

Perspektywy rozwoju druku 3D

Helena Dodziuk

Eksperci zapytani w 2013 roku o perspektywy rozwoju druku 3D wskazali na trudności przewidywać¹:

Kto mógłby dziesięć lat temu przewidzieć, że drukarki 3D będą dostępne dla zwykłych użytkowników, bo będą kosztować mniej niż tysiąc dolarów? Lub to, że NASA, GE i wiele innych firm i agencji będzie korzystała z tej technologii do testowania i tworzenia silników rakietowych, elementów samolotów i części, których dotychczas nie można było produkować metodami konwencjonalnymi?

Dodali oni, że w perspektywie 50 lat zostaną wprowadzone biodruk, drukowane w 3D jedzenie i klastry urządzeń wykorzystujących AM do produkcji. To wszystko – może na razie w dość ograniczonym zakresie – mamy już dzisiaj do dyspozycji, tj. w pięć lat później, zaś najwybitniejszy analityk rynku druku 3D T. Wohlers powiedział: „Szczepnie mówiąc, nie sądzę, byśmy wiedzieli. Przecież nikt nie mógł przewidzieć, że będziemy mogli oglądać całe [ang. *full length* – przypis H.D.] wideo na naszych telefonach. Najwspanialsze [w druku 3D – przypis H.D.] jest to, że nie możemy nic przewidzieć”.

Andreas Saar, wiceprezydent Manufacturing Engineering Solutions prowadzonego w firmie Siemens programu zarządzania cyklem życia produktu (ang. *Product Lifecycle Management*, PLM)², swój wykład na konferencji Materialise World Summit 2017³ zatytułował: *Additive Manufacturing Reshapes Everything. Reimagine Products. Retool Manufacturing. Rethink How You Do Business*⁴. Można to przetłumaczyć w następujący sposób: „Druk 3D zmienia wszystko. Należy na nowo wymyślić produkty, zmienić narzędzia wytwarzania i przededefiniować sposób prowadzenia biznesu”. Według A. Saara 3DP/AM jest obecnie w przemyśle głównym czynnikiem zmieniającym reguły gry, jest najważniejszym wyzwaniem, ale i wielką szansą, aby przemysłu całą organizację biznesu, wprowadzając innowacje, zmiany narzędzi produkcji (ang. *retooling*) oraz procesów produkcyjnych.

Wohlers Associates opublikował na swojej stronie ważne linki do artykułów i innych materiałów na temat druku 3D/AM⁵. Obejmują one zarówno informacje własne firmy, jak również artykuły w uznanych gazetach i czasopiśmie („Forbes”, „Fortune”, „The Wall Street Journal” itp.) oraz na stronach internetowych.

Na istotny aspekt całościowego traktowania 3DP/AM zwrócił uwagę Christopher Spadaccini z firmy LLNL, omawiając nowe materiały na konferencji w Nottingham⁶. Podkreślił on, że sprawy opracowania materiałów nowych generacji do drukowania nie można rozpatrywać w izolacji od modelowania i designu, syntezy, procesów drukowania, a także badania jakości i certyfikacji, ponieważ wszystkie te procesy są współzależne.

W latach 2008–2013 druk 3D kwitł, ponieważ skończył się okres ważności istotnych patentów. Następnie w latach 2014–2016 pojawiły się turbulencje (dziwną, sprzeczną opinię wyraził dr Bryony Core na portalu IDTechEx, mówiąc o wykładniczym wzroście w latach 2013–2016⁷). Po burzliwym wzroście, któremu towarzyszyła wiara, że wszystko jest proste i możliwe, dochody wielu firm malały, a nawet pojawiły się straty, malała wycena giełdowa spółek, a niektóre z nich bankrutowały, zaś prezesi firm, nawet tych największych, byli wymieniani na nowych⁸. Oznaczało to, jak podano w Raportcie Wohlers Associates za 2017 rok, że całkowite zyski przemysłu AM wzrosły w 2016 roku o 17,4%, podczas gdy były one równe 25,9% rok wcześniej. Jest to głównie związane ze spadkiem, który odnotowały dwie największe firmy z tej branży, Stratasys i 3D Systems. Gdyby te firmy wyłączyć z analizy, to całkowity wzrost niewiele różniłby się od poprzednich lat i wynosiłby 24,9%.

Jednak w pozostałym segmencie rynku 3DP/AM zaszły ogromne zmiany. Chwilowe załamanie na tym rynku nie wpłynęło na ocenę jego perspektyw. Na przykład analityk Todd A. Grimm mówi o utracie iluzji na rzecz bardziej realistycznej oceny możliwości⁹. Wszyscy podkreślają wspaniałe perspektywy rozwoju druku 3D. Analitycy firmy Markets & Markets przewidywali w 2018 roku, że rynek przemysłowego druku 3D osiągnie w 2023 roku wartość 5,66 mld dolarów¹⁰, a rynek militarny w 2025 roku ma być wart 4594,4 mld dolarów¹¹. Z kolei cały rynek druku 3D powinien w 2023 roku osiągnąć wartość 32,78 mld dolarów ze skumulowanym rocznym wskaźnikiem wzrostu CAGR pomiędzy 2017 a 2023 rokiem równym 25,76%¹². Do czynników stymulujących tak szybki wzrost należą: łatwość rozwijania produktów dopasowanych do klienta, czyli personalizacja (ang. *customized product*), umiejętność obniżenia całkowitych kosztów wytwarzania, inwestycje państwowe w projekty z tej dziedziny, obejmujące jej rozwój i wdrażanie. W raporcie wymieniono 25 najważniejszych firm z tej dziedziny, w tym dziewięć amerykańskich, pięć niemieckich, po dwie szwedzkie, brytyjskie i holenderskie, a po jednej z Belgii, Francji, Irlandii, Chin, Tajwanu i Izraela. Pierwsze dwa miejsca zajmują giganty Stratasys i 3D Systems Corporation, potem są wymienione niemiecka EOS GmbH i belgijskie materialise, które we wrześniu 2017 roku otworzyły swoją fabrykę we Wrocławiu. Szczegółne miejsce zajmuje Izrael, ponieważ obok największej w branży druku 3D korporacji Stratasys, która ma dwie siedziby (w USA i Izraelu), jako jedną z najważniejszych w tym spisie wymieniono również firmę Nano Dimension, która specjalizuje się w drukowaniu obwodów elektronicznych i zaczęła prace nad biodrukiem¹³.

