

## Zastosowanie drukarek 3D w przemyśle

**Streszczenie.** W ostatnich latach technologia druku 3D rozwija się bardzo dynamicznie. W pracy przedstawiono zagadnienia technologii drukarek i druku 3D. Omówiono sposób powstawania wydruku, zalety i wady tej techniki przyrostowej. Przedstawiono techniki szybkiego prototypowania (Rapid Prototyping). Wskazano na obszary zastosowań, a także przedstawiono nowe trendy i kierunek rozwoju technologii 3D i 4D.

**Abstract.** Technology of 3D printing has been used for several years in the technology industry and engineering, but also biomedical. This paper presents the current status and outlook for the future use of three-dimensional printing and 3D printers. In this article are presented, how 3D printing is made, advantages and disadvantages this technique. Also in this paper description technique of rapid prototyping and their application. The last parts shown new trends and new challenges for scientists in 3D or 4D techniques. [Application of 3d printer in industry].

**Słowa kluczowe:** Druk 3D, drukarki trójwymiarowe, technologia druku.

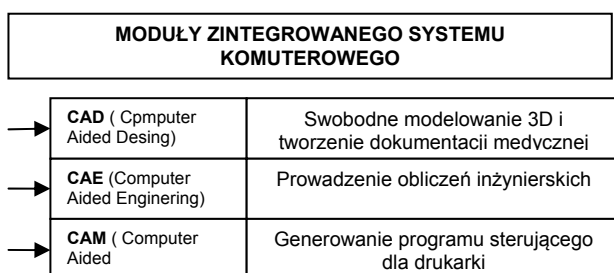
**Keywords:** 3D printing, three-dimensional printer, technology of printing

### Wstęp

Technika druku 3D stosowana jest od kilku lat [1]. W dobie rozwoju technologicznego, druk ten obejmuje szeroki zakres zastosowania i wytwarzania. Początkowo trójwymiarowe procesy drukowania skupiały się w obrębie technik produkcyjnych, wytwarzania narzędzi oraz prototypów. W ostatnim okresie nastąpiło poszerzenie możliwości pozyskanych modeli 3D, nie tylko w branży technicznej i inżynierskiej, ale również biomedycznej [1], [2]. Niniejsza praca przedstawia stan obecny jak i perspektywę dla przyszłych zastosowań druku trójwymiarowego, drukarek 3D, maszyn prototypujących.

### Technika druku 3D

Nowa rewolucja technologiczna w drukowaniu przestrzennym obiektu rzeczywistego bazuje na wirtualnej geometrii 3D, opracowanej w systemie komputerowym. Druk przestrzenny czyli kształtowanie poprzez dodawanie materiału możliwe jest dzięki metodom przyrostowym zapoczątkowanym po II wojnie światowej [3]. Techniki przyrostowe inaczej addytywne, polegają na nakładaniu materiału budulcowego lub łączeniu przygotowanych wcześniej materiałów. Możliwe jest również utwardzanie cieczy (żywicy) lub spiekanie proszku. Otrzymanie fizycznego elementu jest realizowane poprzez sterowane numerycznie nakładanie warstw materiału, na podstawie modelu 3D [1], [4], [5], [6]. Grubość budowanej warstwy jest jednym z parametrów określających dokładność maszyn tworzących realne modele i wynosi zwykle 0,1mm. Bywają również maszyny precyzyjniejsze [3]. Materiałem mogą być polimery, proszki metali, guma, drewno, piasek, włókna węglowe, materiały organiczne. W druku 3D wykorzystywane są różne procesy fizykochemiczne utwardzania lub nanoszenia materiałów. Wydruk obiektu rzeczywistego jest możliwy po zaprogramowaniu go, tj. utworzeniu modelu 3D, w systemie CAM. Realizacja całego projektu możliwa jest dzięki rodzinie programów znanych pod nazwą zintegrowanych systemów komputerowych CAD/CAM/CAX (Rys. 1).



