

Andrzej MAZURKIEWICZ

## ANALIZA JAKOŚCI WYDRUKU ELEMENTU Z TERMOPLASTU ABS WYKONANEGO W TECHNOLOGII FDM

*W artykule wskazano na potrzebę wiedzy o zależnościach wielu parametrów technologicznych od jakości wytwarzanych elementów na drodze osadzanie topionego materiału - FDM. Zwrócono uwagę na ograniczenia związane z wykorzystaniem termoplastów do technologii FDM. Określono możliwe wystąpienie błędów kształtu wytwarzanego wyrobu przy zastosowaniu profesjonalnej drukarki. Obserwacja mikroskopowa powierzchni materiału wykazała powstałe w strukturze materiału (warstw oraz powierzchni) wady, wynikać one mogą z niedokładności posuwów wykorzystanego urządzenia drukującego, oraz z jakości filamentu. Widok powierzchni w obszarach początku nakładania warstw (zgniatania zmiękzonego ABS) jak też widoczne poszerzenia wymiaru i zmniejszenie grubości warstw mogły wynikać ze zmiennych warunków nakładania warstw, zmiennej prędkość posuwu lub ilości wyciskanego filamentu ABS.*

### WSTĘP

Druk 3D czyli drukowanie przestrzenne jest techniką służącą do szybkiego wytwarzania prototypów (ang. - rapid prototyping). Technologia posiada wiele nazw, najczęściej spotykanymi nazwami są: produkcja addytywna, druk 3D, drukowanie przestrzenne, 3D, technologia addytywna, a także szybkie prototypowanie.

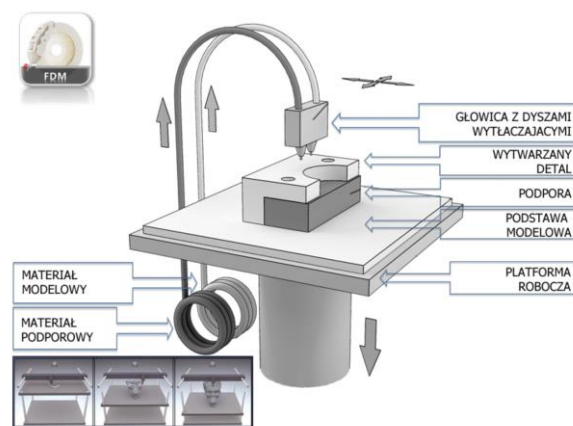
Działanie drukarek 3D opiera się głównie na wykonywaniu kolejno po sobie warstw. Proces technologiczny drukarek 3D opiera się na kładzeniu warstw tworzywa sztucznego jedna na drugą, konstruując kształt danego obiektu. Proces drukowania przestrzennego rozpoczyna się z chwilą projektowania komputerowego detalu czy urządzenia, które chcemy wytworzyć. Stworzony zostaje wówczas model obiektu lub zbiór określonych elementów połączonych ze sobą. Powstanie takiego modelu umożliwia nam wiele programów komputerowych wykorzystujących modelowanie 3D np. Autodesk Inventor, Solid Works, Catia, AutoCad 3D itp. Kolejnym krokiem prowadzącym do wytworzenia danego obiektu jest podzielenie stworzonego wcześniej modelu na warstwy. Jedną z amerykańskich firm, tj. Stratasys opracowała oprogramowanie, które przetwarza pliki z rozszerzeniem .stl [Stereolithography File Format], krojąc w sposób matematyczny i ustawiając odpowiednio w przestrzeni model. W kolejnym kroku obrazy 3D sporządzane są w postaci kodu cyfrowego, który odwzorowuje wiele poziomych warstw. Jeśli dany obiekt nie może zostać wydrukowany bez elementów podtrzymujących, konstrukcja taka jest automatycznie generowana, a drukarka drukuje wówczas z dwóch materiałów. Jednym materiałem drukowany jest przedmiot podtrzymujący, zaś drugim, przedmiot który został zaprojektowany do wytworzenia [1].

Przedmioty drukowane są z różnych materiałów, począwszy od tworzyw do metali. Można drukować kilkoma rodzajami plastiku, metalem, drewnem, ceramiką, gumą oraz czekoladą.

