

Druk 3D w aspekcie zastosowań przemysłowych

KRZYSZTOF MADEJ, PRZEMYSŁAW KOZIOŁ, REGINA ARABIK,
WOJCIECH ŻYŁKA, BOGUMIŁ HOŁOTA *

Przedstawiono potencjalne wykorzystanie druku 3D w różnych dziedzinach gospodarki, zwłaszcza w przemyśle, a w szczególności w sektorach: maszynowym, lotniczym i samochodowym. Przedstawiono zalety druku 3D, które zapewniają przewagę tej technologii nad tradycyjnymi metodami wytwarzania, tj. szybsze prototypowanie, zmniejszenie czasu produkcji i kosztów oraz większą swobodę projektową. Opisano również wady druku 3D, np. mniejsza wydajność i dokładność w porównaniu z tradycyjnymi metodami, a także koszty inwestycyjne. Podano najważniejsze wymagania, jakie powinny spełniać parametry przemysłowych drukarek 3D. Druk 3D pokazany został jako popularna i innowacyjna technika wytwarzania, która może stać się w przyszłości kluczową, szczególnie w dziedzinach wymagających elastyczności projektowej, a także w produkcji elementów o złożonych kształtach.

Wstęp

Druk 3D jest technologią addytywną, która pozwala odwzorować wirtualny model części w obiekt fizyczny bez konieczności obróbki detalu, redukując tym samym liczbę niezbędnych urządzeń do jego wykonania oraz ilość powstałych odpadów produkcyjnych. Technologia druku przestrzennego umożliwia również tworzenie elementów o bardzo złożonym kształcie bez konieczności wykorzystywania skomplikowanych form wtryskarek do polimerów. Te cechy powodowały, że technologia druku przestrzennego znalazła szczególne zastosowanie w prototypowaniu i modelowaniu [1].

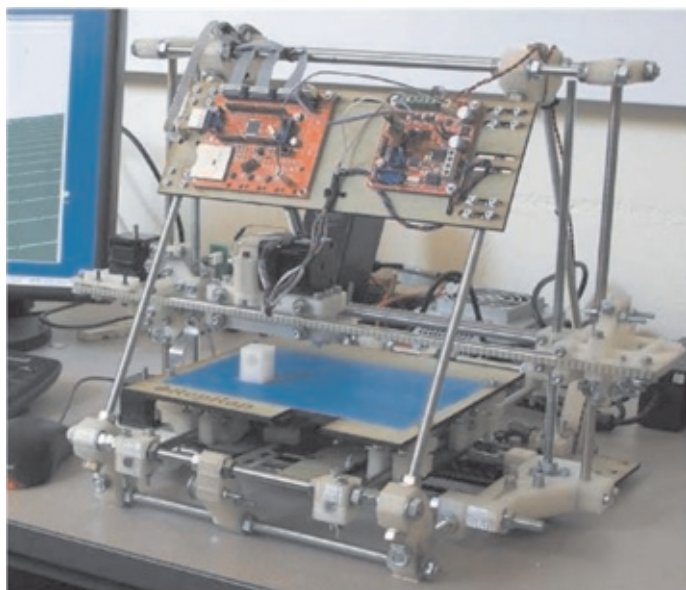
Chociaż termin drukowanie 3D może wydawać się nowoczesną i dość futurystyczną technologią, historia drukowania 3D znanego również jako produkcja przyrostowa, jest dłuższa niż mogłoby się wydawać. Za pioniera druku przestrzennego uznaje się Charles'a Hull'a, który w 1984 r. opisał proces Stereolitografii (SLA) oraz go opatentował w 1986 r. Model drukowany jest za pomocą wiązki promieniowania UV o długości fali od 10 do 400 nm, która skierowana na ciekły materiał foto-polimero-

wy tworzy jego kolejne warstwy. Metoda ta jest stale rozwijana. Obecne drukarki pozwalają na jednoczesny druk całej warstwy za pomocą specjalistycznego projektora. Jakość i dokładność wydruku jest bardzo dobra, jednak ten sposób wytwarzania detali wymaga tworzenia dużej liczby podpór. SLA nie była w tym czasie jedynym procesem produkcji addytywnej wykorzystującym promieniowanie światła. Carl Deckard z University of Texas złożył patent na technologię selektywnego spiekania laserowego proszków polimerów (SLS) w 1988 roku. Generowanie przestrzennego detalu odbywało się za pomocą lasera, który stapia natryskiwany sproszkowany materiał, tworząc w ten sposób kolejne warstwy. Metoda SLS umożliwia drukowanie przedmiotów zawieszając je w proszku, dzięki czemu niepotrzebne jest tworzenie podpór. Nadmiar sproszkowanego materiału często jednak wypełniał puste przestrzenie w modelu, co

