

Technologia druku 3D jako szansa dla środowiska naturalnego

Słowa kluczowe: druk 3D, technologia FDM, filament, tworzywa sztuczne, materiały ekologiczne, recykling

Wprowadzenie

Najważniejszymi spośród technologii druku 3D są: FDM (Fused Deposition Modeling, czyli osadzanie topionego materiału), FFF (Fused Filament Fabrication, czyli wytwarzanie topionego materiału) i SLS (Selective Laser Sintering, czyli selektywne spiekanie laserowe). Technologia FFF jest podgrupą w technologii FDM i ta kategoria została utworzona wyłącznie z powodów legislacyjnych.

Za początek druku 3D uważa się wynalezienie stereolitografii w 1984 r. przez Charlesa Hulla, którego zgłoszenie patentowe zarejestrowano w 1986 r. Technologia stereolitografii pozwoliła na wytwarzanie modeli na podstawie danych cyfrowych. W 1988 r. pojawiła się koncepcja technologii FDM, która stanowi podstawę dla niskobudżetowego druku 3D. Pierwsza drukarka 3D do technologii FDM powstała w 1991 r.

Schemat i opis metody

Proces drukowania 3D polega na roztopianiu materiału (filamentu) w głowicy formowanego do postaci żyłki i nakładanie go warstwa po warstwie aż do wydrukowania zamierzonego obiektu. Grubość filamentu wynosi 1,75 lub 2,85 mm. Jest on wprowadzany do ekstrudera napędzanego elektrycznym silnikiem krokowym, którego wirnik (w ruchu nieciągłym) wykonuje ruch obrotowy o ściśle ustalony kąt. W głowicy drukarki filament jest roztopiany za pomocą grzałki.

Jakość wydruku 3D zależy od wysokości pojedynczej warstwy filamentu oraz od zastosowanego materiału. Im mniejsza wysokość, tym większa rozdzielczość wydruku, czyli gładkość gotowego obiektu. Za pomocą drukarki 3D można wydrukować dowolny obiekt. Jedyne ograniczeniami są wyobrażenia oraz pole robocze, czyli kubatura wewnątrz drukarki 3D, w której powstaje dany przedmiot.

Jedną z najstarszych technologii druku 3D jest technologia SLS, rozwijana od mniej więcej 30 lat. Uznaje się ją za konkurencyjną w stosunku do produkcji elementów technicznych w technologii formowania wtryskowego, toteż coraz więcej firm stosuje ją jako alternatywę przy niskoseryjnej produkcji skomplikowanych geometrycznie detali poliamidowych.

Zasada działania drukarek SLS polega na nakładaniu na stół roboczy warstw sproszkowanego polimeru. Następnie jest on selektywnie przetapiany przez skupioną wiązkę lasera pracującego w paśmie długiej podczerwieni. W dalszej kolejności stół roboczy obniża się i ramię – zaopatrzone w wałek lub ostrze – nanosi kolejną warstwę proszku. Cały proces odbywa się w atmosferze azotu, aby nie doszło do spalenia materiału. Technologia SLS ma duży potencjał produkcyjny, ale należy do najtrudniejszych metod wytwarzania przyrostowego.

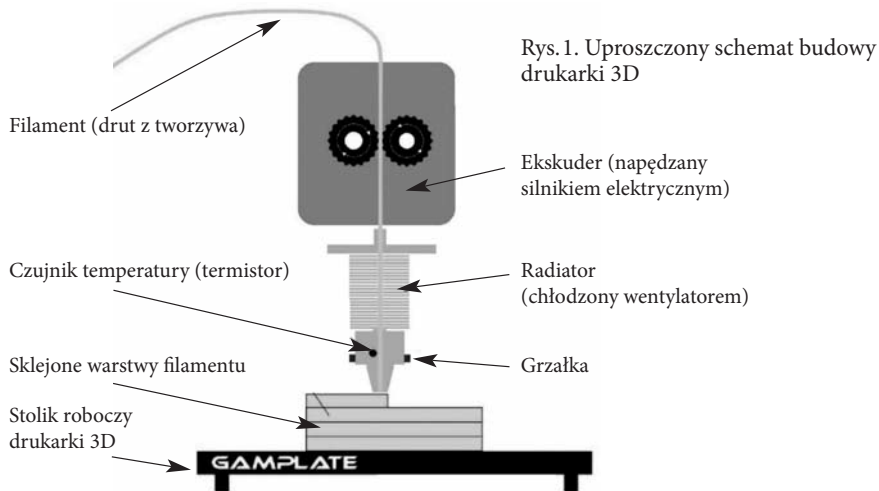


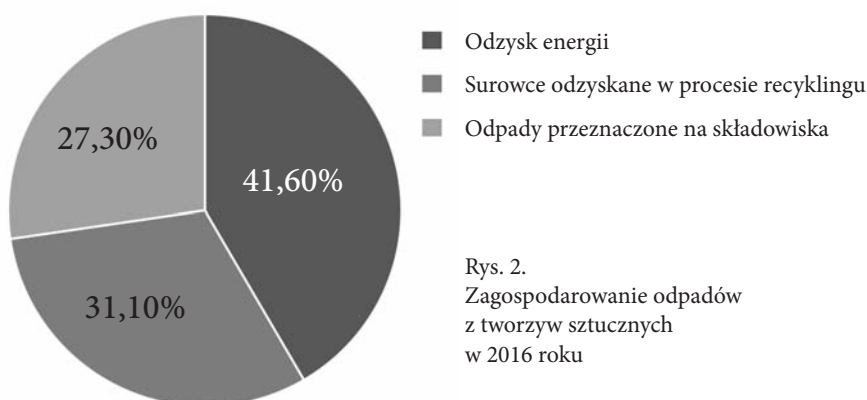
Tabela 1. Porównanie zalet technologii SLS i FDM/FFF

