

# Druk 3D w budownictwie

Helena Dodziuk

Zastosowanie druku 3D w budownictwie wymagało opracowania nowych, większych drukarek<sup>1</sup>, nowych technologii<sup>2</sup> i nowych materiałów do drukowania cementu<sup>3</sup>, szkła<sup>4</sup>, papieru<sup>5</sup>, gliny<sup>6</sup>, ziemi<sup>7</sup> czy też „atramentu” wykorzystującego śmieci<sup>8</sup>. Na Politechnice w Zurychu badano wytwarzane przez robota, nazwanego In situ Fabricator, siatek wzmacniających beton (użycie których ma dawać w wyniku materiał analogiczny do betonu zbrojonego)<sup>9</sup>. Mówi się o wykorzystywaniu lokalnych materiałów do budowy: piasku na Saharze i pyłu regolitu na Księżycu<sup>10</sup>. W trakcie „budowania” miały powstawać nie tylko ściany i szyby do poprowadzenia rur kanalizacyjnych i przewodów elektrycznych, lecz również same rury i przewody (niestety nie wydaje się, żeby ten sposób mógł doczekać się szybkiej realizacji). W MIT opracowano nową technologię druku 3D, która ma umożliwić szybsze, bezpieczniejsze i bardziej elastycznie dopasowujące się do różnorodnych wymagań druku 3D<sup>11</sup>. Warto podkreślić, że zalety budowania z wykorzystaniem 3DP to krótszy o 50–70% czas budowy, niższe o 50–80% koszty<sup>12</sup> i dużo mniejsza liczba wypadków (w USA w 2011 roku w tradycyjnym budownictwie zginęło 6 tys. osób, a 400 tys. zostało rannych<sup>13</sup>).

Bardzo zasłużony dla rozwoju technologii druku 3D w budownictwie jest Behrokh Khoshnevis i jego firma Contour Crafting<sup>14</sup>. Po wielu latach pracy i otrzymaniu zastrzyku kapitału od inwestora Doka Ventures zapowiedział on wypuszczenie w 2018 roku drukarki, która pozwoli wydrukować dom w ciągu dwóch dni<sup>15</sup>. Behrokh Khoshnevis przygotowuje również seryjną produkcję pierwszych przenośnych drukarek-robotów budowlanych, które można będzie po skończeniu robót przemieszczać z jednego placu budowy na następny<sup>16</sup>. Holenderski Canal House (trzyletni program 2013–2016), czyli projekt domu na wodzie<sup>17</sup>, jest kontynuowany i przekształcono go w stałą wystawę w innej lokalizacji<sup>18</sup>.

Chyba najgłośniejsze w dziedzinie budowania wykorzystującego druk 3D były prace chińskiej firmy Winsun (Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co), która już w 2014 roku ogłosiła, że wydrukowała w ciągu jednego dnia dziesięć domów o powierzchni 200 m<sup>2</sup><sup>19</sup> (nie wiadomo, co prawda, ile czasu trwało suszenie zbudowanej konstrukcji), a następnie zbudowała dużą willę i czteropiętrowy budynek, wykorzystując wydrukowane w 3D elementy<sup>20</sup>. Wszystkie te osiągnięcia były zakwestionowane<sup>21</sup>, twierdzono, że wykonano te budynki w inny niż opisany sposób z naruszeniem praw do własności intelektualnej. Jednak później doniesiono o „miliardowym dealu” firmy Winsun z Arabią Saudyjską na leasing dużych budowlanych drukarek 3D w celu zbudowania nie mniej niż 30 mln m<sup>2</sup><sup>22</sup> i o umowie z 2017 roku notowanej na giełdzie amerykańskiej firmy AECOM (NYSE: ACM) podpisanej z firmą Winsun na dostarczanie chińskiej technologii budownictwa na całym świecie<sup>23</sup>. Innym osiągnięciem Chińczyków było

zbudowanie w ciągu trzech godzin z wydrukowanych wcześniej w 3D elementów domu, który miał być ogniotrwały i odporny na wstrząsy o sile nawet 9° w skali Richtera<sup>24</sup>.

Pierwszy biurowiec wydrukowany w 3D znajduje się w Dubaju<sup>25</sup>. W 2017 roku zaplanowano tam budowę tą metodą pierwszego wysokościowca<sup>26</sup>, natomiast w Zurychu wydrukowano w 3D z piasku mierzący 80 m<sup>2</sup> i ważący 15 ton sufit z płyt<sup>27</sup>. Ten składający się z 11 płyt sufit oddziela niższe piętro od dwupiętrowej konstrukcji drewnianej powyżej.