Dzięki dostępności zaawansowanych technologii druku 3D, przystępnym kosztom oraz coraz lepszym parametrom

technicznym drukarki biurkowe są obecnie używane przez hobbystów i fachowców do opracowywania części funkcjonalnych, zwłaszcza produktów konsumenckich. Oczekuje się, że ten rynek będzie rósł jeszcze szybciej niż cała dziedzina 3DP, przy czym głównymi motorami jego wzrostu będą innowacje, personalizacja, obniżka kosztów drukarek biurkowych i materiałów oraz nowe materiały. Raport Markets & Markets przewiduje, że przemysły lotniczy, kosmiczny i obronny będą najszybciej rozwijającymi się rynkami wertykalnymi (tzw. pionowymi, czyli sektorowymi lub branżowymi), a USA będą nadal miały największy udział w rynku.

Jeśli chodzi o materiały stosowane do druku w 3D, to największy udział w rynku w 2016 roku miały plastyki i metale, ale raport przewiduje, że udział innych materiałów będzie rósł w najszybszym tempie stymulowany przez zwiększający się popyt na biomateriały używane w pionowym rynku zastosowań medycznych, proszki metaliczne oraz na niektóre wyspecjalizowane materiały (takie jak zawierający drewno materiał kompozytowy laywood¹⁴, wosk czy też papier). Wchodzenie 3DP na nowe rynki pionowe, takie jak elektronika, rynek biomedyczny i farmaceutyczny oraz budownictwo, spowoduje wzrost popytu na materiały używane w tych branżach. Problemy związane z rozwojem i przebudową rynku, napotykaną przy wprowadzaniu druku 3D, już w 2014 roku przedstawił Freddie Dawson, co zostało omówione w rozdz. 5¹⁵.

Oczywiście perspektywy rozwoju technologii AM i/lub 3DP zależą w pewnym stopniu od dziedziny. Jedyną branżą całkowicie opanowaną przez druk 3D jest produkcja aparatów słuchowych. Przemysł dentystyczny wydaje się kolejnym rynkiem, który zostanie przejęty przez tę technologię. W 2015 roku firma SmartTech szacowała, że udział technologii 3DP w rynku dentystycznym będzie wart 3,1 mld dolarów w 2020 roku¹⁶. Z kolei najciekawsze zastosowania 3DP/AM w medycynie dotyczą bioproduktów, czyli drukowania komórkami. Wydaje się, że jest jeszcze daleko do drukowania całych organów do implantacji, ale z punktu widzenia zastosowań medycznych bardzo interesujące jest drukowanie fragmentów organu, np. wątroby, do wszczepienia pacjentom oczekującym na transplantację. Taki fragment o rozmiarach monety dolarowej przyjął się już u myszy z chorą wątrobą i oczekuje się zastosowania tej metody w 2020 roku również u ludzi¹⁷.

W opublikowanym w kwietniu 2016 roku raporcie firmy EY (dawna nazwa Ernst & Young)¹⁸, opracowanym na podstawie badania 900 firm z 12 krajów stosujących 3DP (niestety bez Europy Środkowo-Wschodniej, w tym Polski), oczekuje się, że udział wydrukowanych w 3D produktów będzie wynosił w 2021 roku w Chinach i Korei Południowej 55,9%, w USA – 36,5%, a w Zachodniej Europie – 35,2%. W Europie największy udział mają mieć Wielka Brytania – 35,0% i Niemcy – 26,0%. Warto podkreślić, że w 2016 roku wszystkie te kraje miały około pięcioprocentowy udział druku 3D w produkcji. Badanie to, które przeprowadzono na przełomie 2015 i 2016 roku, wykazało, że tylko 24% firm uważa 3DP za strategicznie ważne przedsięwzięcie. Również 24% ma już doświadczenie w 3DP, a 12% rozważa stosowanie go. Jest interesujące, że tylko niecałe 3% całkowitych dochodów badanych firm pochodziło ze sprzedaży produktów wytworzonych dzięki 3DP, procent ten był największy w USA

(około 7%) i wynosił prawie 6% w Chinach i Korei Południowej.

Wydaje się, że najbardziej długofalową, a jednocześnie dość skonkretyzowaną wizję rozwoju 3DP w zastosowaniach wykorzystujących proszki metaliczne, czyli AM, do produkcji przemysłowych części funkcjonalnych przedstawił prezes rosyjskiej firmy Anisoprint¹⁹, Fedor Antonov²⁰. Uważa on, że w druku 3D działają dwie właściwie rozdzielne społeczności: konsumencka i przemysłowa. W tej drugiej używa się, jak i w tej książce terminu 'wytwarzanie addytywne', AM. Nie negując znaczenia AM jako technologii stosowanej w prototypowaniu, wytwarzaniu modeli i narzędzi, F. Antonov, podobnie jak Andreas Saar z Siemens²¹, twierdzi, że należy zmienić myślenie o metodzie przemysłowego wytwarzania AM i odejść od przyrównywania tej metody jedynie do druku z proszków metalicznych. Technologia druku 3D wyrosła dzięki polimerom, które według Raportu EY za 2016 rok²² stanowią ponad połowę rynku materiałów stosowanych w AM.

Obecnie coraz większą rolę odgrywa drukowanie z wykorzystaniem proszków metalicznych, wykorzystując wiele specjalistycznych technologii wymagających ściśle określonej wielkości wysokiej jakości granulek (wytwarzanych m.in. w urządzeniu polskiej firmy 3D Lab, atomizerze ATO ONE). Do niedawna drukarki do metalu były na ogół bardzo duże i drogie (mogły kosztować nawet kilka milionów dolarów) i wymagały dodatkowego wyposażenia. Ocenia się, że takich urządzeń potrzeba rocznie mniej niż tysiąc i rynek ten rośnie bardzo powoli²³, ale ich wpływ na rynek 3DP/AM jest ogromny. Cena drukarek 3D na metal spada. Niewątpliwie rewolucję na tym rynku wprowadza amerykańska firma iro3D, która w listopadzie 2018 roku zaczęła dostawy drukarki 3D na metal za 5 tys. dolarów²⁴.