FDM/FFF	SLS
Wysoka udatność budowanych detali	Duża wytrzymałość materiałów używanych do wydruku
Rozpuszczalność materiału podporowego	Stosunkowo niskie koszty eksploatacji i materiału w porównaniu z innymi technologiami druku 3D
Niewielkie straty materiałowe	Bardzo duża swoboda projektowania, powodowana brakiem konieczności stosowania struktur podporowych
Duża prędkość budowania pojedynczych detali	Łatwość usuwania z powstałego detalu resztek niespieczonego proszku
Duża odporność materiałów na wysoką temperaturę	Możliwość ponownego wykorzystania niespieczonego proszku
Duża dokładność wymiarowa tworzonych detali	Duża prędkość budowania detali w porównaniu z innymi technologiami druku 3D
Możliwość pracy w warunkach biurowych	Wysoka trwałość maszyn

Opracowanie własne na podstawie <https://www.3ders.org/articles/20161122-new-landfillament-lets-you-3d-print-with-trash.html>

Warto zastanowić się nad ekologicznym aspektem drukowania 3D. Jego wpływu na środowisko nie można jednoznacznie określić, ponieważ jest to względnie nowa metoda, która jest ciągle na etapie badań oraz udoskonalania i popularyzacji. W artykule zostaną przedstawione możliwości pozytywnego wpływania na środowisko podczas drukowania 3D, ale także okoliczności, które mogą wpływać negatywnie na otoczenie.

Według raportu *PlasticsEurope: 3D printer safety – pollution and their health risks (Tworzywa sztuczne – Fakty 2017)*¹, w którym zawarto dane dotyczące produkcji, zużycia oraz zagospodarowania odpadów tworzyw sztucznych w Europie, światowa produkcja tworzyw wciąż utrzymuje tendencję wzrostową. W 2016 r. wyniosła 335 mln ton. Europa plasuje się na drugim miejscu pod względem wielkości produkcji tworzyw sztucznych, z udziałem 19%. Niechlubne pierwsze miejsce, z udziałem 29%, zajmują Chiny. Równocześnie zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne wzrosło i wyniosło w Europie blisko 50 mln ton. Dane za rok 2016 dotyczące zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych w Europie wskazują, że recykling przewyższył składowanie. W 2016 r. zebrano 27 mln ton odpadów tworzyw, z czego 41,6% wykorzystano do produkcji energii, 31,1% zostało odzyskane w procesach recyklingu, a 27,3% odpadów trafiło na składowiska. Jest to dobrze widoczne na rysunku 2.



Rys. 2.
Zagospodarowanie odpadów
z tworzyw sztucznych
w 2016 roku

Opracowanie własne na podstawie: <http://www.3ders.org/articles/20140806-3d-printing-with-solanyl-filament-made-from-potato-skin.html/>.

Z punktu widzenia dbałości o środowisko nie jest to wynik satysfakcjonujący. Czy druk 3D mógłby wpłynąć na poprawę statystyk?

Do wytwarzania filamentów wykorzystuje się różne materiały w zależności od przeznaczenia gotowego obiektu. Jak wynika zamieszczonego w tabeli 2 zestawienia materiałów najczęściej stosowanych w produkcji filamentów dla drukarek 3D, największą grupę stanowią materiały z tworzyw sztucznych.

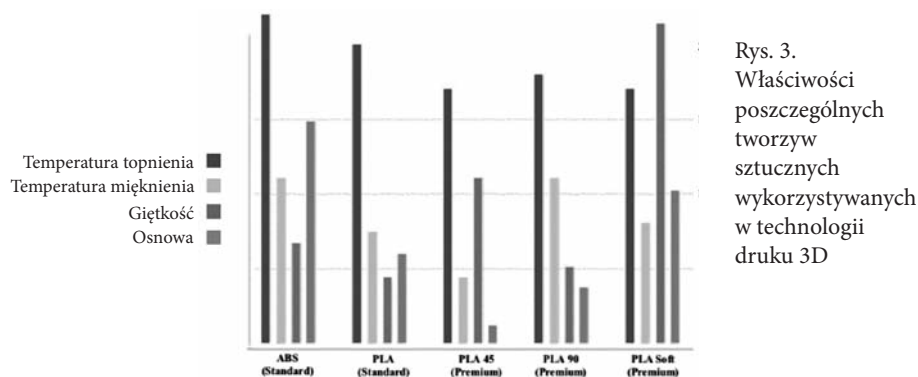
[1] Zob.: <https://box3d.eu/3d-printing-safety-pollution-health/>.

Tabela 2. Materiały najczęściej wykorzystywane w technologii 3D

Rodzaj materiału	Nazwa materiału	Wytrzymałość	Elastyczność	Dokładność
Tworzywa sztuczne	Kopolimer akrylonitrylobutadienowo-styrenowy (ABS)	Wysoka	Średnia	Średnia
	BendLay	Wysoka	Wysoka	Wysoka
	Kopoliester XT polimeru Amphora 3D	Wysoka	Średnia	Wysoka
	Nylon termoplastyczny	Wysoka	Średnia	Brak informacji
	Poliwęglan (PC)	Wysoka	Niska	Brak informacji
	Polilaktyd (PLA)	Średnia	Niska	Wysoka
	Poli(alkohol winylowy) (PVAL)	Brak informacji	Brak informacji	Brak informacji
Metal	Kobalt-chrom	Wysoka	Brak informacji	Brak informacji
	Stal nierdzewna	Wysoka	Niska	Średnia
	Srebro	Wysoka	Średnia	Średnia
Żywica	Żywica	Średnia	Brak informacji	Średnia
	Żywica Spot-GP	Średnia	Brak informacji	Brak informacji
	Żywica Spot-HT	Wysoka	Brak informacji	Brak informacji
	Żywica o wysokiej jakości	Wysoka	Średnia	Wysoka
	Żywica transparentna	Brak informacji	Brak informacji	Średnia
Szkło	TGlase	Wysoka	Niska	Brak informacji
Gumo-podobny	Ninja Flex	Wysoka	Wysoka	Wysoka
Drewno-podobny	LayWood	Średnia	Średnia	Brak informacji
Inne	Ceramika	Niska	Niska	Niska
	Wosk	Niska	Brak informacji	Wysoka
	Czekolada	Niska	Niska	Brak informacji
	Piaskowcopodobny (LayBrick)	Średnia	Niska	Brak informacji