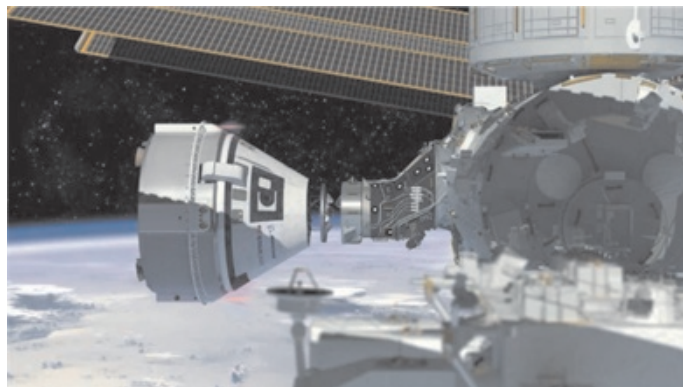
powodowało marnowanie materiału [1]. W 1992 roku Scott Crump opatentował technologię *Fused Deposition Modeling* – FDM (*Fused Filament Fabrication* – FFF) polegającą na warstwowym nakładaniu stopionego materiału termoplastycznego na stół roboczy. Tworzywo nanoszone było w trzech osiach, za pomocą dyszy nagrzonej do temperatury topnienia używanego materiału. FDM jest najtańszą i najpopularniejszą metodą drukowania przestrzennego pozwalającą na otrzymanie produktu bez konieczności dodatkowej obróbki [6].

Technologia DLP (ang. *Digital Light Processing*) została opracowana przez firmę Texas Instruments. Bazuje ona na technologii MEMS (*Microelectromechanical System*), która określa zintegrowane struktury elektromechaniczne, przy czym przynajmniej jeden wymiar znajduje się w skali mikro. Chociaż technologia ta powstała w 1987 roku, jednak projektor

* Mgr inż. Krzysztof Madej, mgr inż. Przemysław Kozioł – Rzeszowskie Centrum Technologii 3D, ul. Obrońców Poczty Gdańskiej 14, 35-509 Rzeszów; inż. Regina Arabik – Katedra Elektroniki, Telekomunikacji i Mechatroniki. Akademia Nauk Stosowanych w Tarnowie, ul. A. Mickiewicza 8, 33-100 Tarnów; dr inż. Wojciech Żyłka, dr inż. Bogumił Hołota – Instytut Inżynierii Materiałowej. Uniwersytet Rzeszowski, ul. S. Pigoń 1, 35-310 Rzeszów.



← Rys. 1. Drukarka RepRap – tania alternatywa dla komercyjnych, drogich drukarek 3D [6]



↑ Rys. 2. Dokowanie stacji CST-100 Starliner do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej [6]

zaprezentowano dopiero w 1996 roku. Projektory multimedialne DLP wykorzystują chip DMD (ang. *Digital Micromirror Device*), składający się z milionów mikrokłuster, które mogą odchylić się pod określonymi kątami na specjalnych zawiasach w kierunku źródła światła lub w kierunku przeciwnym, tworząc jasny albo ciemny piksel na powierzchni projekcyjnej. Dzięki temu zapis cyfrowy jest bezpośrednio prezentowany w formie obrazu świetlnego [5].

Duży potencjał nowych technologii spowodował, że na początku lat 90-tych wiele firm zaczęło eksperymentować z różnymi technologiami wytwarzania addytywnego. Pojawienie się pierwszych komercyjnych drukarek było zatem nieuniknione i niezmiernie pożądane. W 2006 roku pojawiła się pierwsza, dostępna na rynku przemysłowa drukarka SLS. W tym samym czasie postępował również rozwój techniki cyfrowej. Narzędzia CAD stały się bardziej dostępne, ułatwiając tym samym jeden z najważniejszych etapów tworzenia wydruków 3D jakim jest opracowanie trójwymiarowych modeli. Początki upowszechniania druku były trudne. W latach 2000 maszyny były bardzo drogie, skomplikowane w użyciu, ponadto detale często wymagały dodatkowej obróbki końcowej. Prawdziwą rewolucję przyniosło stworzenie w 2005 roku przez dr Adriana Bowyer koncepcji RepRap Project, która miała na celu „upowszechnienie” Open Source – stworzenie drukarki 3D, która była w stanie zbudować kolejną drukarkę 3D oraz inne obiekty [6].