Bardzo niewiele wiadomo o drukowaniu w 3D w Rosji. Na początku 2017 roku pojawiła się informacja, że irkucka firma Apis Cor zbudowała robota, który wydrukował wokół siebie domek o powierzchni 37 m<sup>2</sup> w ciągu mniej niż 24 godzin<sup>28</sup>. Jest interesujące, że pojawiające się komercyjne firmy budowlane (CyBe RC 3Dp<sup>29</sup>, Cazza Construction<sup>30</sup>, Millebot<sup>31</sup> czy też wspomniana powyżej Apis Cor) stosują różne podejścia technologiczne, co wskazuje na potencjał rozwojowy tej dziedziny.

W czerwcu 2018 roku pierwsza rodzina francuska miała się wprowadzić do wydrukowanego w 3D pięciopokojowego domu<sup>32</sup>. Podobny projekt drukowania domów mieszkalnych jest realizowany w Holandii<sup>33</sup> i Dubaju, przy czym – według organizacji non profit New Story<sup>34</sup> – budowany w ciągu 24 godzin przez startup ICON<sup>35</sup> dom ma kosztować 10 tys. dolarów w USA i 4 tys. dolarów w krajach rozwijających się<sup>36</sup>.

Architektura to dziedzina na pograniczu inżynierii i sztuki<sup>37</sup>. Zalety zastosowania 3DP w architekturze podsumowano na stronie internetowej PLM Group<sup>38</sup>, podkreślając, jak ta metoda wytwarzania zwiększa kreatywność i przewagę konkurencyjną architektów poprzez szybkie tworzenie wydrukowanych w 3D modeli domów i całych osiedli<sup>39</sup>. 3DP pozwala:

- łatwo przekształcać trójwymiarowe szkice cyfrowe i modele CAD w modele przestrzenne, których właściwości można modelować<sup>40</sup>;
- wizualizować i przekazywać pomysły projektowe kolegom i klientom;
- badać różne złożone kształty i eksperymentować z nimi;
- ponownie wykorzystywać projekty i ich składowe;
- poświęcić więcej czasu na wymyślanie różnych koncepcji projektu;
- zająć się czymś innym, podczas gdy drukarka 3D wykonuje model, który jest bardziej poglądowy niż stosowane obecnie wizualizacje komputerowe.

Warto wspomnieć, że z druku 3D korzystają m.in. takie słynne pracownie architektoniczne, jak Foster + Partners, Skidmore, Owings & Merrill (SOM), Zaha Hadid Architects<sup>41</sup>, Rem Koolhaas, Rietveld Architects, a duńskiej firmie Henning Larsen Architects (HLA) 3DP pomogło wygrać międzynarodowy konkurs na salę koncertową i centrum kongresowe



Rys. 1. Typowy dla branży architektonicznej i deweloperskiej wydruk 3D

© Cube 3D



Rys. 2. Drukowanie w 3D fragmentów pawilonów na wystawie Design Miami 2016

© Flotsam and Jetsam

Harpa w Reykjavíku<sup>42</sup>. Nie tylko dla zastosowań 3DP/AM w budownictwie było ważne testowanie wydrukowanego w 3D potężnego haka dźwigu, który wykorzystano do podniesienia ważącego 80 ton ładunku<sup>43</sup>.

Kilka interesujących propozycji zastosowania 3DP w budownictwie:

1. Bardzo ciekawy budynek zrealizowano w MIT na podstawie projektu Neri Oxman. Jest to pawilon, w którym wydrukowany w 3D szkielet pokrywa warstwa jedwabiu „wyprzędzona” przez umieszczone w konstrukcji jedwabniki<sup>44</sup>.
2. Inny niebanalny przykład to projekt *open source*<sup>45</sup> domu częściowo wydrukowanego w 3D<sup>46</sup>.

Interesujący projekt The Maker Economy Starter Kit (czyli Zestaw Startowy do Oszczędnego Wytwarzania) prowadzi włoska firma WASP<sup>47</sup>, sprzedająca wszystko, czego mała społeczność może potrzebować do wybudowania niewielkiego budynku. WASP (*World's Advanced Saving Project*, czyli Zaawansowany Światowy Projekt Oszczędnościowy) kieruje się w swojej działalności wizją samowystarczalnego społeczeństwa, w którym ludzie sami zaspokajają swoje elementarne potrzeby.