Na podstawie:

<https://www.3dfuel.com/shop/landfillament-garbage-filament/>



Na podstawie: <https://3dphoenix.pl/materialy/>

Najwyższą temperaturę topnienia, powyżej 200°C, wykazuje ABS standard, najmniejszą – poniżej 50°C – PLA Standard. Jeśli chodzi o temperaturę mięknięcia, nie ma aż tak drastycznej różnicy, bo wynosi ona od ok. 45°C dla PLA Premium do 110°C dla ABS Standard. Giętkość jest największa dla Premium PLA Soft, a najmniejsza dla PLA Standard. Najwyższy efekt osnowy obserwowano dla ABS Standard, najniższy zaś dla PLA 45 Premium.

Filamenty z materiałów ekologicznych wykorzystywane w technologii druku 3D

Do ekologicznych materiałów, z których wykonywane są filamenty, można zaliczyć: polilaktyd, czyli poli(kwas mlekowy) PLA, Wound Up, B-Pet, Buzzed, serię Enviro amerykańskiej firmy 3D Printlife, BioPETG, Entwined, filamenty produkowane z alg, Solanyl.

Polilaktyd, czyli poli(kwas mlekowy), w skrócie PLA, to biodegradowalny termoplastyczny polimer wytwarzany z surowców naturalnych. Do jego produkcji najczęściej są wykorzystywane kukurydza lub buraki cukrowe. W celu wyprodukowania 1 kg PLA potrzeba ok. 2,5 kg ziarna kukurydzy, przy czym ilość ta zależy od zawartości skrobi w ziarnach oraz od wydajności każdego z etapów procesu produkcji polimeru. Na szybkość biodegradacji PLA wpływa stopień jego krystaliczności. Do PLA można dodawać różnego rodzaju napełniacze lub włókna. Poprzez zastosowanie mieszanki z polisacharydami, jak np. ze skrobią, obniża się cenę, a przede wszystkim skraca czas rozkładu biologicznego. Z kolei celuloza w postaci włókien zwiększa sztywność i odporność na temperaturę. PLA ma doskonałe właściwości organoleptyczne. W technologii drukowania 3D materiał ten jest doceniany ze względu na dużą twardość i wytrzymałość oraz łatwość stosowania. Ostatnia cecha jest ważna dla osób, które dopiero uczą się tworzenia obiektów za pomocą drukarek 3D.

Można drukować z jego użyciem przedmioty z dużymi nawisami oraz pod różnym kątem, a ponadto dostępna jest szeroka gama kolorów. Szczególnie jest on rekomendowany dla:

- prototypowania, gdyż pozwala na bardzo dobre odwzorowanie detali budowanych elementów;
- sztuki, z uwagi na to, że ma błyszczącą powierzchnię, którą można malować;
- nauki i edukacji, ponieważ jest bezpieczny w użyciu, wymaga stosunkowo niskiej temperatury druku i zwykłego stołu roboczego.

W 2010 r. na świecie zużyto 120 000 ton PLA i wielkość ta z roku na rok rośnie. Przy dużych zaletach PLA istnieją jednak również wady, które hamują dynamiczny wzrost stosowania tego materiału. Największymi wadami PLA w porównaniu z tworzywami sztucznymi są: koszt jego produkcji, problem z formowaniem oraz niska temperatura odkształcania, wynosząca tylko 50°C. Poprawę właściwości użytkowych uzyskano w Tajwańskim Przemysłowym Instytucie Technologii, w którym po 8 latach pracy opracowano nietoksyczny środek zarodkujący, przyspieszający krystalizację PLA. Krystalizacja znacząco podnosi odporność tworzywa na temperaturę, co poszerza zakres jego zastosowania.

Wound Up to kompozyt PLA i ziaren kawy pochodzących z recyklingu. Ma charakterystyczną brązową barwę z widocznymi fragmentami zmielonych ziaren. Filament ten występuje w dwóch rozmiarach i jest nawijany na specjalne, również biodegradowalne szpule. Można nim drukować przy typowych ustawieniach drukarki korzystającej z PLA. Koszt filamentu jest bardzo wysoki, gdyż wynosi 49 dolarów za kilogram, czyli ok 180 zł, więc nie znajdzie on zastosowania w komercyjnej produkcji na dużą skalę. Może natomiast znaleźć przeznaczenie w twórczości artystów zajmujących się szeroko pojętym designem.

B-Pet to filament z przetworzonych butelek z tworzyw sztucznych. Nie do końca jest to ekologiczny materiał, ponieważ powstał na bazie poli(tereftalanu etylenu), zwanego potocznie PET, lecz jego negatywny wpływ na środowisko jest o wiele mniejszy niż innych tworzyw. Do uzyskania B-Pet używa się butelek wykonanych z poli(tereftalanu etylenu) poddanych recyklingowi. Co więcej, jest to materiał znakomicie nadający się do ponownego użycia bez straty pierwotnych właściwości. Z PET – poza tym, że jest szeroko stosowany do produkcji butelek – wyrabia się także tkaniny. Materiał ten cechuje duża lekkość i wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne, a także niska toksyczność; z łatwością poddaje się recyklingowi. Nowy filament, opracowany przez argentyński start-up, jest dostępny w nieco okrojonej gamie kolorystycznej: bezbarwny, biały, czarny i niebieski, co może wpływać na ograniczenie jego używania. Dodatkową wadą jest możliwość wykorzystania B-Pet jako filamentu tylko do technologii FDM/FFF, jednakże w najbliższej przyszłości ma się pojawić również wersja dla technologii SLS. Planuje się też skonstruowanie odpowiedniej, autorskiej drukarki do tegoż filamentu.