Obecnie zainteresowanie większości ekspertów dotyczące technologii AM jest prawie całkowicie zogniskowane na druku w metalu, przemysł nie rozważa żadnych (może z wyjątkiem ceramiki) alternatyw dla zastosowań metali w AM w sytuacji, gdy rośnie złożoność układów i ich koszty. W tej sytuacji F. Antonov uważa, że należy rozważyć alternatywę dla druku w metalu, jaką są kompozyty polimerowe. Sądzi on, że takie kompozyty mogą odegrać ważną rolę w naśladowaniu (mimikrze) nie tylko kształtów, lecz również struktury wewnętrznej różnych materiałów. Są one już dzisiaj często stosowane w przemysłach motoryzacyjnym, lotniczym i kosmicznym.

Materiały kompozytowe charakteryzują się obecnością dwóch faz: matrycy i czynnika wzmacniającego, przy czym ten pierwszy zapewnia współdziałanie elementów wzmacniających. Włókna węglowe, szkło lub materiały organiczne używane są jako elementy wzmacniające w kompozytach strukturalnych, zapewniając dużo wyższą specyficzną wytrzymałość i sztywność lepszą niż jakiegokolwiek metal. Matrycami są najczęściej polimery, chociaż jest wiele znanych materiałów kompozytowych na bazie metali, ceramiki i innych materiałów. Główną cechą takich kompozytów włóknistych jest anizotropia, czyli zależność ich właściwości od kierunku. Tradycyjnie uważane jest to za wadę ograniczającą ich przemysłowe zastosowania.

Co więcej, wykorzystanie tych materiałów w tradycyjny sposób, gdy przycina się je i łączy za pomocą nitów i śrub, niszczy integralność ich wzmacniających włókien, wprowadzając dodatkowe lokalne naprężenia. Możemy tu wiele się nauczyć

od przyrody. Włókna drzewa nie łamią się tam, gdzie wyraża gałąź. Naprężenia pojawiające się w nich w reakcji na siły zewnętrzne mają charakter tensorowy, a więc rozkład naprężeń jest trójwymiarowy. Reakcja materiału w każdym punkcie nie jest jednorodna, a więc i materiał musi być niejednorodny, by optymalnie reagować na naprężenia. Najprostszym przykładem tego zjawiska jest pręt z włóknami ułożonymi podłużnie, który reaguje na naprężenie działające wzdłuż jego osi. Z takich elementów zbudowane są struktury kratowe (ang. *lattice structures*)²⁵ wykorzystywane w produkcji kompozytowych struktur rakiet i satelitów²⁶.

Zatem całościowe podejście do wytwarzania metodą AM zakłada rzeczywiste działanie w 3D nie tylko dotyczące kształtu, lecz również struktury wewnętrznej wytwarzanych elementów. Umożliwiłyby ono wbudowywanie sensorów i przetworników (ang. *transducer*) oraz innych elementów elektronicznych w trakcie procesu wytwarzania, co pozwoliłoby także na wytwarzanie inteligentnych i samonaprawiających się (ang. *self-healing*) materiałów w trakcie drukowania, jak również na dostarczanie substancji naprawczych (ang. *healing agents*) przez specjalne kanały wytworzone w materiale.

Trzeba byłoby wtedy zasadniczo zmienić podejście: nie mogłoby to już być nakładanie kolejnych warstw, co wymaga wielu zmian technologicznych, m.in. umieszczenia drukujących głowic zawierających dysze ekstrudera na specjalnym manipulatorze mogącym się obracać wokół wielu osi. (W tym aspekcie interesujący jest prototyp pięcioosiowej drukarki polskiej firmy Verashape pokazany na Targach formnext 2017²⁷). Zwiększenie produktywności mogłoby wymagać produkcji rozproszonej, o której mowa była uprzednio.

F. Antonov uważa, że metoda Power Bed Fusion druku w metalu nie ma przyszłości, podobnie jak liczne inne wymyślane obecnie metody druku w metalu. Pojawią się inne, bardziej elastyczne metody wytwarzania z kompozytów. Według niego prawdziwą przyszłością addytywnych technologii są materiały kompozytowe o kontrolowanej anizotropii, kształcie i strukturze wewnętrznej, w designie których wykorzystywane będą optymalizacja, wielofunkcjonalność i adaptujące się struktury. Na zakończenie F. Antonov twierdzi, że nowe w dziedzinie AM osoby nie powinny włączać się w dotychczasowe metody produkcji AM, w których kosztem ogromnych inwestycji parę firm osiągnęło pewien sukces. Należy rozwijać technologie addytywne na innym poziomie, wykorzystując materiały kompozytowe.

Wydaje się, że istotną rolę w rozwoju 3DP/AM może odegrać wspomniane przez F. Antonova i omówione na blogu sculpteo naśladowanie przyrody, czyli biomimetyka²⁸. Wykorzystano ją przy wydrukowaniu w 3D protezy jajników myszy. Daje to nadzieję, że w przyszłości uda się wydrukować w 3D takie bioprotezy dla przyszłych pacjentek, którym ze względu na nowotwory usunięto jajniki. Innym projektem wykorzystującym biomimetykę było opracowanie atramentu-pianki (ang. *foam ink*), zainspirowanego trawą, która ugina się pod naciskiem, ale wraca do stanu poprzedniego, gdy nacisk znika. Atrament ten może być zbudowany zarówno z ceramiki, jak i metali oraz polimerów. Może on służyć jako rusztowanie dla tkanek, izolacja cieplna albo bardzo lekki materiał konstrukcyjny.

Z kolei struktury sieciowe w skrzydłach owadów lub liściach posłużyły firmie Footprint Footwear za wzór do wydrukowanych w 3D fragmentów, m.in. wkładek do butów²⁹, a krewetka, ustonóg (ang. *mantis shrimp*), wyposażona w rodzaj pięści-maczug, która zabija ofiary, nie czyniąc szkody samej krewetce, pozwoliła na opracowanie superwytrzymałego materiału³⁰. Ta broń zbudowana jest z dotychczas niespotykanej w naturze struktury jodełkowej (ang. *herringbone*) charakterystycznej dla ułożenia rybich łusek. Naśladowanie tej budowy można będzie wykorzystać w drukowanej w 3D zbroi³¹, zaś struktury naśladowujące grafen posłużyły za wzór materiałów o budowie gąbki³², które mogą być wykorzystane w 3DP/AM. Szkło, celuloza czy też chityna również mogłyby posłużyć za wzorce materiałów do drukowania w 3D.