Rys. 1. Moduły zintegrowanego systemu komputerowego [6], [7]

Do zaprojektowania wirtualnej geometrii obiektu – jako bryły bądź zamkniętej powierzchniami objętości, służą programy do modelowania przestrzennego, parametryczne (3D CAD) - może to być program Autodesk Inventor, Pro/Engineer, Solid Works itp. muszą one jednak mieć możliwość eksportu plików z zapisanymi bryłami projektu do jednego z formatów, które odczytuje oprogramowanie drukarki, oraz nieparametrycznego (np. AtoCAD3D). Automatyczny zapis do pliku w formacie STL aproksymuje ściany wirtualnego obiektu do siatki trójkątów, a określone oprogramowanie tworzy model warstwowy, do którego generowana jest ścieżka robocza [3]. Maszyna do drukowania trójwymiarowych obiektów w 3D jest zwykle złożona z drukarki i zespołu oczyszczania modeli. Po dostarczeniu pliku do drukarki następuje wytworzenie prototypu – modelu fizycznego, kolejno oczyszczenie modelu rzeczywistego.

Przegląd metod przyrostowych prezentuje tabela 1. Każda z przedstawionych w tabeli metod ma zalety i wady. Wybór i zastosowanie metody zależy od potrzeb potencjalnego użytkownika i możliwości jej najefektywniejszego wykorzystania. Realizacja prezentowanej współczesnej techniki przyrostowej stała się możliwa dzięki opracowaniu specjalnych materiałów modelowych oraz metod miejscowego osadzania i utwardzania.

### Obszar zastosowania, zalety i wady

Współczesne techniki przyrostowe dotyczą zarówno wspomaganych technicznie działań inżynierskich, w szczególności etapu projektowo-konstrukcyjnego m.in. tworzenia rozwiązań w świecie przemysłu samochodowego, lotniczego, badań kosmicznych, militarnego, odlewniczego, budowniczego, spożywczego, odzieżowego, obuwniczego, meblarskiego, architektonicznego – gdzie rzeczywisty model - makieta jest możliwa do otrzymania w stosunkowo niedługim czasie i staje się wówczas, obok dokumentacji papierowej, narzędziem interaktywnym z klientem. Ponadto technika ta znalazła szerokie zastosowanie w obszarze medycyny- bioinżynierii [6], [8], [9], [10], [11]. Drukarki 3D w medycynie wykorzystuje się do drukowania protez, implantów, biodrukowania z użyciem komórek (regeneracja ran), drukowania tkanek do oceny toksyczności i syntezy leków [2] w farmacji. Biodrukarki, czyli drukarki narządów lub urządzenia inżynierii tkankowej- pozwalają na ograniczenie a nawet wyeliminowanie użycia narządów do przeszczepów, od ludzkich dawców [1], [5], [12]. Przykładowe biodruki to: tkanka naczyń, kości, skóry, tkanka nerwowa, mięśni. Zastosowanie modeli wirtualnych oraz trójwymiarowych modeli struktur anatomicznych, np.

modelu mózgu lub modelu twarzoczaszki, daje możliwość dokładniejszego skonsultowania przypadku klinicznego przed podjęciem właściwego zabiegu chirurgicznego. Przekłada się to na skrócenie czasu przebiegu operacji oraz samego leczenia [1], [13], [14], [15]. Ponadto drukowanie przyrządów laboratoryjnych umożliwia wykonanie operacji niemowlaka a nawet płodu w łonie matki.

Niewątpliwe zalety techniki druku 3D to niski koszt, stosunkowo krótki czas otrzymania modelu i szybkość testowania prototypu, a także uniknięcie strat materiału z jednoczesną możliwością projektowania, w tym również przyspieszenia procesu samego projektowania, uzyskania złożonych i skomplikowanych elementów. Zastosowanie szybkiego prototypowania pozwala na redukcję kosztów produkcji, dzięki możliwości wykrycia błędów w geometrii i wprowadzenia niezbędnych poprawek, co przekłada się na koszty wdrożenia nowego wyrobu do produkcji. Na korzyść przemawia również fakt występowania możliwości wysyłania drogą elektroniczną pliku zawierającego dane druku, co pozwala współpracować ze specjalistami z całego świata. Każda osoba będąca członkiem zespołu może jednocześnie uzyskać własny wydruk produktu. Za konkurencyjnością modeli 3D przemawia fakt, iż drukarki te mogą pracować całą dobę, przez siedem dni w tygodniu.