Projekt RepRap typu „otwarte oprogramowanie” oznacza, że specyfikacje są upublicznione bezpłatnie. Stworzyło to warunki do szybkiego rozwijania koncepcji, gdyż zachęciło to inżynierów oraz techników do działań w tym zakresie, ponieważ każdy mógł dodać coś nowego lub poprawić istniejące pomysły, upraszczając jednocześnie konstrukcję oraz obsługę drukarek. W 2009 roku, patenty FDM (zgłoszone w latach 80-tych) mocno się upowszechniły zmieniając historię druku 3D i otwierając drzwi dla innowacji. Ponieważ technologia była bardziej dostępna dla nowych firm i konkurencji, ceny drukarek 3D zaczęły obniżać się, co spowodowało, że druk stał się technologią „dla każdego” [6].

Opis materiałów

Tendencja spadkowa cen drukarek 3D spowodował również ewolucję materiałów wykorzystywanych w procesach drukowania. Podstawowe drukarki 3D często wykorzystują tworzywa sztuczne, najpowszechniejszym z nich jest ABS – akrylonitryl-butadien-styren, który występuje w różnych kolorach i może być łatwo dostępny w formie włókien. Równie często używanym materiałem jest poliaktyd (PLA) – biodegradowalne tworzywo sztuczne nadające się do drukarek pracujących w technologiach DLP i SLA. Jest również dostępny w formie filamentu, do użytku w technologii FDM. Nie jest tak elastyczny ani trwały jak ABS ale występuje w różnych wersjach kolorów, w tym także jako tworzywo przezroczyste. Pomimo tego, że obecnie istnieje

wiele rodzajów tworzyw sztucznych i włókien, które są szeroko dostępne, ciągle powstają nowe materiały w których występują np. włókno węglowe lub włókno szklane [1, 10].

Czy wyobraźnia ma granicę? Druk 3D, a kosmos

Firma Oxford Performance Materials opracowała tworzywo sztuczne, które jako pierwsze z materiałów addytywnych było wykorzystane na statku kosmicznym CST-100 Starliner. Części wydrukowane z tego materiału poza wytrzymałością mechaniczną, lepszą niż ma aluminium w zakresie temperatur od –184 do 149 stopni Celsjusza mają mniejszą masę o ok. 60% w stosunku do masy części wyprodukowanych tradycyjną technologią produkcji [6].

To nie koniec zastosowań druku 3D w kosmosie. NASA wraz z firmą *Made in Space* w ramach wspólnego projektu stworzyło drukarkę 3D przeznaczoną do pracy w kosmosie. Obecnie niestandardowa drukarka jest na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) [6].

Drukowane budynki

Contour crafting, to metoda druku 3D pozwalająca na budowanie konstrukcji w skali architektonicznej. Ta technika drukowania została zbadana przez dr Behrokh Khoshnevis z Instytutu Nauk Informacyjnych Uniwersytetu Południowej Kalifornii. Aby drukować warstwa po warstwie dowolny rodzaj infrastruktury

wymagana jest duża konstrukcyjna drukarka 3D. W większości przypadków te konstrukcyjne drukarki 3D drukują wielkoskalowe projekty za pomocą dźwigu lub ramienia robota. Jeśli chodzi o materiały do drukowania 3D używane do tworzenia konturów są materiały szybko wiążące, takie jak beton lub piasek. W 2019 roku ukończono budowę największego na świecie funkcjonalnego budynku wydrukowanego w 3D [9].

Zastosowanie w medycynie – drukowanie części zamiennych dla człowieka

Szybki rozwój oraz miniaturyzacja sprawiają, że technologia druku 3D znalazła również bardzo szerokie zastosowanie w medycynie i biologii, zwłaszcza w protezycie oraz jako wyroby medyczne wszczepiane do organizmu – w tym przeszczepy narządów i tkanek.

Technologia druku 3D od samego początku była wykorzystywana do produkcji implantów medycznych, w tym do wykonywania implantów kolanowych, biodrowych i barkowych. Najważniejszą cechą udanego implantu jest uzyskanie powierzchni, która sprzyja adhezji i wzrostowi otaczających powierzchnię implantu komórek. W druku 3D metalowych implantów do budowania kolejnych warstw wykorzystuje się biokompatybilny tytan lub stop tytanu. W celu uzyskania dużej czystości materiału wytwarzanych części implanty są drukowane w ściśle kontrolowanej atmosferze, a do jej utrzymania stosuje się niereaktywne gazy i ograniczenie obecności tlenu [6].