Buzzed jest filamentem wytwarzanym z produktów ubocznych powstających w czasie warzenia piwa, nazywanych młótem. Młóto jest materiałem niezwykle wartościowym, stosowanym przede wszystkim do produkcji paszy dla bydła, ale w wielu browarach jest traktowane jako odpad i wyrzucane. Ten filament jest produkowany na bazie PLA, dzięki czemu nadaje się do wszystkich drukarek, które mogą tworzyć obiekty z wymienionego materiału.



Rys. 4. Butelki, filament oraz granulat z tworzywa PET

Źródło: <http://replicatore.it/wp-content/uploads/2015/09/pet-to-per-660x330.jpeg>

W serii Enviro amerykańskiej firmy 3D Printlife znajduje się specjalnie opracowane tworzywo, które jest w pełni biodegradowalne (zob. rys. 5). Materiały dają żywe kolory, sprawdzają się równie dobrze jak ich tradycyjne odpowiedniki, czyli kopolimer akrylonitrylo-butadienowo-styrenowy, w skrócie ABS. Ten filament jest zaprojektowany tak, aby został spożyty przez bakterie zaraz po znalezieniu się na składowisku odpadów. Wydzielający się podczas procesu biogaz składowiskowy może posłużyć np. do pozyskiwania energii elektrycznej lub kompostu. To wszystko jest możliwe bez zmiany właściwości materiału podstawowego. Dodatkową korzyścią dla ekosystemu wynikającą z użycia tego typu materiału jest to, że producent obiecuje przekazać część zysku (1 dolara) ze sprzedaży każdej szpulki filamentu na zasadzenie drzewa w ramach akcji odnawiania lasów w Stanach Zjednoczonych. Cena filamentu jest jednak bardzo wysoka: od 50 do 80 dolarów za szpulę, więc raczej nie znajdzie on powszechnego zastosowania. Niemniej może być używany przez firmy, których klientom zależy na ochronie środowiska i są gotowi przeznaczyć na to większe fundusze.

BioPETG to filament opracowany przez firmę 3D Printlife. Jest to ekologiczna wersja PETG – materiału łączącego właściwości ABS z łatwością druku 3D z użyciem PLA. Podczas druku 3D wykazuje on kilka istotnych cech, a mianowicie:



Rys. 5.

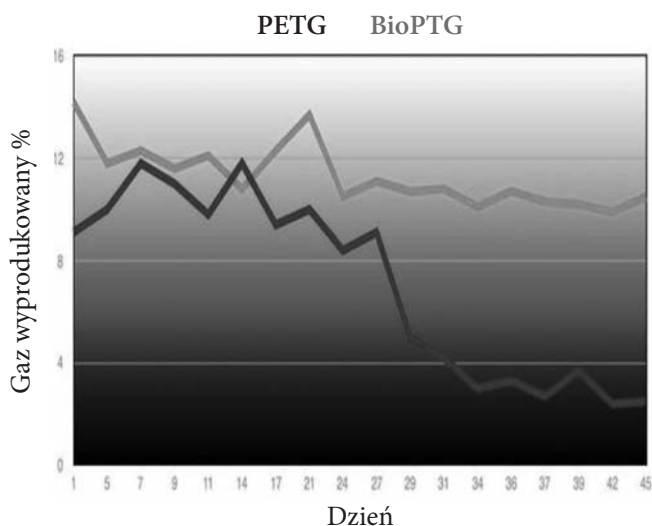
Filament Enviro firmy 3D Printlife

Źródło: <http://fablabhub.org/wp-content/uploads/2016/02/enviro-abs-3d-printing-filament-from-3d-printlife-e1466636301319.jpg>

- wysoką wytrzymałość i twardość przy jednoczesnej dużej odporności na skurcz materiału,
- wysoką odporność chemiczną.

Obecnie ten polimer jest jednym z najczęściej używanych na świecie tworzyw sztucznych, znanym z prostego procesu recyklingu. Nie ulega on jednak samoistnemu rozpadowi, ale też i nie zanieczyszcza środowiska. Łańcuchy polimerowe nowego filamentu zostały wzbogacone biologicznie aktywną substancją, która nie wpływa na jego właściwości mechaniczne. Dzięki temu zużyty materiał – po umieszczeniu go w środowisku bakteryjnym – ulegnie biodegradacji. Ten filament rozpocznie proces rozkładu dopiero w ściśle określonych warunkach, panujących np. na wysypisku śmieci. Przy prawidłowym przechowywaniu nie ma obaw o przedwczesną degradację materiału.

W celu zbadania stopnia biodegradowalności filamentu BioPETG przeprowadzono testy w środowisku bakteryjnym z udziałem dwóch próbek: BioPETG oraz klasycznego PETG. Biorąc pod uwagę ilość wydzielanego dwutlenku węgla zaobserwowano, że w przypadku nowego materiału proces rozkładu jest intensywniejszy w całym okresie trwania, co przedstawia rys. 6.



Rys. 6.
Porównanie ilości
wyprodukowanego gazu
przez PETG i BioPETG
na przestrzeni czasu

Źródło:
<http://centrumdruku3d.pl/wp-content/uploads/2017/03/BioPETG7.jpg>

Entwined to filament produkowany z konopi przez firmę 3Dom. Materiał charakteryzuje się kilkoma unikalnymi właściwościami:

- jest naturalnie brązowy,
- nie zawiera żadnych barwników,
- w druku zachowuje się jak zwykłe PLA,
- nie wymaga stosowania podgrzewanego stolika,
- jest kompatybilny ze wszystkimi drukarkami 3D przystosowanymi do PLA.