Druk 3D zmienia reguły gry na rynku. Pozwala on na szybsze innowacje, niewyobrażalnie szybsze w porównaniu z tempem wprowadzania zmian, gdy korzysta się z tradycyjnych metod wytwarzania: dwuletni czas wprowadzania produktu od pomysłu na rynek można zredukować tą metodą do dwóch miesięcy dzięki wykorzystaniu personalizacji, optymalizacji produktu, wydajności wytwarzania oraz nowym modelom prowadzenia biznesu. Niektóre związane z drukiem 3D/AM ograniczenia, które należy pokonać, polegają na niepowiązanym oprogramowaniu różnych firm, konieczności wielokrotnego konwertowania plików czy też standardowym myśleniu. Podobnie jak wiele innych firm, Siemens i materialise współpracują, dążąc do zintegrowania oprogramowania³³. Ważną rolę odgrywa rozwijanie narzędzi programowych w chmurze (ang. *Cloud*) przez bezpłatne udostępnienie użytkownikom dość zaawansowanych oprogramowań, np. przez Dassault Systèmes³⁴ oraz inne firmy. Istotną rolę odgrywa również upraszczanie designu dla druku 3D³⁵ i opracowywanie nowego podejścia do designu dla AM, DfAM.

W rozdz. 11A wspomniano o integracji oprogramowania powiązanej z przemianami modeli biznesowych. Powinna ona łączyć modelowanie i testowanie produktów przed ich wytwarzaniem z procesem produkcyjnym oraz analizą działania wydrukowanych w 3D części w czasie, uwzględniając ich zużycie (zwane wirtualnym testowaniem)³⁶. Taka integracja, zwana po angielsku *end-to-end solutions*, będzie uwzględniała wszystkie parametry inżynierskie (jak te dotyczące właściwości materiałów, specyfikacje działania wytwarzanych części, projektowanie generatywne (ang. *generative design*)³⁷, wielorobotyczną, czyli wykonywaną przez kilka współpracujących robotów produkcję i certyfikację), optymalizację procesu drukowania w 3D. Przyniesie ona ogromne zyski, przyspieszając nową falę transformacji przemysłowej. W projektowaniu dla druku 3D i nie tylko istotną rolę będą odgrywać tzw. zautomatyzowani asystenci designu (ang. *automated design assistants*).

Na inne aspekty ważne dla przyszłości 3DP zwrócił uwagę Jos Burger z firmy Ultimaker³⁸, stwierdzając, że przekraczane są kolejne granice. Jeszcze do niedawna w 3DP wykonywano głównie prototypy i modele. Obecnie ważną rolę odgrywa wytwarzanie narzędzi, a nawet produkuje się niestandardowe wyroby. Firmy i inne instytucje zaczynają zdawać sobie sprawę, jak bardzo 3DP może zmienić ich biznesy. Biurkowe drukarki 3D są teraz nie tylko dużo tańsze, ale jakością dorównują drukarkom

przemysłowym. Nie tylko pozwoli to na „rozkrczenie interesu” początkującym w biznesie startupom, lecz również zmieni przemysł druku 3D oraz łańcuchy dostaw. (Należy jednak zwrócić uwagę na związane z rozwojem technologii ograniczenia możliwości rozwoju startupów chcących wprowadzić na rynek nowe drukarki 3D/AM³⁹).

Początkowo ulepszenia związane z wprowadzaniem 3DP/AM w firmach będą nieznaczne, ale doprowadzą one do dużych zmian w szybkości dostarczania produktów na rynek, wzrostu zadowolenia klientów oraz jakości designu i wydajności kosztowej (ang. *cost efficiency*) dzięki dostępnym drukarkom wykorzystującym technologię FDM/FFF. W rezultacie przy wykorzystaniu różnych materiałów i dzięki zintegrowanemu przepływowi pracy wytwarzanie narzędzi będzie tańsze. Ze względu na elastyczność i mniejsze wymagania kapitałowe zmieni to reguły gry w biznesie.

Obecnie wytwarzanie prototypów i narzędzi oraz produkcja na małą skalę zdecydowanie przeważają w przemysłowych zastosowaniach 3DP, ale wydaje się, że opracowanie drukarek wyposażonych w taśmy nośne⁴⁰ pozwoli na przejście do produkcji masowej⁴¹. 3DP/AM może być zintegrowane z innymi systemami, np. ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*, planowanie zasobów przedsiębiorstwa) i PDM (ang. *Product Data Management*, zarządzanie danymi produktu). W istotny sposób zwiększa się użycie drukarek biurkowych w klastrach, co pozwala na wysyłanie zadań do konkretnych drukarek, np. do podziału dużych zadań na mniejsze, wykonywane przez różne drukarki.

Dr Michael Layani i Shlomo Magdassi z Hebrew University of Jerusalem zwracają uwagę na nowe szybkie drukarki do produkcji przemysłowej, nowe procesy (np. dzianie, czyli analog robienia na drutach, lub drukowanie wykorzystujące papier jako materiał) oraz nowe materiały. Następuje przejście od plastików do materiałów ceramicznych, kompozytowych, hydrożeli oraz reagujących (ang. *responsive*) polimerów⁴². Dotychczas w 3DP/AM koncentrowano się na robieniu trójwymiarowych przedmiotów o zdefiniowanych właściwościach mechanicznych. Następne przełomowe odkrycia i zastosowania 3DP/AM będą polegać na dodaniu funkcjonalności do drukowanych w 3D obiektów i powiązaniu nowych materiałów z szybszymi technologiami druku. Według Johna Hauera⁴³ ważnym motorem rozwoju 3DP może być przejście do przenośnych (ang. *portable*) drukarek 3D. Jest to szczególnie ważne dla rejonów odległych (ang. *remote communities*), mających problemy z zaopatrzeniem. Taki rozwój wymaga m.in. opracowania lżejszych, bardziej wydajnych baterii zasilających.

