usuwa się sukcesywnie, dopóki nie uzyska się pożądanego kształtu. Ponadto istnieje wiele przykładów używania odpadów w tej metodzie wytwarzania, np. wykorzystanie elektrośmieci do zbudowania drukarki 3D<sup>42</sup> oraz śmieci jako materiału do drukowania<sup>43</sup>. Opracowano już filamenty wielokrotnego użytku, wykorzystywane m.in. w budownictwie (przoduje w tym chińska firma Win-Sun<sup>44</sup>, której doniesienia były kwestionowane<sup>45</sup>), a także w innych dziedzinach. Warto również wspomnieć o możliwości recyklingu zużytych wydrukowanych w 3D obiektów, zwłaszcza że niektóre filamenty składają się z biodegradowalnych plastików, np. polilaktyd (PLA).

Co więcej, zaproponowano drukowanie wielu ekologicznych (ang. *ecofriendly*) urządzeń, takich jak panele fotowoltaiczne, których pliki do wydrukowania w 3D można pobrać z platformy Thingiverse<sup>46</sup>, czy turbiny wiatrowe dla małych, oddalonych od świata społeczności<sup>47</sup>. Warto również wymienić specjalne programy stosujące drukowanie w 3D, aby przezwyciężyć zgubne skutki katastrof przyrodniczych, takie jak ożywienie raf koralowych<sup>48</sup>. Zalety 3DP związane z ekologią i edukacją wykorzystali uczniowie z Kentucky w programie ochrony nietoperzy<sup>49</sup>. Chcąc walczyć z gwałtownym spadkiem liczby tych zwierząt w ich stanie, zaprojektowali oni domki dla nietoperzy spełniające kryteria międzynarodowej grupy ekologów zajmujących się nietoperzami i udostępnili swój projekt na platformach



Rys. 3. Czekoladowe globusiki wydrukowane w 3D przez firmę TNO. Dzięki uprzejmości M. Rooversa i firmy TNO



Rys. 4. Kilka przykładów z kolekcji MathArt Dizingofa. Dzięki uprzejmości projektanta Dizingofa

Thingiverse<sup>50</sup> i GrabCad<sup>51</sup>. Wpływ na środowisko druku 3D dyskutowano m.in. w artykule na platformie 3D Printers – *Are They Environmentally Friendly?*<sup>52</sup>.

### Drukowanie w 3D i kreatywność

Można wymienić wiele przykładów innych zastosowań druku 3D z wartością dodaną. Kreatywność w rozwoju tego sposobu produkcji i znalezienie nowych, wręcz niewyobrażalnych jego zastosowań są prawdopodobnie najważniejszą z nich. Stosowanie druku 3D, aby wytworzyć niezbędne części zamienne<sup>53</sup> (zamiast trzymania w magazynach ich kompletu) zlikwidują konieczność ich magazynowania. Na razie trudno przewidzieć, jak filamenty (czyli atramenty do drukarek 3D) pachnące jak jabłka, jagody, winogrona lub truskawki<sup>54</sup> mogą być stosowane, ale z pewnością znajdą one nieszablone aplikacje. Nie jestem zwolenniczką hydroponicznego rolnictwa, ale takie systemy wydrukowane w 3D przeznaczone dla rolnictwa miejskiego są imponujące<sup>55</sup>. Dla miłośników słodczy dobrą wiadomością będzie fakt, że istnieje już wiele drukarek 3D, dzięki którym otrzymać można pyszne i piękne wyroby z cukru, czekolady lub kremów (rys. 3). Alternatywnie druk 3D może pomóc w konwersji nietypowych, lecz globalnie dostępnych składników, takich jak algi, liście buraków lub owady, w smaczne produkty, co pomoże przeciwdziałać niedoborowi żywności w przyszłości. Metoda 3DP jest bardzo inspirująca. Mogłyby one być zrobione inną metodą, ale szybkość prototypowania przeważała szalę.

Najbardziej oczywista jest kreatywność druku 3D w sztuce. Kopiowanie eksponatów muzealnych i innych obiektów to banał. Ale nowe fascynujące obiekty stworzone przez Dizingofa<sup>56</sup> (rys. 4) lub Widriga<sup>57</sup> wcale nie są banalne. To zadziwiające, jak inspirujący dla małych dzieci jest oparty na nakładaniu warstw



pisak 3 Doodler<sup>58</sup>. W sieci są liczne przykłady drukowanych w 3D instrumentów muzycznych. Niektóre z nich są piękne i/lub intrygujące<sup>59</sup>. Urugwajska grupa muzyczna No Te Va Gustar opublikowała wideo z wykorzystaniem wydrukowanych w 3D instrumentów<sup>60</sup>. Druk w 3D i wirtualna rzeczywistość były również wykorzystane w światowej trasie koncertowej Björk w 2016 roku<sup>61</sup>. Bardzo interesująca jest popowa piosenka szwedzkiego artysty Lekmana *Evening Prayer* na temat wydrukowanego w 3D modelu guza raka<sup>62</sup>, która podobno robi duże wrażenie.