Wadą wydrukowanego elementu 3D może być dokładność otrzymywanych modeli oraz ich wytrzymałość, a także obecnie jeszcze często dość wysoka cena drukarki. Producenci maszyn prototypujących podają dokładność ich urządzeń na poziomie ok. 0,1mm. Jednakże na końcową dokładność budowanego obiektu mają wpływ parametry procesu technologicznego, szczególnie grubość budowanej warstwy [3], [16], [17], [18].



Rys.2. Etapy metody druku 3D: A-model bryłowy pistoletu, B-szkielet pistoletu, elementy składowe pistoletu, C- zamek pistoletu, elementy magazynka pistoletu, D-model pistoletu wytworzonego metodą 3D, po złożeniu [20]

### Techniki „Rapid”

Techniki przyrostowe umożliwiające otrzymanie stosunkowo szybko modelu, prototypu, elementów w produktach finalnych bądź narzędzi, zaliczane są do technik szybkiego wytwarzania. Postęp w dziedzinie szybkiego prototypowania pod koniec XX wieku związany z poprawą dokładności oraz poszerzeniem gamy materiałów budulcowych pozwolił zaistnieć również tym technikom.

W literaturze spotkamy się z nazwami Rapid Modeling, Rapid Prototyping (RP), Rapid Manufacturing (RM) oraz Rapid Tooling (RT), które prezentują bezpośrednio techniki szybkiego prototypowania. Główne etapy procesu szybkiego prototypowania wyglądają następująco:

3D CAD-przygotowanie wirtualnej geometrii przestrzennej w środowisku systemu do modelowania 3D oraz konwersja do geometrii siatkowej;

3D CAM-dzielenie wirtualnej geometrii na warstwy oraz programowanie ruchów nakładania materiału, lepszycza lub wiązki lasera;

Druk 3D-wytwarzanie rzeczywistego obiektu techniką przyrostową w maszynie sterowanej numerycznie;

Obiekt Fizyczny- wyjęcie rzeczywistego obiektu z maszyny i jego ewentualna obróbka wykańczająca. Rysunek 2 przedstawia etapy metody druku 3D zaczynając od modelu bryłowego po produkt końcowy [20].

Szybkie modelowanie (ang. *Rapid Modeling*) ma zastosowanie w tworzeniu makiet, w działaniach artystycznych i projektowych (w tym makietowanie mebli, sprzętu AGD i RTV, nadwozi pojazdów), architekturze, muzealnictwie i archeologii.

Szybkie prototypownie (RP), wykorzystuje się w testach funkcjonalnych, analizie działania mechanizmów, badaniach naukowych i inżynierskich do analizy, testów i rozwoju produktu. Powstałe w technice Rapid Prototyping modele czasem są mało wytrzymałe, jednakże pozwalają sprawdzić wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi częściami i zespołami, oraz ich ergonomię i funkcjonalność. Proste modele wydrukowane techniką FDM przedstawia rysunek 3 [21].



Rys.3. Proste modele 3D wydrukowane techniką FDM [21]

Szybkie prototypowanie (RM), to produkcja małoseryjna, wytwarzanie pojedynczych produktów części zamiennych również elementów nietypowych, także w dziedzinie medycyny (wkładki douszne, implanty).

Szybkie prototypowanie (RT), to wytwarzanie elementów oprzyrządowania, elastycznych form woskowych wzorców, jak również nietypowych narzędzi [3], [18], [19], [21].

### Perspektywy

Obecna metoda wykorzystująca drukarki 3D jest wprowadzana do masowej produkcji przez wielkie korporacje, przykładowo w zakresie produkcji części lotniczych, trwają prace nad silnikiem odrzutowym przez firmę GE (General Electric). Oczekuje się, że druk 3D zrewolucjonizuje gospodarkę częściami zamiennymi. Otwarte drzwi stoją przed biodrukami, a wiec wydruk tkanek, narzędzi, zindywidualizowanych protez [4], [5]. Jak pokazuje literatura, od roku 2014 nastąpił gwałtowny wzrost publikacji naukowych na temat druku 3D, a tym samym otwierają się nowe obszary nauki, w których znaczenie omawianej technologii może okazać się jeszcze nie zbadane i nie docenione [2], [19]. Przyszłość i zmiany w druku są związane z wprowadzeniem czwartego wymiaru, czyli druk 4D - czwartą zmienną jest czas. Zjawisko zmiany w czasie, drukowanych w 3D obiektów zaobserwował Villar i współpracownicy. Samo zmieniający się druk 3D, czyli 4D,