Początkiem lat 2000 naukowcy z Wake Forest Institute for Regenerative Medicine w Winston-Salem w Karolinie Północnej po raz pierwszy dokonali przeszczepów narządów wyhodowanych z własnych komórek pacjentów. Pomyślny wzrost narządów z komórek pacjentów rodzi możliwość opracowania innych sposobów inżynierii organów, w tym wykorzystanie druku 3D do warstwowania komórek. Ogólne działanie biodrukarek jest podobne do standardowych drukarek 3D. Obiekt jest modelowany lub zeskanowany do pliku komputerowego, który jest zbiorem instrukcji dla drukarki. Jedynym, co odróżnia tę technologię jest materiał drukarski – zamiast tworzywa sztucznego lub metalu biodrukarki wykorzystują żywe komórki [6].

Druk 3D w kuchni

Trudno uwierzyć, a jednak obecnie dość pręźnie rozwijającą się gałęzią druku 3D jest tworzenie żywności wykorzystujące trójwymiarową precyzję maszyn. Na świecie jest wiele restauracji, które proponują menu z dań wykonanych w drukarce. Można spotkać takie dania jak francuska zupa z grzankami w kalifornijskiej Melisse w Santa Monica, a nawet całe menu wykonane za pomocą drukarki Foodini w prestiżowej restauracji Enoteca w Barcelonie [14].

Druk 3D w przemyśle

Druk 3D to jedna z najnowocześniejszych technologii produkcji, która coraz częściej stosowana jest w przemyśle. Technologia ta znacznie ułatwia i przyspiesza produkcję wielu produktów, co przekłada się na mniejsze koszty i zwię-

W przemyśle maszynowym istotna jest możliwość szybkiego dostosowania się do zmieniających się wymagań rynkowych. Przemysłowy druk 3D umożliwia szybkie prototypowanie, testowanie i modyfikowanie części bez konieczności produkcji drogich narzędzi i form wtryskowych. Znacząco skraca to czas wdrożenia danego wytworu do produkcji. Dzięki temu obserwuje się zwiększenie wydajności i obniżenie kosztów produkcji. Druk 3D w tym sektorze znajduje zastosowanie w produkcji narzędzi i urządzeń pomocniczych, takich jak uchwyty, przesłony, kieszenie i inne elementy, które ułatwiają pracę operatorom maszyn. Na Rys. 3 przedstawiono uchwyt łączący ramię robota ze skanerem 3D wydrukowany za pomocą drukarki 3D.

Wadą przemysłowego druku 3D w sektorze maszynowym może być ograniczona wytrzymałość wydrukowanych części



Rys 3. Uchwyt łączący ramię robota ze skanerem 3D wydrukowany za pomocą drukarki 3D [8]

szą efektywność. W porównaniu z tradycyjnymi metodami produkcji, druk 3D oferuje wiele zalet i przewag w sektorze przemysłowym, szczególnie w sektorach maszynowym, lotniczym i samochodowym [13].

Sektor maszynowy

Jedną z zalet przemysłowego druku 3D w sektorze maszynowym jest możliwość wydruku części z różnych materiałów, w tym z tworzyw sztucznych, metalu, ceramiki czy biologicznych. Dzięki temu możliwe jest wydrukowanie części, które są trudne lub niemożliwe do wyprodukowania tradycyjnymi metodami.

w porównaniu z tradycyjnie produkowanymi elementami. Jednak ta wada jest coraz mniej istotna dzięki postępom w technologii i możliwości druku z wykorzystaniem metalowych materiałów, które charakteryzują się dużą wytrzymałością.

Sektor lotniczy

Dzięki przemysłowemu drukowi 3D możliwe jest szybsze i bardziej precyzyjne prototypowanie i produkcja części lotniczych. Przekłada się to na zwiększenie bezpieczeństwa lotów, zmniejszenie kosztów produkcji i czasu dostawy części, a także na poprawę ogólnej wydajności branży lotniczej.

Jedną z największych zalet druku 3D w sektorze lotniczym jest możliwość produkcji części o skomplikowanych kształtach, które są trudne lub niemożliwe do wykonania przy użyciu tradycyjnych metod produkcyjnych. Ponadto części te są bardziej wydajne i wytrzymałe, a jednocześnie lżejsze, co ma wpływ na zwiększenie wydajności produkcji, a w przyszłości na oszczędność paliwa samolotów.