## Przypisy

- 1 H. BENSOUSSAN, 5.01.2017, <https://www.sculpteo.com/blog/2017/01/05/metal-3d-printing-in-slm-dmls-our-new-offer-in-7-questions/>.
- 2 T. KELLNER, 13.11.2017, <https://www.ge.com/reports/epiphany-disruption-ge-additivechief-explains-3d-printing-will-upend-manufacturing/>.
- 3 M. HOLLWEG, 23.06.2015, *The Limits of 3D Printing*, <https://hbr.org/2015/06/the-limits-of-3d-printing>.
- 4 D. SIMMONS, 6.05.2015, <https://www.bbc.com/news/technology-32597809>.
- 5 T. KELLNER, 19.04.2016, <https://www.ge.com/reports/airbus-gets-1st-production-jet-engines-with-3d-printed-parts-from-cfm/>.
- 6 H. CROCHET, 25.11.2015, <https://www.sculpteo.com/blog/2015/11/25/3d-printing-takes-off-with-aeronautics-aerospace/>.
- 7 M. HOLLWEG, 23.06.2015, *The Limits of 3D Printing*, <https://hbr.org/2015/06/the-limits-of-3d-printing>.
- 8 S. NATHAN, 23.08.2011, <http://www.technologyreview.com/demo/425133/printing-parts/>.
- 9 <https://pl.wikipedia.org/wiki/Katenany>.
- 10 <https://www.youtube.com/watch?v=GFVU0poYK1Q>.
- 11 A. MO, 6.05.2016, <https://www.linkedin.com/pulse/how-rapid-prototyping-system-helpsmake-faster-software-alam-mo>.
- 12 M. MENSLEY, 17.05.2017, <https://all3dp.com/3d-printed-car/>.
- 13 T. WOHLERS, 8.06.2017, <https://3dprint.com/180540/dfam-at-materialise/>.
- 14 C. WYMAN, 18.11.2015, <http://blog.stratasys.com/2015/11/18/opel-3d-printing/>.
- 15 M. TRACZYK, <http://blog.zmorph3d.com/3d-printed-jigs-fixtures/>.
- 16 J. KERNS, 27.06.2017, <https://www.machinedesign.com/industrial-automation/new-york-citys-subway-metaphor-nations-infrastructure>.
- 17 J. HAUER, 16.01.2017, <https://3dprint.com/161809/portability-power-to-3d-printing/>.
- 18 L. GAGET, 14.06.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/06/14/4-ways-to-reduce-cost-of-production-and-prototyping-with-3d-printing/>.
- 19 Simon, 16.07.2015, <http://www.3ders.org/articles/20150716-colorado-doctors-begin-using-3d-printing-for-treating-unborn-babies-with-abnormalities.html>.
- 20 „J Surg Res”, 15.06.2014, nr 189(2), s. 193–197, doi: 10.1016/j.jss.2014.02.020, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24721602>.
- 21 <http://3dprint.com/tag/3d-printed-medical-implants/>.
- 22 CT-Bone®: Real Bone from the 3D Printer, <http://www.xilloc.com/ct-bone/>.
- 23 R. HUANG, X. GAO, J. WANG, H. CHEN, C. TONG, Y. TAN, Z. TAN, *Triple-Layer Vascular Grafts Fabricated by Combined E-Jet 3D Printing and Electrospinning*, „Ann Biomed Eng.”, 29.05.2018, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29845412>.
- 24 J.I. EFANOV, A.A. ROY, K.N. HUANG, D.E. BORSUK, *Virtual Surgical Planning: The Pearls and Pitfalls*, „Plast Reconstr Surg Glob Open”, styczeń 2018, nr 6(1), e1443, doi: 10.1097/GOX.0000000000001443.
- 25 <https://openbionics.com/>.
- 26 <https://andiamo.io/>.
- 27 <http://theroboarm.com/>; na YouTube można obejrzeć jego prezentację na konferencji TEDxMilesHigh, <https://www.youtube.com/watch?v=CfmNXPMjChs>.
- 28 T. TORRES, 13.02.2015, *Do-It-Yourself Robotic Arm: Easton LaChapelle Teaches You To Build Your Own Prosthetic*, <https://www.techtimes.com/articles/32785/20150213/diy-robotic-arm-easton-lachappelle-prosthetic.htm>.
- 29 S. PATRICK, *DIY Prosthetic-Hand-Forearm (Voice Controlled)*, <https://www.instructables.com/id/Voice-Controlled-Prosthetic-Hand-Forearm/>; A. Wheeler, 13.02.2015, low-cost-flexy-hand-3dprinted-prosthetic, <https://3dprintingindustry.com/news/low-cost-flexy-hand-3d-printed-prosthetic-41152/>.
- 30 dev1user, 21.03.2014, <http://helpinghandsprogram.com.au/category/helping-hands/>. Por. L. Clark, 8.01.2014, <http://www.wired.co.uk/news/archive/2014-01/08/impossible-not-printing-artificial-limbs>, Enabling The Future..
- 31 S.A. GOEHRKE, 11.01.2017, <https://3dprint.com/161328/handsmith-bionic-hands/>.
- 32 A. ROBINSON, 21.08.2015, <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2015/aug/21/welcome-to-complex-world-of-3d-printed-drugs-spritam-fda>; E. Borukhovich, 29.03.2016, [https://thenextweb.com/insider/2016/03/29/3d-printing-changes-pharmaceutical-world-forever/#.tnw\\_bzGlc7fn](https://thenextweb.com/insider/2016/03/29/3d-printing-changes-pharmaceutical-world-forever/#.tnw_bzGlc7fn).
- 33 <http://www.wakehealth.edu/WFIRM/>.
- 34 *L'Oreal to start 3D-printing skin*, 19.05.2015, <http://www.bbc.com/news/technology-32795169>.
- 35 E. MILLARD, 24.01.2017, <http://www.menshealth.com/health/3d-printer-human-skin>.
- 36 <http://www.organovo.com/tissues-services/exvive3d-human-tissue-models-services-research/exvive3d-liver-tissue-performance/>.
- 37 S. SAUNDERS, 12.12.2016, <https://3dprint.com/158499/revotek-3d-printed-blood-vessels/>.
- 38 C. SCOTT, 4.11.2015, <https://3dprint.com/103721/3dbioprintingsolutions-thyroid>.
- 39 E. PITT, 4.12.2013, <http://media.uow.edu.au/news/UOW162803.html>.
- 40 J. FALLUDI, 19.02.2013, <http://www.greenbiz.com/blog/2013/07/19/3d-printing-environmental-win>.
- 41 <http://www.approto.com/Media-Center/Additive-vs-Subtractive-Manufacturing-Which-is-Ri.aspx>.
- 42 mikellec, 4.11.2014, <http://www.instructables.com/id/eWaste-60-3DPrinter/>; S. Saunders, 13.01.2017, <https://3dprint.com/161693/australian-e-waste-3d-printers/>.
- 43 A.K. STREETER, 26.03.2015, <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/3-Dprinting-plus-way-instantly-recycle-plastic-waste-3-d-ink.html>; M. Molitch-Hou, 19.03.2014,