Obecnie badane materiały reagujące to np. materiały pozwalające na druk 4D, takie jak polimery z pamięcią kształtu, które reagują na zewnętrzne czynniki (np. ciepło lub pole magnetyczne), części ruchome miękkich robotów (ang. *soft robots*), elastycznych sensorów światła, urządzeń emitujących światło i hydrożele do zastosowań medycznych. W przyszłości środek ciężkości przesunie się w stronę interfejsów człowiek-komputer i drukowania w 3D złożonych systemów, takich jak metamateriały, sztuczne organy i implanty medyczne, funkcjonalna żywność i wbudowana elektronika. Ta ostatnia jest istotna ze względu na Internet Rzeczy oraz naszalną elektronikę.

Perspektywy zastosowania druku 3D w budownictwie w najbliższych pięciu latach przedstawili Brian C. Giles i Blair Souter z firmy Armatron Systems. Twierdzą oni⁴⁴, że możemy oczekiwać ważnych zmian w tej dziedzinie: elastyczność tej technologii i możliwość pracy „na placu budowy” pozwoli na budowanie jedynych w swoim rodzaju wysokiej klasy budowli wcielających zarówno wpływy inspirowane naturą, jak również zamków czy też świątyń, np. Tadž Mahal lub w stylu Nocy Arabskich, które zmienią definicję nowoczesnej architektury (ale czy będzie to naprawdę nowoczesna architektura?). Pierwsze takie struktury pojawiają się już w ciągu 9 do 12 miesięcy, najprawdopodobniej na Bliskim Wschodzie. Wraz z rozwojem technologii, gdy stanie się ona bardziej wydajna, tańsza i bardziej dostępna, będzie ona coraz szerzej stosowana w budownictwie mieszkaniowym, dekoracjach filmowych itd. Jednocześnie drukarki 3D będą stosowane w budownictwie na wielką skalę: przy wznoszeniu drapaczy chmur, stadionów i parków rozrywki.

Potrzeby są ogromne, a z nimi konieczność wprowadzania innowacji. ONZ ustalił, że w 2025 roku będziemy potrzebowali domów dla ponad 50 mln nowych mieszkańców miast. Ponadto należy wziąć pod uwagę konieczność przebudowy terenów poprzemysłowych (ang. *brownfield redevelopment*)⁴⁵, amerykański program zadawalającego mieszkania (ang. *Fair Housing Act*)⁴⁶ i inne lokalne potrzeby.

Ważnymi aspektami zastosowania 3DP w budownictwie, poza skróceniem terminów i obniżką kosztów, są: zwiększenie bezpieczeństwa (m.in. ze względu na pracę przy ciężkich maszynach; jest to najbardziej niebezpieczny przemysł), zmniejszenie kosztów pracy i zwiększenie produktywności oraz opracowanie standardów dla tej dziedziny.

Należy przy tym rozwiązać następujące problemy występujące w budownictwie przy drukowaniu w 3D:

1. Konieczna jest budowa suwnic-pomostów większych niż budowany obiekt.
2. Drukarka 3D często wymaga specjalnego żurawia i dużo czasu na złożenie układu do drukowania.
3. Układ drukujący jest ograniczony platformą do drukowania i nie jest skalowalny.
4. Wymaga skomplikowanych i będących własnością firm mieszanek cementów.
5. Wymaga pracy ręcznej przy wykańczaniu wydrukowanych powierzchni.
6. Ludzie muszą się włączyć na etapie rur, przewodów i instalacji elektrycznej.
7. Nie możemy drukować w 3D fundamentów ani dachów.
8. Będąc ograniczonymi do prostych pionowych ścian, nie możemy drukować, kopuł, łuków itp. (Myślę, że to ograniczenie wkrótce zniknie).
9. Drukowanie prefabrykowanych elementów nie na placu budowy (jak kiedyś w fabrykach domów) podnosi koszty logistyczne i nie jest tak wydajne, jak całkowite drukowanie w 3D domów na placu budowy (ang. *onsite Full-Scale 3D House Printing*).
10. Problemy z własnością intelektualną. Te z firm, które sobie ją zapewnią, odniosą sukces.
11. Dodałabym tutaj konieczność budowy naprawę wielkich drukarek 3D.

B.C. Giles i B. Souter z firmy Armatron Systems przewidują, że w ciągu następnych 6–12 miesięcy wiele startupów i międzynarodowych korporacji będzie próbowało wejść na rynek budowlanych drukarek 3D. Zakupy i połączenia firm oraz procesy związane z IP ograniczą liczbę rynkowych graczy, którzy zbiorą ogromne zyski związane zarówno z naprawą, modernizacją i remontami istniejących budynków, jak również z budową struktur, których dziś nie możemy sobie nawet wyobrazić. 3DP to dziedzina zrównoważonego rozwoju. Jako taka nie tylko produkuje ona mało śmieci, lecz również zbudowane w ten sposób domy będą zużywać niewiele energii i będą bardziej trwałe niż domy zbudowane tradycyjnie.

Oczywiście jednymi z najszybciej rozwijających się zastosowań 3DP są zastosowania medyczne. Ten trend będzie się utrzymywał. Jenny Chen, CEO firmy 3DHEALS⁴⁷, uważa, że obok utrzymujących się obecnych trendów (więcej osób pracujących w służbie zdrowia uczy się technologii 3DP i kupuje związane z nim produkty, lepsze zdefiniowanie wskazań przez amerykańską agencję FDA), firmy produkujące urządzenia medyczne zaczynają mocno inwestować w badania, wchodzą w układy partnerskie różnych firm (np. zajmujących się urządzeniami i oprogramowaniem, jak Stratasys⁴⁸ i Vital z grupy Canon⁴⁹), następuje łączenie firm lub ich wykupywanie (np. notowana na giełdzie NYSE 3D Systems⁵⁰ wykupiła Vertex-Global Holding BV⁵¹, a GE⁵² – szwedzką firmę Arcam⁵³). Ponadto prezes J. Chen oczekuje, że:

- produkty związane z 3DP będą łatwiejsze w użyciu i przygotowane do użycia (ang. *ready-to-use*) od razu po wyjęciu z pudełka (ang. *out of box*);
- FDA opublikuje więcej wyjaśniających wskazań dotyczących wydrukowanych w 3D urządzeń;
- przywództwo przemysłowych gigantów zainwestuje w mniejsze przedsiębiorstwa i startupy, zwiększając szybkość innowacji w tej dziedzinie;
- powstaną nowe modele biznesowe i systemy dostarczania usług 3DP, np. szpitale staną się wytwórcami spersonalizowanych urządzeń, a firmy wytwarzające urządzenia medyczne będą mogły dostarczać swoje produkty przez internet lub przez wyspecjalizowane firmy serwisowe;
- nasili się łączenie lub wykupywanie startupów i innych firm wprowadzających innowacje.