Dodatkowym działaniem ze strony firmy w kierunku dbania o ekosystem jest nawijanie zarówno tego materiału, jak i wszystkich innych z linii eco-friendly na eko-szpule, wykonane w 100% z materiałów biodegradowalnych. Ponadto pro-

dukacja Entwined jest bardziej przyjazna środowisku niż produkcja klasycznego PLA, ponieważ kukurydza, na bazie której produkowany jest PLA, wymaga stosowania w uprawie nawozów sztucznych, pestycydów i herbicydów. Konopie są o wiele odporniejszymi roślinami i nie wymagają stosowania dodatkowych środków chemicznych.



Rys. 7. Fragment filamentu Entwind w powiększeniu ukazującym jego strukturę

Źródło: https://www.3dfuel.com/wcontent/uploads/2016/01/entwined_particle_original_1024x576.jpg

Filamenty wykonane z alg są dostępne w dwóch klasycznych rozmiarach: 1,75 i 2,85 mm. Wydruki z nich zrobione mają strukturę podobną w dotyku do kości lub piaskowca. Filamenty z alg są wytwarzane z biodegradowalnego PLA połączonego z algami zbieranymi z obszarów, gdzie ich nadmiar szkodzi środowisku. Wykwity alg świadczą o nieprawidłowościach panujących w naturalnym środowisku. Na ich występowanie ma zazwyczaj wpływ stosowanie nawozów i innych substancji chemicznych dostających się do zbiorników wodnych. Filamenty z alg wymagają niższej temperatury obróbki od tych z PLA, potrzebują mniej energii do wydajnego wydruku i są o wiele bardziej wytrzymałe od innych. Wydaje się, że ich produkcja pomoże zachować równowagę w ekosystemie i będzie w stanie zapewnić wytrzymalsze materiały bez konieczności rekultywacji ziemi po składowiskach.

Solanyl – nazwa pochodzi od łacińskiej nazwy *Solanum tuberosum* – to filament wyprodukowany na bazie PLA oraz skórek ziemniaczanych i innych resztek tego warzywa. Najpierw otrzymuje się granulaty, który następnie jest przetwarzany w filament do drukarek 3D. Ponadto ten sam granulaty może być wykorzystywany do wtryskarek. Materiał ten jest bardzo podatny na zawilgocenie, ale też i bardzo kruchy. Wymaga również więcej czasu na zastygnięcie po wyekstrudowaniu go przez głowicę, więc drukowanie nim odbywa się wiele wolniej, niż innymi filamentami. Po wydrukowaniu znacząco różni się on od ABS/PLA, gdyż przypomina materiał gumopodobny – jest bardziej błyszczący, gładki i ma bardzo ładną fakturę. Niemniej pozostaje on nadal w fazie eksperymentalnej i raczej nie znajdzie szybko zastosowania w produkcji. Jedynym obszarem, w którym mógłby znaleźć zastosowanie jest sztuka, gdyż łatwość jego kolorystycznego różnicowania może decydować o wyborze.



Rys. 8. Filament Solanyl

Źródło: <http://www.3ders.org/images2014/potato-skin-3d-printing-1.jpg>

Landfilament jest produkowany z recyklinowanych odpadów. Do jego wytworzenia używa się komunalnych odpadów stałych, w skrócie MSW (z języka angielskiego: *municipal solid waste*). Odpady te poddaje się pirolizie, w wyniku której otrzymywany jest produkt uboczny mogący posłużyć do wytworzenia filamentu. W celu uczynienia MSW materiałem zdatnym do użycia w technologii druku 3D najpierw z mieszanki usuwa się wszystkie metale. Następnie tak oczyszczone MSW jest poddawane procesowi pirolizy. Obejmuje on termochemiczny rozkład materiału organicznego bez obecności tlenu w wysokiej temperaturze, w wyniku czego powstaje produkt będący dobrym materiałem na filament. Gazowe produkty uboczne pirolizy są również bardzo cenne i wykorzystywane zostają do innych celów. Przykłady zastosowań Landfilamentu zamieszczono na rys. 9.

Jak wynika z powyższego krótkiego przeglądu materiałów używanych jako filamenty do drukowania w technologii 3D, możliwości ich wykorzystania są duże. Z pewnością wpłynie to korzystnie na rozwój technologii drukowania 3D.



Rys. 9. Materiał Landfilament i przykładowe przedmioty z niego wykonane

Źródło: <https://www.3ders.org/images2016/landfillament-lets-you-3d-print-with-trash4.jpg>

Druk 3D w motoryzacji i logistyce proekologicznej

Kolejną szansą dla środowiska jest projektowanie i tworzenie ekologicznych samochodów za pomocą druku 3D. W 2016 roku stworzony został – w ramach „Project M” firm Shell i Geo Technology przy współpracy z Gordonem Murrayem – Shell Concept Car. W porównaniu z typowym samochodem miejskim jego zużycie energii jest o 34% mniejsze, z małymi zaś samochodami rodzinnymi nawet o 50%. Druk 3D umożliwił uzyskanie bardzo lekkich części składowych samochodu – cały samochód waży tylko 550 kg. Karoseria została w dużej mierze wykonana z włókna węglowego, które można poddawać recydingowi. Jak podkreślają twórcy samochodu, ma on być inspiracją dla innych projektantów do tworzenia ekologicznych samochodów przyszłości.