Co więcej, nowy projekt ukraińskiego startupu PassivDom (rys. 1) może być zbudowany nie tylko na Ziemi, lecz również planuje się jego zaadaptowanie do budowy na Księżycu i Marsie<sup>48</sup>. Omawiając zastosowania 3DP w przestrzeni kosmicznej, wspomniano o zainteresowaniu NASA budownictwem na Księżycu<sup>49</sup> i o projekcie artysty Jorge Mañesa Rubio wydrukowania w 3D świątyni na Księżycu w ramach projektu Europejskiej Agencji Przestrzeni Kosmicznej (ang. *European Space Agency*, ESA)<sup>50</sup>.

Warto wspomnieć o pięknym projekcie na pograniczu budownictwa i sztuki, opracowanym przy wykorzystaniu zasad biomimetyki, leciutkim Trabeculae Pavilion<sup>51</sup>. Z okazji otrzymania nagrody World Records przez zespół muzyczny Flotsam and Jetsam<sup>52</sup> ustawiono przy wejściu na wystawę Design Miami 2016 pawilony wydrukowane w 3D z biodegradowalnego bambusa (rys. 2). Stosując 3DP, wznosi się już nie tylko budynki: w 2016 roku w Madrycie otworzono niewielki wydrukowany

most dla pieszych<sup>53</sup>. Ten niewielki most (mierzący 12 m długości i 2 m szerokości) wydrukowano z cementu, natomiast w Amsterdamie wydrukowany w 3D most ze stali przeznaczony jest dla dzielnic czerwonych latarni<sup>54</sup>.

Chociaż wydrukowanych w 3D budynków jest na razie jeszcze niewiele, to wiąże się z tą technologią duże nadzieje na tanie, ekologiczne<sup>55</sup>, łatwe w projektowaniu (a więc bardzo

reklama

reklama

wszechstronne) i szybko wykonywane budownictwo oraz zmniejszenie liczby wypadków przy takich pracach. Tą metodą będą budowane również luksusowe biurowce i inne konstrukcje, już podejmuje się takie próby<sup>56</sup>. W 3D wydrukowano już wielką koparkę<sup>57</sup> oraz megadrukarkę<sup>58</sup> wykorzystaną do budowy biurowca w Dubaju. Zaproponowano również małe wyspecjalizowane roboty do prac budowlanych noszące nazwę Minibuilders<sup>59</sup>. Rozwijane jest także specjalne oprogramowanie.

W Bartlett School of Architecture's RC4 w Londynie prowadzone są prace nad metodologią komputerowego designu dla drukowania w 3D w dużej skali za pomocą robotów przemysłowych, uwzględniając logistyczne, strukturalne i materiałowe ograniczenia<sup>60</sup>. Na TCT Asia 2018 zaprezentowano prototyp drona latającego Słoń (ang. *Flying Elephant*) z podwieszoną do niego drukarką 3D<sup>61</sup>, która ma być wykorzystana do pracy w trudno dostępnych miejscach. Do drukowania używa mieszanki betonu.

Wydaje się, że zastosowanie druku 3D w budownictwie w 2018 roku osiągnęło masę krytyczną i w najbliższych latach należy oczekiwać w tej dziedzinie silnego przyspieszenia. Bardzo ciekawe projekty z tej dziedziny, m.in. pokazane podczas Mediolańskiego Tygodnia Designu 2018 (Milan Design Week), omówiła Lilly Hammer<sup>62</sup>.