Tym trendom będą oczywiście towarzyszyć niedające się przewidzieć niespodzianki, istotne odkrycia, bez których 3DP/AM stałoby się niszową gałęzią gospodarki.

Prezes J. Chen z firmy 3DHEALS zajmuje się urządzeniami medycznymi⁵⁴. W związku z tym w jej wypowiedzi zabrakło bardzo ważnego i przyszłościowego fragmentu medycznych zastosowań 3DP, biodruku, a więc drukowania tkanek i narządów. Dotychczasowe wyniki uzyskiwane przez Organovo i inne firmy działające w tej dziedzinie są bardzo obiecujące. Już dziś stosuje się wydrukowane tkanki do testowania leków⁵⁵, a nadrukowane mieszanki komórek przyspieszają leczenie ran⁵⁶. Wydrukowanie „zdolnych do życia” implantów tkankowych może zająć więcej czasu. Oczekuje się, że do ich uzyskania potrzeba co najmniej dziesięciu lat⁵⁷, ale przewiduje się, że dużo szybciej można będzie wydrukować w 3D fragmenty organów

(np. wątroby), które można będzie wszczepić pacjentowi oczekującemu na transplantację.

Druk 3D/AM jest ściśle powiązany z robotyką, poczynając od modeli opracowanych przez uczniów⁵⁸, a kończąc na niejednokrotnie bardzo zaawansowanych projektach, które czasem można sobie wydrukować w domu⁵⁹, czy też robotach przemysłowych⁶⁰. Warto wspomnieć o niewielkim robotycznym ramieniu polskiej firmy Zortrax⁶¹.

Druk 3D/AM wraz z robotyką, Internetem Rzeczy, zaawansowanymi interfejsami człowiek – maszyna i kilku innymi dziedzinami jest częścią czwartej rewolucji przemysłowej (według niektórych trzeciej). Firma Markets & Markets przewiduje, że rynek ten, zwany rynkiem przemysłu 4.0⁶², będzie w latach 2017–2022 rósł z CAGR wynoszącym 14,72%⁶³. Największy udział w tym rozwoju mają mieć roboty przemysłowe, ale nie dziwi, że w zestawieniu najważniejszych graczy w tej dziedzinie na pierwszym miejscu jest GE, a wymienione w nim są takie firmy, jak Stratasys, Siemens i 3D Systems. Stratasys i 3D Systems są największymi firmami zajmującymi się drukiem 3D, a wielkie korporacje GE i Siemens prowadzą liczne i szeroko zakrojone prace z dziedziny jego przemysłowych zastosowań.

Niemiecka firma EOS przedstawiła wizję fabryki przyszłości, w której cały proces produkcyjny będzie zintegrowany i sterowany przez układ centralny (ang. *central hub*). W ramach tego systemu wszystkie maszyny (a więc i drukarki 3D) będą powiązane w sieć i będą się ze sobą bezpośrednio komunikowały⁶⁴. Zaopatrzenie w materiał będzie szybkie, bezpieczne i całkowicie zautomatyzowane. Również usuwanie resztek proszku i czyszczenie części będzie zautomatyzowane. Przepływ części i danych będzie płynny, bez zakłóceń. Kontrola jakości będzie stanowić integralną część systemu zarządzania fabryką przyszłości. Ciągłe zbieranie informacji i ich analiza w trakcie procesu wytwarzania pozwolą na natychmiastowe wyłapywanie błędów. Fabryka przyszłości będzie pracować bez przerw 24/7, czyli 24 godziny na dobę siedem dni w tygodniu. Z systemem można się będzie komunikować smartfonem.

Reasumując, rzeczywiste przełomowe zmiany w druku 3D w przyszłości pojawiają się na skrzyżowaniu wielu dziedzin nauki i technologii. Powinny one polegać na połączeniu zaawansowanych wysokowydajnych technologii druku, nowego oprogramowania dostosowanego do specyfiki 3DP (DfAM) oraz nowych materiałów do szybkiej produkcji trójwymiarowych obiektów, które często nie mogą być wykonane przy zastosowaniu innych metod.

Mówi się już o współpracy ludzi i robotów z wykorzystaniem druku 3D⁶⁵, co ma stanowić podstawę następnej rewolucji przemysłowej. Z drugiej strony wydaje się, że nie należy oczekiwać szybkiego wejścia na dużą skalę drukarek 3D do gospodarstw domowych, mimo że już w 2017 roku pokazano, że drukowanie 3D w domu, przynajmniej w USA, się opłaca⁶⁶. Według prezesa firmy 3D Systems, Avi Reichenthala, często stawiane pytanie: „Czy każdy będzie miał w domu drukarkę 3D?” jest źle postawione. Zamiast tego należy pytać o to, jak druk 3D wpłynie na nasze życie⁶⁷.

W raporcie Additive Manufacturing UK, wydanym we wrześniu 2016 roku, zwrócono uwagę, że jednym z głównych

czynników hamujących rozwój 3DP jest brak wystarczającej liczby specjalistów: designerów, materiałoznawców, programistów, operatorów maszyn i personelu wykańczającego wyroby, natomiast na konferencji Materialise World Summit 2017 szczególną uwagę zwrócono na konieczność współpracy firm mających doświadczenie w różnych dziedzinach. Przykładem tego jest m.in. wspólny program firm Premium AEROTECH, Daimler i EOS Next Generation AM⁶⁸, mający na celu rozwój metody drukowania z metalu.