Kolejny pomysł wykorzystania technologii druku 3D, wynikający z dbałości o środowisko naturalne, ale również z dążenia do zmniejszenia kosztów oraz zwiększenia mobilności, zrodził się w amerykańskich siłach zbrojnych US Marines. PET stanowi główny odpad generowany przez stacjonujące wojska. Armia musi się oczywiście zająć usuwaniem śmieci mających negatywny wpływ na ekosystem. To z kolei generuje dodatkowe koszty oraz zabiera cenny czas żołnierzy. Opracowano więc koncepcję zbierania odpadów PET, przetwarzania ich na miejscu w specjalnym kontenerze na filament do drukarek 3D oraz następnie tworzenia z filamentu części zamiennych do żołnierskiego oprzyrządowania. Ten pomysł, oprócz tego, że przynosi oczywiste korzyści dla środowiska, zwiększa również mobilność armii, która nie musi ze sobą przewozić ogromnej liczby części zamiennych, ale może je produkować na miejscu, w miarę zapotrzebowania. Dodatkowym atutem tej koncepcji jest znaczne ograniczenie potrzeby transportowania części zamiennych.

Program X-FAB jest na razie w fazie testów, zarówno na morzu, jak i na lądzie, ale jego wpływ na armię oraz środowisko różnych krajów może mieć bardzo duże znaczenie w przyszłości.



Rys. 10. Prototyp mobilnego warsztatu, w którym wykorzystuje się technologię druku 3D

Źródło: <https://static1.squarespace.com/static/509c281de4b0cd18c7335aab/t/59959f151e5b6c2acefdd90/1502977817240/?format=1500w>

Wątpliwości związane z drukiem 3D

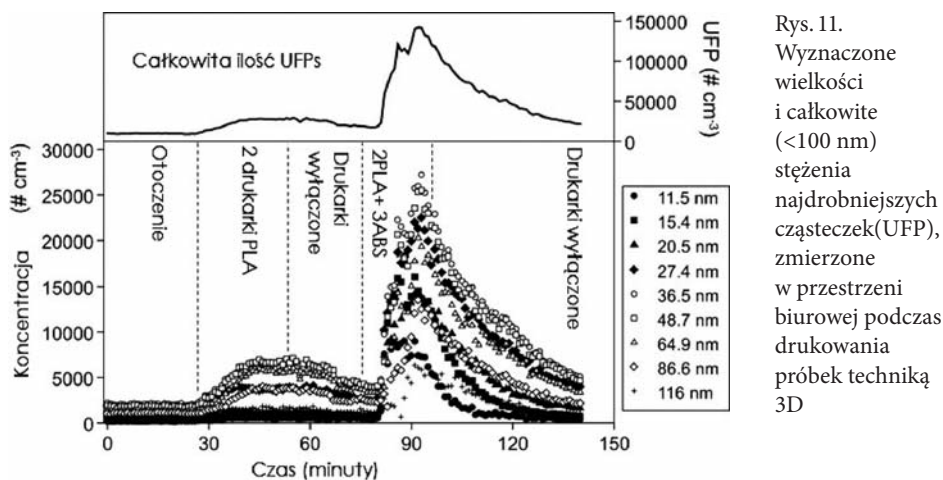
Jak można zauważyć na podstawie przedstawionej analizy, druk 3D i wykorzystywane w nim materiały stanowią wielką szansę dla ochrony środowiska. Istnieje wiele proekologicznych rozwiązań, które razem mogą mieć zbawienny wpływ na ochronę Ziemi, jeśli tylko znajdą zastosowanie w życiu codziennym. Na razie są to dość drogie technologie, stanowiące nowinki techniczne, jednak z biegiem lat z pewnością będą powszechnie wykorzystywane.

Jak każda technologia, również druk 3D ma zarówno zalety, jak i wady. Należy więc przedstawić również negatywne aspekty wykorzystania druku 3D.

Głównym argumentem sceptyków jest to, że przedmioty wyprodukowane za pomocą druku 3D to głównie tworzywa sztuczne, więc jest to kolejna technologia, która powoduje zaśmiecanie środowiska. Jak sobie z tym poradzić? Najlepszym rozwiązaniem w tej sytuacji jest rozpowszechnienie wśród producentów stosujących technologię druku 3D ekologicznych – wymienionych w tym artykule – filamentów oraz udoskonalenie ich właściwości. Badania nad takimi materiałami mogłyby być finansowane z dotacji państwowych przeznaczonych na ochronę środowiska. Kolejnym rozwiązaniem powinno być zainwestowanie w lepsze przetwarzanie tworzyw sztucznych i udoskonalenie recyklingu. Nakład finansowy szybko zwróci się w postaci surowców i energii uzyskanych dzięki procesom recyklingu.

Kolejną kwestią budzącą zastrzeżenia i niepokój jest generowanie szkodliwych oparów podczas procesu drukowania. Badania przeprowadzone przez fińskie uniwersytety w Aalto i Helsińskach, oraz Centrum Badawcze Niebezpieczeństwa w Helsińskach potwierdziły wcześniejsze wyniki uzyskane w tym zakresie. Zauważono, że podczas topienia się tworzyw sztucznych w trakcie drukowania w technologii FDM emitowane są duże ilości ultradrobnych cząsteczek UFP. Badany poziom emisji wyniósł ok. 20 miliardów cząsteczek na minutę podczas drukowania z użyciem PLA w najniższej temperaturze i 200 miliardów cząsteczek na minutę przy drukowaniu filamentami z innych materiałów, takich jak ABS czy nylon. Jest to porównywalne ze szkodliwością generowaną przez dym papierosowy.

Stałe wystawienie na emisję UFP może skutkować chorobami układu oddechowego i wieloma innymi schorzeniami z uwagi na mnogość filamentów na rynku. Często również tańsze zamienniki pochodzą spoza UE, gdzie nie obowiązują restrykcyjne normy. Dokładne określenie ich szkodliwości jest trudne. Najgroźniejsze w składzie materiałów są barwniki, których receptura często jest oparta na toksycznych substancjach. Jednak istnieje dość proste rozwiązanie tego problemu i rozwianie wątpliwości sceptyków. Można dopuszczać do użytkowania jedynie filamenti certyfikowane przez UE, które podlegają bardzo restrykcyjnym normom, oraz zachowywać procedury bezpieczeństwa podczas drukowania. W przestrzeni przemysłowej obowiązkiem pracodawcy jest zapewnienie pracownikom bezpiecznych warunków pracy, np. za pomocą odpowiedniej odzieży ochronnej i innych środków bezpieczeństwa, w tym właściwej wentylacji pomieszczeń. Stopień trudności wprowadzania tych procedur w życie jest identyczny, jak w wypadku stosowania odpowiednich zabezpieczeń przy pracy z innymi metodami wytwarzania.