### Przypisy

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Construction\\_3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/Construction_3D_printing); S. SAUNDERS, 16.12.2016, <https://3dprint.com/158972/cybe-mobile-3d-concrete-printer/>; Kira, 10.02.2016, <http://www.3ders.org/articles/20160210-the-20-biggest-3d-printers-in-2016.html>.
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Construction\\_3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/Construction_3D_printing).
- [3] C. SCOTT, 7.02.2017, <https://3dprint.com/164245/concrete-3d-printed-firewall/>.
- [4] 21.08.2015, <https://you.tube/7pRAzeNdVN8>.
- [5] E. KRASSENSTEIN, 26.06.2015, <https://3dprint.com/76838/3d-printed-cellulose-houses/>.
- [6] M. MOLITCH-HOU, 2.10.2014, <http://3dprintingindustry.com/2014/10/02/progressive-innovations-earthbag-3d-printing-eco-friendly-construction/>.
- [7] C. SCOTT, 3.04.2017, <https://3dprint.com/169892/iaac-tecnalia-robotic-construction/>.
- [8] B. SEVENSON, 18.01.2015, <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>.
- [9] C. CLARKE, 21.02.2017, [https://3dprintingindustry.com/news/aaas-exploring-full-scale-digital-fabrication-methods-3d-printing-modernize-construction-106309/?utm\\_medium=push&utm\\_source=onesignal&utm\\_campaign=website%20button](https://3dprintingindustry.com/news/aaas-exploring-full-scale-digital-fabrication-methods-3d-printing-modernize-construction-106309/?utm_medium=push&utm_source=onesignal&utm_campaign=website%20button).
- [10] C. CLARKE, 1.12.2016, <https://3dprintingindustry.com/news/robotic-construction-exploring-limits-3d-printing-enricodini-99977/>.
- [11] D.L. CHANDLER, 26.04.2017, <http://news.mit.edu/2017/3-d-printing-buildings-0426>.
- [12] KW, 31.05.2016, <https://www.forbes.pl/life/wydarzenia/biuro-wydrukowane-drukarka-3d/jk9elx7>.
- [13] J. LINK, 4.11.2015, <https://redshift.autodesk.com/3d-printing-concrete/>.
- [14] Ibidem.
- [15] M. PETCH, 15.06.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/new-house-2-days-contourcrafting-begins-manufacture-3d-printer-construction-116124/>.
- [16] Tess, 16.06.2017, <http://www.3ders.org/articles/20170616-contour-crafting-begins-series-production-of-deployable-construction-3d-printers.html>.
- [17] <http://3dprintcanalhouse.com/about-the-3d-print-canal-house>.
- [18] <http://3dprintcanalhouse.com/news-1>.
- [19] 3Ders, 1.04.2014, <http://www.3ders.org/articles/20140401-10-completely-3d-printed-houses-appears-in-shanghai-built-in-a-day.html>.
- [20] A. WHEELER, 19.01.2015, <http://3dprintingindustry.com/2015/01/19/winsun-3d-printing-building/>.
- [21] B. KRASSENSTEIN, 16.04.2015, <https://3dprint.com/57764/winsun-3d-print-fake/>.
- [22] C. CLARKE, 21.03.2017, [https://3dprintingindustry.com/news/winsun-lease-concrete-3d-printers-saudi-arabia-billion-dollar-constuction-deal-108715/?utm\\_medium=push&utm\\_source=onesignal&utm\\_campaign=website%20button](https://3dprintingindustry.com/news/winsun-lease-concrete-3d-printers-saudi-arabia-billion-dollar-constuction-deal-108715/?utm_medium=push&utm_source=onesignal&utm_campaign=website%20button).
- [23] Ibidem.
- [24] L. WANG, 25.07.2015, <http://inhabitat.com/chinese-company-builds-3d-printed-villa-in-less-than-3-hours/>.
- [25] H.R. MENDOZA, 14.06.2016, <https://3dprint.com/138336/syska-hennessy-dubai-office/>.
- [26] Ibidem.
- [27] C. SCOTT, 30.07.2018, <https://3dprint.com/220965/sand-3d-printing-smart-slab/>.
- [28] Benedict, 13.02.2017, <https://www.3ders.org/articles/20170213-3d-printing-constructioncompany-apis-cor-prints-37-m2-house-near-moscow-plans-global-expansion.html>.
- [29] Benedict, 16.12.2016, <https://www.3ders.org/articles/201612-16-meet-the-cybe-rc-3dp-a-concrete-3d-printer-that-moves-around-on-caterpillar-tracks.html>.
- [30] Benedict, 27.12.2016, <http://www.3ders.org/articles/20161227-concrete-3d-printing-startup-cazza-construction-to-create-3d-printed-buildings-in-dubai.html>.
- [31] Benedict, 6.01.2017, <http://www.3ders.org/articles/20170106-millebot-creates-hugeconcrete-3d-printer-housed-in-40-foot-shipping-container.html>.
- [32] C. DRURY, 11.04.2018, <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/3d-printed-home-world-first-france-a8298446.html>.
- [33] D. BOFFEY, 6.06.2018, <https://www.theguardian.com/artanddesign/2018/jun/06/netherlands-to-build-worlds-first-habitable-3d-printed-houses>.
- [34] <https://newstorycharity.org/>.
- [35] <https://www.iconbuild.com/home>.
- [36] V.B. RAMIREZ, 18.03.2018, <https://singularityhub.com/2018/03/18/this-3d-printed-house-goes-up-in-a-day-for-under-10000/>.
- [37] <http://www.stratasys.com/industries/architecture>.
- [38] <https://plmgroup.eu/3d-printing-benefits-for-architects/>.