Z kolei na 12. International Conference on Additive Manufacturing & 3D Printing w Nottingham w 2017 roku⁶⁹ obok braku wystarczającej liczby specjalistów wymieniano problemy z finansowaniem AM, włączaniem AM do procesów produkcyjnych (ang. *factory workflows*) zarówno w sensie cyfrowym, jak i fizycznym. Wskazywano też, że często to włączanie prowadzi do metod hybrydowych, łączących wytwarzanie subtraktywne i addytywne. Innym czynnikiem wymienianym jako bariera w rozwoju jest zdobycie certyfikacji ISO przez firmy⁷⁰.

W Wielkiej Brytanii stworzono kilka zespołów do pracy nad czynnikami ograniczającymi rozwój 3DP/AM. Ważnymi rozwijanymi obecnie dziedzinami są, obok wprowadzania nowych procesów i materiałów, badania i standaryzacja materiałów używanych do druku 3D, wyrobów i stosowanych procesów, jak również warunków bezpieczeństwa. To ostatnie dotyczy szczególnie przemysłów lotniczego i kosmicznego oraz zastosowań medycznych.

Istnieją również ograniczenia psychologiczne. Przeprowadzone przez firmę Gartner w 2017 roku badanie 388 dyrektorów generalnych i innych przedstawicieli zarządów firm wykazało, że nie doceniają oni możliwości druku 3D i innych innowacyjnych technologii⁷¹ (zob. również omówione powyżej badanie firmy EY). Analityk Gartnera Mark Raskino twierdzi⁷², że wielu zarządzających firmami utknęło w starych kategoriach wytwarzania przemysłowego, które są już mniej użyteczne w świecie „efemerycznych produktów i usług, w których sieci społeczne, innowacje w modelu biznesowym, myślenie projektowe, wartości marki i doświadczenia klientów są w centrum tworzenia wartości”. Słyszeli oni o nowatorskich technologiach, ale nie wiedzą, na czym one polegają i jak mogą przyczynić się do rozwoju ich firmy. Reasumując, mimo że bariery rozwoju 3DP/AM są ogromne, jest to obecnie „najgorętsza” metoda wytwarzania. Jej perspektywy rozwoju są ogromne. Określenia *sky is the limit* często używa się w tym kontekście⁷³, chyba że chodzi o przemysł lotniczy i kosmiczny. Wtedy mówi się czasem: *The sky is no longer limit*⁷⁴.

Przypisy

- [1] MAXEY K., 1.10.2013, <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6405/A-50-year-View-of-Additive-Manufacturing.aspx>.
- [2] https://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/plm/.
- [3] https://www.youtube.com/watch?v=nDy_IBYX55I.
- [4] Stephanie, 14.06.2017, <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Reimagine-products-retool-manufacturing-and-rethink-business/ba-p/415361>.
- [5] <https://wohlersassociates.com/technical-articles.html>.
- [6] PARK R., 2.08.2018, <https://www.fabbaloo.com/blog/2018/8/2/additive-international-2018-a-review>.
- [7] CORE B., <https://www.idtechex.com/research/reports/3d-printing-2018-2028-technology-andmarket-analysis-000588.asp>.
- [8] PEELS J., 27.01.2017, <https://3dprint.com/163150/executive-shakeups-3d-printing>.
- [9] GRIMM T., 23.11.2015, <http://www.tctmagazine.com/blogs/grimmblog/todd-grimm-column-when-disillusionment-is-a-good-thing/>.
- [10] <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/industrial-3d-printing.asp>.
- [11] <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/military-3d-printing.asp>.
- [12] <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp>.
- [13] MOLITCH-HOU M., 24.02.2017, <https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/14380/From-3D-Printing-Circuit-Boards-to-Organs-Nano-Dimensions-CEO-Discusses-New-Bioprinting-Subsidiary.aspx>.
- [14] WALTERS R., 21.09.2012, <https://www.geek.com/geek-cetera/laywood-filaments-lets-you-3d-print-with-wood-1517745/>.
- [15] Dawson, 30.09.2014, <https://www.forbes.com/sites/freddiedawson/2014/09/30/how-disruptive-is-3d-printing-really/#7fdef3e34e44>.
- [16] TAMPI R., 25.06.2015, <https://3dprintingindustry.com/news/smartech-report-3d-printing-in-dental-market-to-reach-3-1-billion-by-2020-51971/>.
- [17] MEARIAN L., 27.03.2017, <https://www.computerworld.com/article/3184834/healthcare-it/3d-printed-partial-liver-transplants-targeted-for-2020.html>.
- [18] <https://www.ey.com/gl/en/services/advisory/ey-3d-printing-how-your-organizationcan-get-ready>.
- [19] <http://anisoprint.ru/en/>.
- [20] COLLINSON S., 4.09.2017, https://sk.ru/news/b/press/archive/2017/09/04/will-additive-manufacturing-powder-processes-become-obsolete_3f00_.aspx.
- [21] YARAMANOGLU O., 14.06.2017, <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/Reimagine-products-retool-manufacturing-and-rethink-business/bap/415361>.
- [22] 3DP Industry, <http://www.ey.com/de/de/services/advisory/performance-improvement/supply-chain/ey-global-3d-printing-report-2016-3dp-industry>.
- [23] PR Newswire, 3.01.2017, <http://www.prnewswire.com/news-releases/global-desktop-3d-printer-market-rises-27-in-2016-while-industrialprofessional-market-stalls-609511095.html>.
- [24] JACKSON B., 1.11.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/iro3d-starts-shipment-of-5000-metal-3d-printer-142483/>.
- [25] GARDINER G., 8.11.2016, <http://www.compositesworld.com/blog/post/bionic-design-the-future-of-lightweight-structures>.
- [26] VASILIEV V.V., BARYNIN V.A., RAZIN A.F.: *Anisogrid Composite Lattice Structures – Development and Aerospace Applications*, „Composite Struct.” 2012, Vol. 94, s. 1117–1127, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822311004004>.
- [27] <https://3dfablab.wordpress.com/2017/11/16/verashape-demos-vshaper-5-axis-3d-printer-at-formnext/>.