Rys. 11. Wyznaczone wielkości i całkowite i całkowite (<100 nm) stężenia najdrobniejszych cząstek(UFP), zmierzone w przestrzeni biurowej podczas drukowania próbek techniką 3D

Opracowanie własne na podstawie ilustracji, źródło: <https://box3d.eu/wp-content/uploads/2017/11/Size-and-UFP-concentrations-in-office-during-printing.jpg>

Warto się teraz zastanowić nad niezwykle ważnym czynnikiem, jakim jest ilość pobieranej mocy podczas pracy urządzenia. Jest to jedno z kryteriów decydujących o ewentualnym użyciu maszyny oraz jego wpływie na środowisko. Im więcej energii pobiera, tym więcej trzeba jej wyprodukować i dostarczyć. Na polskim rynku zdecydowaną większość energii uzyskuje się w sposób nieprzyjazny dla środowiska.

Dostępne wyniki badań na temat zużycia energii przez drukarki 3D pochodzą jedynie z eksperymentów przeprowadzonych na drukarkach domowych, co nie jest do końca miarodajne, jeśli chodzi o przemysłowe ich wykorzystanie, ale może dać pewien pogląd na to zagadnienie. Wszystko zależy od mocy zasilacza i w wypadku drukarki Prime'a, użytej w doświadczeniu, jest to 221 W. Drukarka nie pracuje cały czas na pełnej mocy, gdyż różne jej podzespoły pobierają w różnym czasie różną moc. Najwięcej pobiera podgrzewany stół, najmniej zaś wentylatory oraz wyposażenie elektroniczne. Podczas eksperymentu wykonano dwa takie same wydruki: jeden przy użyciu podgrzanego stołu, drugi bez. W obydwu wypadkach maszyna pracowała 2 h i 45 min. Zużycie prądu w pierwszym wypadku – stołu podgrzewanego – wyniosło 0,218 kWh, w drugim – pracy na zimnym stole – 0,088 kWh. Biorąc pod uwagę średnie koszty energii elektrycznej w budynkach mieszkalnych w Polsce, wydruki kosztowały odpowiednio 15 i 6 groszy. Trudno określić, jak te koszty kształtowałyby się w warunkach dużych hal produkcyjnych, gdzie zasilacze maszyn miałyby o wiele większą moc.

Należy przypuszczać, że również koszty energii elektrycznej nie byłyby wysokie. Porównując koszt zużycia energii elektrycznej przez drukarki 3D z kosztem jej zużycia przez technologię wiodącą prym na rynku przetwórstwa tworzyw: formowanie wtryskowe. Bardzo trudno jest porównywać te dwie technologie, ponieważ skala ich stosowania jest zupełnie inna. Można co najwyżej przybliżyć te wartości i określić je dla konkretnych przypadków. Dla drukowania 3D była roz-

patrywana pojedyncza drukarka niewielkich rozmiarów pracująca w warunkach domowych. Takie informacje nie są dostępne dla drukarek przemysłowych. Jedyne dostępne parametry dotyczą zasilania elektrycznego: 200–240 VAC (napięcie zmienne), natężenie 2–7 A, częstotliwość 50–60 Hz.

Dla wtryskarki przemysłowej kalkulację przybliżonego zużycia prądu można przewidzieć. Większość wtryskarek w zakładach pracy jest aktywna dłużej niż 5 lat. Dla takich urządzeń – przy uwzględnieniu średniej siły zwarcia, czyli średniej wszystkich pracujących drukarek, wynoszącej 6,5 tys. kN – moc wynosi ok. 45 kW. Z szacunkowych danych opisujących zapotrzebowanie na prąd niemieckich firm zajmujących się przetwórstwem tworzyw sztucznych można dowiedzieć się, że w Niemczech pracuje obecnie ok. 50 tys. maszyn o sile zwarcia 2–54 tys. kN, rocznie przez ok. 5,5 tys. h. Przyjmując średnią siłę zwarcia 6,5 tys. kN i moc 45 kW uzyskujemy roczne zużycie energii elektrycznej na poziomie 12,5 tys. GWh mocy przyłączonej 2250 MW. Z tych danych wynika, że średniej wielkości przedsiębiorstwo musiałoby zapłacić za energię elektryczną nawet kilkaset tysięcy euro. Zużycie energii, a co za tym idzie jej koszty można zredukować, wymieniając wtryskarki na nowsze modele, lecz jest to bardzo kosztowne przedsięwzięcie.

Technologia druku 3D bardzo różni się od metody wtryskiwania, przede wszystkim czasem wykonania obiektu. W przypadku wtryskiwania jest to zaledwie od kilkunastu do kilkudziesięciu sekund, podczas gdy ta sama część na drukarce 3D powstaje nawet w kilkadziesiąt minut. Największą różnicą między tymi metodami jest to, że na drukarce 3D można wydrukować jednorazowo dowolny kształt, bez konieczności przeobrażenia maszyny i projektowania nowych części do niej, jak ma to miejsce we wtryskarce-matrycy. Obie metody znacznie różnią się i przeznaczone są do innych celów. Zarówno wtryskarki, jak i druk 3D mogą mieć lepszy wpływ na środowisko przy zastosowaniu ekologicznych materiałów oraz nowszych technologii ograniczających zużycie energii elektrycznej.