- [39] <http://3d-up.pl/drukowanie-3d/makiety-architektoniczne/>; <http://rapidcrafting.com/>.
- [40] M. MOLITCH-HOU, 31.05.2018, <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/17038/Additive-Construction-From-the-3D-Printed-House-to-the-3D-Printed-High-Rise.aspx>.
- [41] S. SAYED, 21.05.2017, <http://www.archdaily.com/871659/zaha-hadid-architects-unveils-new-experimental-structure-using-3d-printing-technology>.
- [42] <https://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/3d-printing-helps-world-class-danish-architects-win-business-and>.
- [43] B. JACKSON, 17.01.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/huismans-3d-printed-waam-hook-lifts-80000-kg-load-127564/>.
- [44] D. HOWARD, 3.06.2013, <https://www.dezeen.com/2013/06/03/silkworms-and-robot-work-together-to-weave-silk-pavilion/>.
- [45] <https://evolpe.pl/open-source/>.
- [46] S. TAYLOR, 19.09.2014, <http://3dprintingindustry.com/2014/09/19/wikihouse-4-0-display-london-design-show/>.
- [47] <http://www.wasproject.it/w/en/3d-printers-projects/maker-economy-starter-kit/>.
- [48] C. SCOTT, 7.04.2017, <https://3dprint.com/170515/passivdom-3d-printed-house/>.
- [49] S. SAUNDERS, 15.12.2016, <https://3dprint.com/158826/3d-printed-concrete-bridge-madrid/>.
- [50] C. CLARKE, 27.01.2017, <https://3dprint.com/163092/3d-printed-moon-dome/>.
- [51] S. SAUNDERS, 6.03.2017, <https://3dprint.com/167044/3d-printed-trabeculae-pavilion/>.
- [52] H. SHAHIN, <https://www.arch2o.com/flotsam-jetsam-will-celebrate-winning-world-records-largest-3d-printed-structure-years-design-miami/>.
- [53] P. WESTON, 2.02.2017, <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4184104/World-s-3D-printed-pedestrian-bridge-Madrid.html>.
- [54] M. PETROVA, 7.04.2018, <https://www.cnn.com/2018/04/07/mx3d-made-a-3d-printed-steel-bridge-in-midair.html>.
- [55] M. MOLITCH-HOU, 2.10.2014, <http://3dprintingindustry.com/2014/10/02/progressive-innovations-earthbag-3d-printing-eco-friendly-construction/>; C. Scott, 2.04.2017, <https://3dprint.com/169892/iaac-tecnalia-robotic-construction/>.
- [56] D. SHER, 14.06.2014, <http://3dprintingindustry.com/2015/06/14/mx3d-wants-buy-3d-printed-bridge-amsterdam/>.
- [57] S. SAUNDERS, 8.03.2017, <https://3dprint.com/167232/3d-printed-excavator-unveiled/>.
- [58] H.R. MENDOZA, 14.06.2016, <https://3dprint.com/138336/syska-hennessy-dubai-office/>.
- [59] B. KRASSENSTEIN, 17.06.2014, <https://3dprint.com/6340/minibuilders-3d-print-robots/>.
- [60] M. JIMENEZ, G. RETSIN, 27.10.2017, <http://www.creativeapplications.net/environment/gad-rc4-computational-design-methodologies-for-large-scale-3d-printing/>.
- [61] DediBot Showcase Flying 3D Printer at TCT Asia, 1.03.2018, <https://www.tctmagazine.com/tct-events/tct-asia/dedibot-showcase-flying-3d-printer-at-tct-asia-2018/>.
- [62] L. HAMMER, 14.06.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-construction-architecture-built-environment-134530/>.

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