W szybkim prototypowaniu wyrobów z termoplastu znajduje zastosowanie technologia FDM - osadzanie topionego materiału (ang. fused deposition modeling). Schemat metody druku FDM obrazuje rysunek 1. Materiał zostaje w tym samym czasie rozprowadzony poprzez ruch dyszy w maszynowym układzie współrzędnych. Układ ten w zależności od urządzenia drukującego jest zazwyczaj układem trzyosiowym o osiach prostopadłych do siebie.

Typowe drukarki stosowane dla tej technologii są zbudowane tak, by nakładać jednocześnie dwa materiały. Jeden materiał jest materiałem głównym, czyli tym, z którego wytwarzany jest obiekt docelowy. Drugi materiał jest zużywany na wytworzenie konstrukcji podtrzymującej produkt końcowy, który po zakończonym procesie jest usuwany [2].

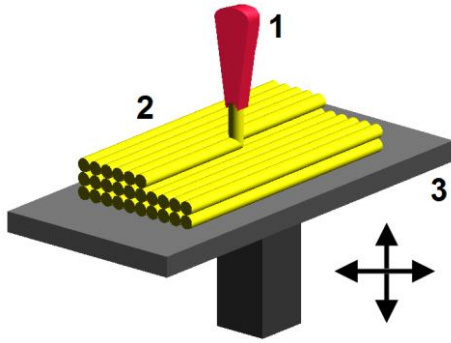
Metoda FDM umożliwia wytwarzanie bardzo dokładnych modeli. Produkty tej technologii mogą być budowane w formie ścianki o grubości 0,6 mm, zaś najmniejsza średnica możliwego do utworzenia walca wynosić może 0,75 mm [3]. Właściwości technologiczne wytwarzanych produktów wykonanych tym sposobem wytwarzania pozwalają także na dodatkowe operacje obróbki, tj. szlifowanie, galwanizowanie, malowanie i łączenie ze sobą elementów wykonanych tą technologią poprzez sklejanie.



Rys. 1. Schemat technologii FDM druku 3D [4]

Zastygający (utwardzający się) materiał powoduje utworzenie warstwy. Materiał w stanie stałym, już po ostygnięciu jest gotowy na nałożenie bezpośrednio na nim kolejnej warstwy. Utwardzenie materiału odbywa się tuż po natrysku z dyszy i jest spowodowane znaczą różnicą temperatur, pomiędzy temperaturą uplastycznionego materiału, a temperaturą otoczenia. Przedstawiony proces nakładania warstw materiału pokazany jest na rysunku 2. Niższa wartość temperatury otoczenia, powoduje szybkie schłodzenie natryskiwanego materiału, z tak dużą szybkością skutkującą na-

tychmiastową zmianę stanu skupienia materiału po opuszczeniu dyszy.



**Rys. 2. Technologia FDM:** 1 - dysza wtryskująca uplastyczniony materiał, 2 - naniesiony materiał ostudzony i zastygnięty (obiekt modelowany), 3 - stół maszyny drukującej [5]

Zazwyczaj wartość prędkości jest dość mała, gdyż musi nastąpić wystarczające do uplastycznienia materiału rozgrzanie go. Stopień rozgrzania półproduktu zawiera się w zakresie temperatur 200÷250°C. Podane wartości są uzależnione od rodzaju stosowanego materiału. Osiągnięcie stanu plastyczności danego materiału wymagane jest z uwagi na możliwość jego nałożenia, czyli natryskiwania przez dyszę. Rozgrzanie surowca następuje przed dyszą, która następnie swoim kształtem tworzy strugę plastycznego gorącego materiału konstrukcyjnego. Roztopiona nić natrykiwana jest na płaszczyznę stołu roboczego maszyny drukującej. Na kładzoną nić oddziaływująca temperatura otoczenia powoduje gwałtowne jej zastygnięcie i stwardnienie, tworząc warstwę materiału przedmiotu wytwarzanego - odpowiadającą przekrojowi danej warstwy podzielonego na „plasterki” modelu. Osadzanie kolejnych warstw przebiega do momentu wytworzenia wszystkich warstw, które odpowiadają poszczególnym przekrojom całego przedmiotu wykonywanego techniką druku 3D [6].