Podsumowanie

Podsumowując wszystkie przytoczone argumenty i rozpatrzone przypadki, z całą pewnością można stwierdzić, że druk 3D stanowi wielką szansę dla współczesnego świata. Stosując proekologiczne rozwiązania, można znacząco przyczynić się do redukcji odpadów i zanieczyszczeń środowiska naturalnego. Wiele firm pracuje nad nowymi materiałami na filament, które jeszcze do niedawna można było tylko przeznaczać na wysypiska śmieci. Pojawia się tu wielka szansa na oczyszczenie planety z dotychczas niezagospodarowanych odpadów, przetworzenie ich na nowe przedmioty, do których wykonania nie trzeba będzie produkować dodatkowego materiału. Jeśli nastąpi znaczny rozwój tej technologii, będzie istniała możliwość stworzenia zamkniętego cyklu obejmującego: wytworzenie filamentu, wydrukowanie przedmiotu, który po zużyciu będzie poddany recyklingowi, ponowne wytworzenie filamentu. Ponadto przedstawione w pracy trudności przemawiające przeciw tej technologii da się przecież rozwiązać, wystarczy tylko opracować określone procedury bezpieczeństwa pracy z technologią druku 3D oraz koncepcję ponownego użycia niepotrzebnych przedmiotów.

Potencjał drzemiący w tej technologii, możliwy jest do wykorzystania w masowej produkcji. Przy tym łatwo ograniczyć emisję szkodliwych substancji oraz ponownie wykorzystać materiały zanieczyszczające środowisko.

Niestety, większość z rozważanych tutaj aspektów pozostaje ciągle w fazie badań. Głównym problemem są znaczne fundusze, które musiałyby zostać przeznaczone na tego typu badania. Technologia ta jest obecnie jeszcze zbyt kosztowna, aby już mogła być wprowadzona do produkcji seryjnej. Należy jednak wierzyć, że wraz z postępem nauki technologia druku 3D będzie zyskiwała na popularności i powstanie coraz więcej rozwiązań, które ułatwią jej wdrożenie do fabryk oraz gospodarstw domowych, tak aby ograniczyć dziś wszechobecnie panujący konsumpcjonizm. Pozwoli to znacząco zredukować emisję szkodliwych substancji do środowiska i wykorzystać ponownie materiały uznawane dotychczasowo za odpady.

Bibliografia

1. <http://www.3ders.org/articles/20140806-3d-printing-with-solanyl-filament-made-from-potato-skin.html>.
2. <https://www.3ders.org/articles/20161122-new-landfillament-lets-you-3d-print-with-trash.html>.
3. <https://www.3dfuel.com/shop/buzzed-beer-filament/>.
4. <https://www.3dfuel.com/shop/landfillament-garbage-filament>.
5. <https://www.3dfuel.com/shop/wound-coffee-filled-filament/>.
6. <https://3dphoenix.pl/materialy/>.
7. <https://www.3dprintlife.com/http/www3dprintlifecom/filaments/enviro-abs>.
8. <http://blog.blackpoint.pl/drukowanie-3d-ekologia/>.
9. <https://box3d.eu/3d-printing-safety-pollution-health/>.
10. <https://bpetfilament.com/>.
11. <http://centrumdruku3d.pl/3d-printlife-roz poczyna-kickstarterowa-kampanie-ekologicznego-filamentu-biopetg/>.
12. <http://centrumdruku3d.pl/algix-3d-alternatywa-abs/>.
13. <http://centrumdruku3d.pl/buzzed-ekologiczny-filament-produkowany-z-piwa/>.
14. <http://centrumdruku3d.pl/czy-druk-3d-jest-ekologiczny/>.
15. <http://centrumdruku3d.pl/druk-3d-szansa-ekologii/>.
16. <http://centrumdruku3d.pl/entwined-nowy-wytwarzany-z-konopi-filament-od-3dom/>.
17. <https://www.centrumdruku3d.xyz/arttykul/us-marines-zmobilizuja-druk-3d-z-x-fab/184>
18. <http://centrumdruku3d.pl/wound-up-ekologiczny-filament-z-ziaren-kawy/>.
19. <https://www.fabbaloo.com/blog/2017/8/17/the-us-marine-corps-x-fab-mobile-3d-printshop>
20. <https://www.forbes.pl/technologie/shell-concept-car-ekologiczne-auto-drukowane-w-3d/ss75b61>.
21. <https://www.gamplate.pl/co-to-jest-druk-3d/>.
22. <http://hexagongroup.pl/ekologiczne-drukowanie-3d-na-wyciagniecie-reki/>.
23. <http://www.ichp.pl/polilaktyd-poli-kwas-mlekowy->.
24. <https://www.livescience.com/38323-is-3d-printing-eco-friendly.html>.
25. <http://mojreaprap.pl/viewtopic.php?t=4202>.
26. <https://ninjatek.com/products/filaments/ninjabflex/>.
27. <http://opakowania.com.pl/news/pet-wlasciwosci-zastosowanie-recykling-64346.html>.
29. <https://www.plasticseurope.org/pl/newsroom/aktualnosci/tworzywa-sztuczne-fakty-2017>.

30. <https://printelize.com/pl/MaterialGuide>.
31. <http://swiatdruku3d.pl/czy-drukowanie-3d-jest-ekologiczne/>.
32. <http://swiatoze.pl/drukarka-3d-wykorzystujaca-algi/>.
33. <http://techtutor.pl/drukowanie-3d-wszystko-co-musisz-wiedziec/>.
34. <https://www.tworzywa.pl/wiedzopedia/baza-tworzyw/121,polilaktyd-pla,polimer.html>.
35. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Polilaktyd>.
36. <http://zielonemigdaly.pl/2014/01/czy-drukarki-3d-sa-eko/>.

Abstract

3D printing technology as a chance for the environment

The article describes technologies and materials currently used in additive manufacturing processes. The authors present new concepts of materials that are biodegradable or use recycled substrates. Also presented is the influence of 3D printing on the environment, including potential problem caused by wide adoption of this technology.