Wspomniana możliwość szybkiego prototypowania i testowania, pozwala branży lotniczej dostosowanie się do szybko zmieniających się wymagań rynkowych. Można w łatwy i szybki sposób przetestować różne warianty projektów, zarówno nowych wyrobów, jak i modyfikowanych, już istniejących, w celu polepszania ich funkcjonalności.

Druk 3D w sektorze lotniczym pozwala na produkcję małych serii części w opłacalny sposób. W przypadku produkcji części z tradycyjnych materiałów, takich jak np. stopy aluminium, produkcja małych serii części jest bardzo kosztowna ze względu na potrzebę tworzenia form i narzędzi wtryskowych [4].

Wadą druku 3D w sektorze lotniczym może być brak możliwości drukowania dużych części, które są niezbędne w produkcji samolotów. Ponadto, wydrukowane części często wymagają dalszej obróbki, aby osiągnąć wymagane parametry i specyfikacje, co wpływa na koszt i czas produkcji.

Sektor samochodowy

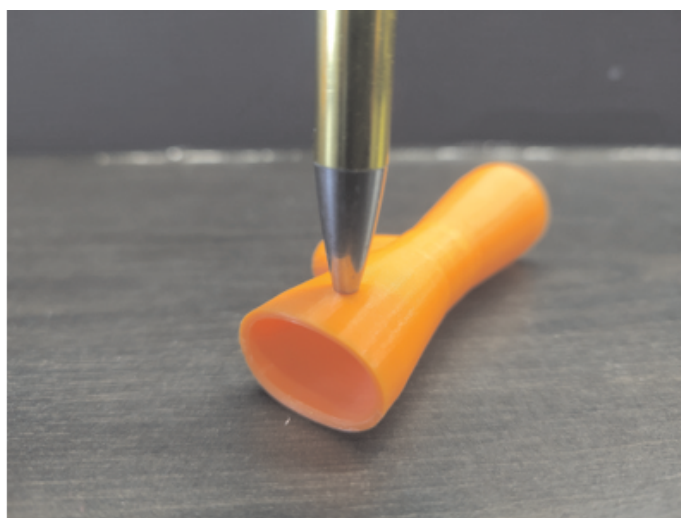
Druk 3D znalazł również swoje zastosowanie w przemyśle samochodowym. Jest to branża, która musi sprostać wymaganiom dotyczącym wydajności, trwałości i lekkości części samochodowych. Dzięki drukowaniu 3D producenci samochodów mogą zaprojektować i wyprodukować prototypy i wyroby końcowe w bardziej wydajny i kosztowo efektywny sposób. Na Rys. 4 przedstawia odwzorowanie dokładki nadkola samochodowego przy użyciu skanowania 3D oraz druku 3D.

Jednym z najważniejszych zastosowań druku 3D w przemyśle samochodowym jest produkcja prototypów. Dzięki temu można szybko i dokładnie wyprodukować modele i części prototypowe, co pozwala producentom samochodów na testowanie i wprowadzanie zmian w projektach w bardziej efektywny sposób niż w przypadku tradycyjnych metod



Rys 4. Dokładki nadkola samochodowego odwzorowane przy użyciu skanowania 3D i wykonane technologią drukowania 3D [8]





Rys 5. Gumowy rozdzielacz. U góry w pozycji swobodnej natomiast na dole podczas przyłożenia siły [8]

produkcji. Druk 3D znajduje również zastosowanie w produkcji części finalnych samochodów. W tym przypadku technologia ta pozwala na produkcję części o skomplikowanych kształtach. Producenci samochodów mogą również produkować części o zmiennej grubości ścianek, co pozwala na zmniejszenie ciężaru samochodu i zwiększenie wydajności jego produkcji [2].

Drukowanie 3D z materiałów elastycznych zwanych również elastomerami jest niezwykle ważną gałęzią całej technologii FDM, którą wykorzystuje się w przemyśle. Elastomer jest to elastyczny, giętki i wytrzymały materiał, który charakteryzuje się małą twardością i dobrą odpornością na rozdarcia, ścieranie oraz działanie olejów i substancji chemicznych. Wydruki 3D z materiałów „FLEX” to najczęściej uszczelki, zatyczki, osłony, gumowe elementy w samochodach oraz elementy tłumiące, takie jak wibroizolatory stosowane w celu odizolowania od podłoża drgań generowanych przez maszynę.