w 2013 r. zaprezentował Skylar Tibbits (architekt, naukowiec, artysta) na konferencji w Los Angeles. Istotą rewolucyjnej koncepcji druku 4D jest tzw. auto-montaż ( self assembly) polegający na tym, iż przedmiot o określonych właściwościach lub konstrukcji, zmienia swój kształt pod wpływem czynników zewnętrznych jak temperatura, wilgoć, ruch lub elektromagnetyzm. Innymi słowy dąży się do tego, aby materiał (wydrukowane pasmo materiałów), potrafił przybrać inny kształt w zależności od akcji jaka zostanie względem niego podjęta. Ta zaawansowana technologia pozwoli na wydrukowanie obiektów, które następnie będą miały wpływ na swój kształt lub zdolność samoorganizacji w czasie. Nowe propozycje druku 4D to samoskładające się przedmioty codziennego użytku, meble, czy budynki [16].

Tabela 1. Przegląd metod przyrostowych [3]

Skrót nazwy metody przyrostowej	Nazwa metody przyrostowej	Opis metody
SLA	Stereolitografia, ang. <i>Stereolithography</i>	Miejscowa polimeryzacja żywic światłem lasera UV
LOM	Laminated Object Manufacturing	Wytwarzanie obiektów laminowanych z warstw papieru lub folii
SLS	Selective Laser Sintering	Selektywne stapianie laserowe proszków różnych materiałów
SLM	Selective Laser Melting	Selektywne stapianie (przetapianie) laserowe materiałów sproszkowanych
EBM	Electron Beam Melting	Metoda podobna do SLM, lecz do stapiania proszków (metali i stopów metali) wykorzystuje się wiązkę elektronów
FDM	Fused Deposition Modeling	Modelowanie ciekłym tworzywem termoplastycznym, wytłaczanym w postaci cienkiej nitki
JM/JS	Jet Modeling/ Jetting System- systemy strumieniowe	Metoda modelowania strumieniowego/ kropla innego materiału jest wystrzeliana z dyszy i utwardzana
3DP / (TDP)/ 3D Printing	Three- Dimensional Printing	Metoda proszkowego drukowania trójwymiarowego, w którym granulki proszku są łączone przez nanoszone warstwowo lepiszcze-klej
DLP/ FTI	Digital Light Processor/ Film Transfer Imaging	Metoda utwardzania żywic światłem UV rzucanym z cyfrowych przetworników (stosowanych w projektorach multimedialnych)
LENS	Laser Engineering Net Shaping	Wytwarzanie elementów z materiałów sproszkowanych poprzez ich miejscowe nanoszenie i spiekanie laserem

### Podsumowanie

Przełom w dziedzinie druku 3D, którego jesteśmy uczestnikami, pozwala każdego dnia pozyskiwać coraz to nowsze rozwiązania w różnych obszarach naszego życia.

Dynamicznie rozwijająca się technologia 3D ma szansę zrewolucjonizować wytwarzanie wysokiej wartości, złożonych produktów. Przyczynia się do tego zarówno spadek cen samego urządzenia, powstawanie wysoce wyspecjalizowanych drukarek, a także lepsze oprogramowanie i nowe materiały do druku trójwymiarowego, rozwój materiałów kompozytowych przekładających się na poprawę struktury wewnętrznej, a także właściwości mechaniczne i termiczne końcowego

produktu. Potęguje to gwałtownie wzrastającą liczbę badań w technikach przyrostowych. Coraz większy dostęp do tej rewolucyjnej techniki przekonuje, iż jedynym ograniczeniem może stać się wyobraźnia człowieka. Wystarczy wyobrazić sobie jak elementy powstałe dzięki drukarce 4D same przyjmują pożądany kształt.