- <http://3dprintingindustry.com/2014/03/19/mobile-eco-3d-printing-station/>; D. Sher, 7.07.2015, <http://3dprintingindustry.com/2015/07/07/project-seafood-says-thanks-hdpe-3d-printing-seashore-plastic-waste/>.
- 44 N. DAVISON, 26.02.2015, <https://www.theguardian.com/cities/2015/feb/26/3d-printed-cities-future-housing-architecture>; J. Luimstra, 19.04.2014, <http://3dprinting.com/news/winsun-uses-waste-3d-print-houses-4800-dollars/>.
- 45 B. KRASSENSTEIN, 16.04.2015, <https://3dprint.com/57764/winsun-3d-print-fake/>.
- 46 <http://www.thingiverse.com/thing:53321>.
- 47 M. FROESE, 2.03.2015, <https://www.windpowerengineering.com/business-news-projects/3d-printed-wind-turbines-help-remote-communities-gain-sustainable-power/>, [https://www.thingiverse.com/tag:wind\\_turbine](https://www.thingiverse.com/tag:wind_turbine).
- 48 T. KOSŁOW, 26.10.2015, <http://3dprintingindustry.com/2015/10/26/3d-printing-used-to-revive-the-coral-reefs-ocean-eco-system-of-monaco/>.
- 49 S. SAUNDERS, 25.01.2017, <https://3dprint.com/162756/students-3d-printed-bat-house/>.
- 50 <https://www.thingiverse.com/>.
- 51 <https://grabcad.com/>.
- 52 *3D Printers – Are They Environmentally Friendly?*, 5.09.2012, <http://3dprinting.com/news/3d-printers-are-they-environmentally-friendly/>.
- 53 <http://kazzata.com/Home/RFP.aspx>.
- 54 T. KOSŁOW, 7.01.2016, <http://3dprintingindustry.com/2016/01/07/64390/>.
- 55 M. MOLITCH-HOU, 22.12.2015, <http://3dprintingindustry.com/2015/12/22/63850/>.
- 56 <https://www.3dizingof.com/>.
- 57 D. WIDRIG, <https://www.dezeen.com/tag/daniel-widrig/>.
- 58 C. SCOTT, 19.02.2108, <https://3dprint.com/165273/3doodler-turns-four-years-old/>.
- 59 C. SCOTT, 31.10.2018, <https://3dprint.com/tag/3d-printed-musical-instruments/>.
- 60 B.B. O'NEAL, 12.08.2016, <https://3dprint.com/145753/ntvg-3d-printed-music-video/>.
- 61 C. SCOTT, 30.06.2016, <https://3dprint.com/140552/bjork-digital-tour-3d-printing/>.
- 62 S. SAUNDERS, 7.02.2017, <https://3dprint.com/164143/3d-printed-tumor-model-pop-song/>.

Fragment pochodzi z książki:

*Druk 3D/AM. Zastosowanie oraz skutki społeczne i gospodarcze*,  
H. Dodziuk, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019