Spośród elastomerów najczęściej wykorzystywane są [7]:

- termoplastyczny poliuretan (TPU) – materiał o średniej elastyczności i dobrej odporności na działanie środków chemicznych, a także małej ścieralności;

- termoplastyczny elastomer (TPE) – materiał o dużej elastyczności i bardzo dobrej odporności na działanie środków chemicznych;

- termoplastyczny poliester (TPC) – materiał o małej sztywności, które bardzo dobrze znoszą ekspozycję na bezpośrednie działanie środków chemicznych.

Na ilustracjach – Rys. 5 oraz 6. przedstawiono elementy wykonane technologią druku z materiałów elastycznych. Na pierwszej z tych ilustracji (Rys. 5), przedstawiono gumowy rozdzielacz, natomiast na rysunku 6 – oponę, która została wykorzystana w samochodzie RC.

W przemyśle coraz częściej pojawia się również technologie druku 3D, w których filamentem są tworzywa metalowe. Do druku 3D z metalu stosuje się różne technologie, w tym PBF (*Powder Bed Fusion*), DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*), EBM (*Electron Beam Melting*) oraz SLM (*Selective Laser Melting*). W każdej z tych technologii istota jest podobna – metalowy proszek lub drut jest stopniowo nakładany warstwa po warstwie, a następnie jest topiony lub spiekany za pomocą lasera lub wiązki elektronów. Proces drukowania 3D z metalu polega na stopniowym nakładaniu kolejnych warstw metalowego proszku na specjalną platformę drukarki 3D. Każda warstwa proszku jest następnie wypalana za pomocą lasera lub wiązki elektronów, co umożliwia spawanie poszczególnych warstw i tworzenie obiektu.

Jedną z głównych zalet druku 3D w tych technologiach jest możliwość wykorzystania różnych metali, takich jak stal, tytan, aluminium lub miedź. Dzięki temu drukowanie 3D z metalu znajduje zastosowanie w wielu branżach przemysłowych, takich jak lotnictwo, medycyna, motoryzacja, energetyka i wiele innych. Drukowanie 3D z metalu daje również możliwość tworzenia prototypów, form, narzędzi i innych elementów wykorzystywanych w procesie produkcyjnym [11].

Cechy przemysłowego druku 3D

Stosowana w przemyśle przyrostowa technika wytwarzania jaką jest drukowanie 3D charakteryzuje się cechami charakterystycznymi: pozytywnymi i negatywnymi. Wśród tych pierwszych można wymienić następujące:

- szybkość produkcji: umożliwia szybkie tworzenie prototypów oraz niestandardowych części w krótkim czasie. To pozwala firmom skrócić czas produkcji i zwiększyć jej efektywność;

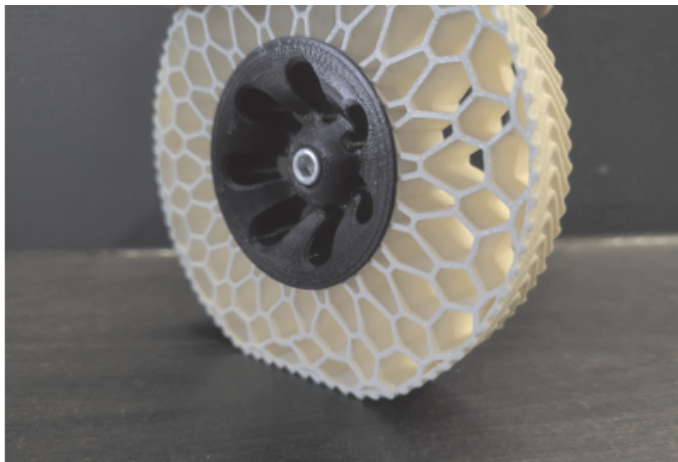
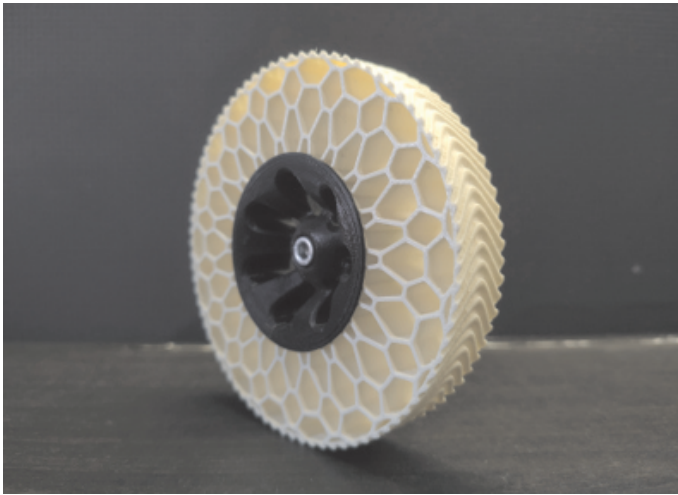
- umożliwia tworzenie niestandardowych części oraz prototypów w sposób znacznie tańszy niż tradycyjne metody produkcji. Jest to szczególnie korzystne w przypadku produkcji małoseryjnej lub jednostkowej;