**Autorzy:** dr n. med. Katarzyna Cichoń, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, adres: Sikorskiego 37, 70-313, Szczecin, E-mail: [Katarzyna.Cichon@zut.edu.pl](mailto:Katarzyna.Cichon@zut.edu.pl); prof. dr hab. inż. Andrzej Brykalski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, adres: Sikorskiego 37, 70-313, Szczecin, E-mail: [Andrzej.Brykalski@zut.edu.pl](mailto:Andrzej.Brykalski@zut.edu.pl)

### LITERATURA

- [1] Shafiee A., Atala A.: Printing technologies for medical applications. *Trends in Molecular Medicine*, March 22(2016), n.3, 254-265
- [2] Goole J., Amighi K.: 3D printing in pharmaceuticals: A new tool for designing customized drug delivery systems. *International Journal of Pharmaceutics*, 499( 2016), 376-394
- [3] Siemiński P., Budzik G.: Techniki przyrostowe. Druk Drukarki 3D. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, (2015)
- [4] Mandrycky C., Wang Z., Kimb K., Kima D-H.: 3D bioprinting for engineering complex tissues. *Biotechnol Adv*, 34(2015), n.4
- [5] Ozbolat I.T., Yu Y.: Bioprinting toward organ fabrication: challenges and future trends. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(2013), n.3, 691-699
- [6] Kordowska M., Choromańska M., Musiał W., Plichta J.: Druk 3D w przemyśle samochodowym. *Autobusy*, 6(2015), 123-128.
- [7] Plichta J., Plichta S.: Komputerowo zintegrowane wytwarzanie. *Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej*, (1999)
- [8] Konopacki J.: Przydatność konsumenckich drukarek 3D w technologii FDM do tworzenia modeli architektonicznych. *Przestrzeń i forma*, 18(2012), 65-80
- [9] Zhang F., Tuck C., Hague R., He Y., Saleh E. Li Y., Sturgess C., Wildman R.: Inkjet printing of polyimide insulators for the 3D printing of dielectric materials for microelectronic applications. *J. Appl. Polym. Sci.* 43361(2016)
- [10] Carlson A., Bowen A.M., Huang Y., Nuzzo R.G., Rogers J.A.: Transfer printing techniques for materials assembly and micro/nanodevice fabrication. *Adv. Mater.*, 24(2012), 5284-5318
- [11] Burleson S., Baker J., Ting Hsia A., Xu Z.: Use of 3D printers to create a patient-specific 3D bolus for external beam therapy. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 16( 2015), n.3, 166-178
- [12] Murphy S., Atala A.: *Nature Biotech*, 32(2014), n.773
- [13] Muzalewska M., Szczodry B., Samolczyk-Wanyura D., Wyleżoł M.: Komputerowe wspomaganie i technologie generatywne w planowaniu zabiegów rekonstrukcji twarzowej części czaszki. *Modelowanie Inżynierskie*, (2014), nr.52, 147-153
- [14] Kromka-Szydek M., Wrona M., Jędrusik-Pawłowska M.: Analiza wytrzymałościowa systemu Unilock 2,4 stosowanego w chirurgii szczękowo - twarzowej. *Modelowanie Inżynierskie*, (2013), nr.47, 111-122
- [15] Richard van Noort: The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 28(2012), 3-12
- [16] [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/druk%203D.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/druk%203D.html): 16.01.2016 godz.13:13
- [17] Wendeker M., Pietrykowski K., Magryta P.: Projektowanie adaptera wtryskiwaczy silnika Wankla przy użyciu metody rapid prototyping. *Postępy nauki i techniki*, (2011), nr.7, 214-218
- [18] Zenou M., Kotler Z.: Printing of metallic 3D micro-objects by laser induced forward transfer. *Optical Society of America*, 24(2016), nr.2, 1431-1446
- [19] Lukic' M., Clarke J., Tuck C., Whittow W., Wells G.: Printability of elastomer latex for additive manufacturing or 3D printing. *J. Appl. Polym. Sci.* (2016), 12931
- [20] Kowalewski J., Całka R.: Użyteczność metody 3DP techniki szybkiego prototypowania w procesie dostosowywania broni małokalibrowej do oddawania strzałów symulowanych. *Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia*, (2010), 53-62
- [21] Dudek P.: FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58(2013), nr.4, 1415-1418