- [28] PLEWA K., 11.07.2018, <https://www.sculpteo.com/blog/2018/07/11/nature-inspired-3d-printing-introducing-biomimicry/>.
- [29] SCOTT C., 15.08.2017, <https://3dprint.com/184227/footprint-footwear-simpleware/>.
- [30] SCOTT C., 1.06.2016, <https://3dprint.com/136743/mantis-shrimp-materials/>.
- [31] MATISONS M., 24.02.2015, <https://3dprint.com/46374/scale-inspire-3d-printed-armor/>.
- [32] WATKIN H., 26.06.2017, <https://all3dp.com/scientists-3d-print-graphene-foam/>.
- [33] 3D Printing Industry, 10.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-5-years-jenny-chen-ceo-3dheals-110496/>; 17.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-five-years-jos-burger-ceo-ultimaker-111058/>.
- [34] BASSI G.P., 5.06.2017, <http://blogs.solidworks.com/solidworks-blog/2017/06/unveilingsolidworks-path-future-design.html>.
- [35] LINNEMAN A., 7.06.2017, <https://www.shapeways.com/blog/archives/31271-design-it-in-vectary-and-order-3d-prints-from-shapeways.html>.
- [36] 3D Printing Industry, 19.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printingnext-5-years-stephen-chadwick-dassault-systemes-111142>.
- [37] https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_Design.
- [38] 3D Printing Industry, 17.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-five-years-jos-burger-ceo-ultimaker-111058/>.
- [39] Fabbaloo, 30.08.2018, <https://www.fabbaloo.com/blog/2018/8/30/a-caution-for-3d-printerstartups-youre-too-late>.
- [40] SAUNDERS S., 10.05.2017, <https://3dprint.com/173820/industrial-blackbelt-3d-printer/>.
- [41] GRUNEWALD S.J., 8.07.2016, <https://3dprint.com/141576/printvalley-mass-production/>.
- [42] 3D Printing Industry, 25.05.2017, https://3dprintingindustry.com/news/3d-printingnext-five-years-dr-michael-layani-shlomo-magdassi-114224/?utm_medium=push&utm_source=onesignal&utm_campaign=website%20button.
- [43] HAUER J., 10.05.2018, <https://3dprint.com/author/john-hauer/>.
- [44] 3D Printing Industry, 5.06.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-five-years-brian-c-giles-blair-souter-armatron-systems-114979/>.
- [45] http://brownfieldaction.org/brownfieldaction/brownfield_basics.
- [46] https://en.wikipedia.org/wiki/Fair_Housing_Act.
- [47] 10.04.2017, <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-next-5-years-jenny-chen-ceo-3dheals-110496/>.
- [48] www.stratasys.com.
- [49] <http://www.vitalimages.com/>.
- [50] <https://www.3dsystems.com/>.
- [51] <https://vertexglobalholding.com/>.
- [52] <https://www.ge.com/>.
- [53] www.arcam.co.uk/.
- [54] <https://3dheals.com/>.
- [55] Organovo, <http://organovo.com/tissues-services/exvive3d-human-tissue-models-services-research/exvive3d-liver-tissue-performance/>.
- [56] GRIFFITHS A., 23.12.2013, <https://www.dezeen.com/2013/12/23/3d-printing-biopen-draws-bone-repairs-with-stem-cells/>.
- [57] HIPOLITE W., 15.07.2015, <https://3dprint.com/81530/3d-printed-rabbit-goat-bones/>.
- [58] Afinia, 27.02.2017, <http://afinia.com/3d-printed-life-size-droid/>.
- [59] Gambody, 20.01.2017, <https://www.gambody.com/blog/3d-printed-robot/#.Wp5ulOciGUk>; YUSUF B., 12.04.2018, <https://all3dp.com/1/3d-printed-robot-print-robots/>; ROGERS S., 4.03.2018, <https://interestingengineering.com/new-3d-printing-tech-could-bring-sensing-to-robotics>.
- [60] MOLITCH-HOU M., 13.10.2016, <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13374/Seven-Robotic-Arms-Lifting-3D-Printing-into-Industrial-Manufacturing.aspx>; OWEN-HILL A., 2.05.2017, <https://blog.robotiq.com/are-robot-arms-the-next-generation-of-3d-printer>.
- [61] Zortrax, 26.09.2016, <https://zortrax.com/3dprinting/3d-printing-examples/>.
- [62] Business Insider, 20.09.2018, <https://businessinsider.com/pl/firmy/strategie/roboty-na-traktory-czyli-o-co-chodzi-w-czwartej-rewolucji-przemyslowej/77fwbfb>.
- [63] <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industry-4-market-102536746.html>.
- [64] <https://www.youtube.com/watch?v=QC6w4s-kqQQ>.
- [65] JACKSON B., 15.02.2018, <https://3dprintingindustry.com/news/cornell-presents-foundations-collaborative-human-robot-3d-printing-129012/>.
- [66] SAUNDERS S., 16.02.2017, <https://3dprint.com/165246/mtu-at-home-3d-printing-study/>.
- [67] https://www.ted.com/talks/avi_reichental_what_s_next_in_3d_printing/discussion.
- [68] Premium AEROTEC, 19.04.2017, http://www.premium-aerotec.com/en/Premium_AEROTEC_EOS_and_Daimler_prepare_the_next_generati...html.
- [69] <https://www.am-conference.com/>.
- [70] <https://www.iso.org/certification.html>.
- [71] HAMBLEN M., <http://www.computerworld.com/article/3192085/internet-of-things/ceos-rate-productivity-very-low-from-emerging-tech.html>.
- [72] https://blogs.gartner.com/mark_raskino/.
- [73] *Sky is the limit nuclear engineering's new 3D printer offers unlimited possibilities*, <https://blogs.sas.com/content/sascpl/2014/10/03/3d-printing-the-sky-is-the-limit/>, <https://today.anl.gov/2017/03/sky-is-the-limit-nuclear-engineering-s-new-3d-printer-offers-unlimited-possibilities/>.
- [74] *The sky is no longer the limit when it comes to manufacturing*, <https://www.dunmore.com/functional-films/the-sky-is-no-longer-the-limit-when-it-comes-to-manufacturing/>.

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