- możliwość produkcji niestandardowych i nietypowych produktów: druk 3D pozwala na tworzenie produktów o niestandardowych kształtach, które są trudne lub niemożliwe do wykonania za pomocą tradycyjnych metod produkcji;

- dobra jakość produktów. Druk 3D pozwala na precyzyjne tworzenie części, co przekłada się na dużą jakość produktów;

- minimalne odpady. Druk 3D generuje minimalne ilości odpadów w porównaniu z tradycyjnymi metodami produkcji, co jest korzystne z punktu widzenia ochrony środowiska i kosztów produkcji [3].





Rys 6. Opona. U góry w pozycji swobodnej natomiast na dole podczas przyłożenia siły [8]

Podstawowymi wadami przemysłowego druku 3D są:

- koszt drukarek. Przemysłowe drukarki 3D są kosztowne, co może stanowić barierę dla małych przedsiębiorstw;
- ograniczenia materiałowe. Niektórych tworzyw konstrukcyjnych nie stosuje się w druku 3D, a niektóre – wymagają specjalnych, droższych drukarek 3D.
- wymagane doświadczenie. Druk 3D wymaga doświadczenia i wiedzy technicznej, co może być wyzwaniem dla niektórych przedsiębiorstw;
- wymagane oprogramowanie. Ta technologia wymaga specjalnego oprogramowania, które nie zawsze jest łatwe do szybkiego opanowania przez pracownika.

Parametry drukarek 3D istotne z przemysłowego punktu widzenia

W każdej technologii są parametry i czynniki determinujące rezultaty stosowani danych technologii. W przypadku drukowania 3D są to:

Wymiary obszaru roboczego, który limituje gabaryty produktów które można wydrukować. W przypadku przemysłowego druku 3D, ważne jest, aby drukarka miała wymiary przestrzeni roboczej wystarczające do wydruku dużych części;



Rozdzielczość druku określająca dokładność produkowanych elementów detale produktów. W przemyśle, gdzie precyzja jest kluczowa, ważna jest duża rozdzielczość drukarki, po to aby produkty były dokładne i zgodne z wymaganiami;

Cechy materiałów drukarskich (filamentów). Drukarki 3D mogą wytwarzać z różnych rodzajów tworzyw konstrukcyjnych, takich jak tworzywa sztuczne, metale, ceramika lub biologiczne. Ważne jest, aby drukarka obsługiwała materiały odpowiednie do produkcji części lub wyrobów w zależności od potrzeb przemysłowych;

Szybkość druku określająca, jak szybko produkty mogą być wydrukowane. W przemyśle czas jest cenny, więc szybkość druku jest ważna, aby umożliwić szybką produkcję i zwiększyć efektywność;

Powtarzalność i jakość. Ważne jest, aby drukarka 3D była w stanie wydrukować powtarzalne produkty oczekiwanej jakości, co jest kluczowe dla produkcji w skali przemysłowej;

Automatyzacja. Automatyzacja procesów produkcyjnych jest w przemyśle ważna, m.in. po to aby zwiększyć efektywność i zmniejszyć błędy ludzkie. Dlatego ważne jest, aby drukarki 3D były w stanie działać w sposób zautomatyzowany;

Koszt wydruku 3D powinien być możliwie mały, tak aby producent był konkurencyjny na rynku.

Wszystkie te czynniki i parametry są ważne dla przemysłowego druku 3D, a ich właściwy wybór zależy od potrzeb i wymagań konkretnych firm.

Drukowanie 3D może być również ściśle powiązane ze skanowaniem 3D. Skanowanie 3D dostarcza dane potrzebne do utworzenia trójwymiarowych modeli obiektów (tzw. inżynieria odwrotna [12]). Dzięki skanowaniu 3D można utworzyć modele istniejących przedmiotów i następnie je wydrukować, co jest szczególnie przydatne w przypadku tworzenia części zamiennych, replikacji obiektów historycznych lub modelowania skomplikowanych kształtów.

Po zeskanowaniu obiektu dane zapisywane są w formacie cyfrowym, który

następnie może zostać przetworzony przez oprogramowanie CAD (*Computer – Aided Design*) w celu utworzenia modelu 3D, który można wydrukować przy użyciu drukarki 3D. Skanowanie 3D pozwala także na tworzenie modeli hybrydowych, które łączą elementy drukowane 3D z elementami już istniejącymi.

Skanowanie 3D jest również przydatne w procesie weryfikacji jakości wydrukowanych modeli, ponieważ pozwala na porównanie wydrukowanego obiektu z modelem oryginalnym i identyfikację odchyłek lub ewentualnych błędów.

Podsumowanie

Druk 3D znalazł obecnie zastosowanie w wielu dziedzinach wytwórczych, w tym tak oryginalne jak drukowanie implantów i protez dla medycyny lub wyrobów cukierniczych. Technologia ta staje się też standardową techniką wytwarzania wyrobów przemysłowych. Sektor maszynowy, lotniczy i samochodowy to wiodące przykłady intensywnie wdrażanej obróbki addytywnej.

Procesy wykorzystywane w druku 3D nieustannie się rozwijają i zmieniają. Opracowywane i wprowadzane są nowe rozwiązania konstrukcyjne drukarek, procesy chemiczne i fizyczne stanowiące podstawę tworzenia addytywnego wyrobów w powiązaniu z nowatorskimi materiałami drukarskimi. Można się spodziewać, że rozwój ten będzie trwać ciągle, a drukowanie 3D będzie w coraz większym stopniu oddziaływać na różne gałęzie przemysłu, zastępując tradycyjne techniki wytwarzania.

O zaletach druku 3D w inżynierii świadczą coraz bardziej otwarty na tę technologię przemysł oraz wzrastająca liczba firm oferujących usługi projektowania i wykonania elementów tą techniką.

Literatura

1. Arabik R.: *Stanowisko do automatycznej kontroli wizyjnej kamerą, wykonane z wykorzystaniem technologii druku 3D dla wybranych elementów stanowiska*. Praca inżynierska napisana pod kierunkiem dr inż. W. Gruszeckiego. Akademia Nauk Stosowanych w Tarnowie. Tarnów 2022.

2. Caban J., Szala M., Kęsik J., Czuba Ł.: *Wykorzystanie druku 3D w zastosowaniach automotive, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*. Instytut Naukowo-Wydawniczy SPATIUM. sp. z o.o., 2017.

3. Cichoń K., Brykalski A.: *Zastosowanie drukarek 3D w przemyśle*. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Przegląd Elektrotechniczny, vol. 93, nr 3/2017.

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

5. Domaszka M.: *Symulacja układu optycznego projektora DLP ze źródłem LED*. Zeszyty naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 95, Gdynia 2016.

6. Freedman J.: *Future Uses and Possibilities of 3D Printing*. Cavendish Square Publishing, LLC First Edition. New York 2018.

7. Kozioł P.: *Badanie wytrzymałości zmęczeniowej wydruków 3D z materiałów elastycznych*. Praca magisterska. Uniwersytet Rzeszowski. Rzeszów 2022.

8. Materiały Rzeszowskiego Centrum Technologii 3D, Rzeszów 2020.

9. Rouhana1 C., Aoun M., Faek F., Eljazzar M., Hamzeh F.: *The Reduction of Construction Duration by Implementing Contourontour Crafting (3d Printing)*. Proceedings IGLC-22, Oslo, Norway, 2014.

10. Styp-Rekowski M., Matuszewski M., Oborski I., Polishchuk O.: *Miejsce technik przyrostowych w procesach wytwórczych*. *Obróbka Metalu*, nr 2-3/2020.

11. Tatarczak J., Krzysiak Z., Samociuk W., Kaliniewicz Z., Krzywonos L.: *Przegląd nowoczesnych technologii druku 3D obiektów metalowych*,: *Mechanik* vol. 90, nr 7/2017.

12. Werner A., *Ocena dokładności realizacji procesu inżynierii odwrotnej obiektu przestrzennego*. Pomiary, automatyka, robotyka. Wydział Mechaniczny Politechniki Białostockiej, nr 5/2012.

13. Zieliński D.: *Drukowanie trwałych elementów z tworzyw termoplastycznych w technologii FDM/FFF*. *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, nr 4/2021.

14. Zinkiercz M.: *Sztuka jedzenia*. Portal Polskiego Radia S.A. Czwórka, maj 2022. ■