**Ograniczenia metody wykorzystującej modelowanie ciekłym termoplastem.** FDM jest technologią umożliwiającą wyprodukowanie przedmiotów o różnych wielkościach. Wykorzystywana dokładność drukowania, określana również rozdzielczością tej metody wpływa na jakość powstałych z jej użyciem produktów. Wpływ na jakość drukowania ma cena zakupu odpowiednich urządzeń stosujących daną technologię. Przedmiot wykonywany na drukarce z niskiej półki cenowej jest tak wytworzony, że patrząc na niego widać jego strukturę, tj. poszczególne warstwy. Poprawę jakości wytwarzanego przedmiotu na pewno spowoduje wyprodukowanie z wykorzystaniem drukarki z wyższej półki cenowej, czyli takiej, której rozdzielczość jest większa, a cena wyższa w porównaniu do drukarki o niższej rozdzielczości. Urządzenia pracujące z większą rozdzielczością (lepszą jakością) jednocześnie nakładają cieńsze warstwy materiału. Zmniejszenie grubości warstw powoduje zwiększenie ich ilości, przypadającej na dany detale w porównaniu z wykonaniem danego detalu na urządzeniu o mniejszej rozdzielczości. Większa ilość warstw, doprowadza do wydłużenia się czasu drukowania, a więc często i wzrostu kosztów wynikających z większej pracochłonności. Kwestią najważniejszą w wyborze drukarki jest to, do jakiego celu będzie wykorzystywany przedmiot stworzony technologią druku 3D - czyli określenia jakości otrzymanego produktu. Przykładowo ludzki wzrok potrafi rozróżnić obiekty nie mniejsze niż 0,1 mm. Oznacza to, że drukarka wykazująca się rozdzielczością (grubością warstwy) 0,1 mm i mniejszej będzie na tyle spełniać wymagania jakościowe, na ile oko ludzkie bez dodatkowych urządzeń wspomagających wzrok nie dostrzeże nierówności powierzchni. Z drugiej strony, jeśli rozdzielczość będzie mniejsza, czyli wydrukowywana warstwa stanie się grubsza to przedmiot wydrukowany

ny będzie widoczny jako dość chropowaty. Podjęcie decyzji o grubości drukowanych warstw niesie za sobą konsekwencje w postaci dotyczącej nie tylko osiągnięcia określonej jakości, ale również fakt, że wraz ze wzrostem jakości wydłużać się będzie czas wytworzenia produktu. Niekiedy korzystniejszą sytuacją jest wytwarzanie z mniejszą jakością i wykańczanie go tradycyjnymi sposobami [7, 8].

Kolejnym ważnym problemem konstrukcji drukowanych z wykorzystaniem FDM to wypaczenie, skręcanie lub też kurczenie się produktów. Defekty te spowodowane mogą być niewłaściwą jakością materiałów używanych do druku. Jednym z powodów powstania takich wad mogą być pojawiające się napięcia występujące w momencie ochładzania, co skutkuje odkształceniami. Producenci drukarek próbują stosować zabezpieczenia zapobiegające odkształceniom. Budując drukarkę instalują podgrzewane platformy konstrukcyjne (stoły robocze), ocieplenie powoduje że warstwy górne i dolne schładzają się równomiernie. Instalowanie tego typu rozwiązań usprawnia pracę drukarek i sprawia, że deformacje nie pojawiają się. Prowizorycznym rozwiązaniem tego problemu bywa zastosowanie wiatraczków równomiernie schładzających materiał.

Nie tylko skutki podgrzania materiału mają wpływ na konstrukcję. Duży wpływ na tworzenie się odkształceń w konstrukcjach drukowanych tą metodą ma kształt przedmiotu oraz metoda jego zaprojektowania. FDM wykorzystuje dwie możliwości wytwarzania przedmiotów. Pierwsza dotyczy produkcji detali mających wewnątrz swojej budowy puste przestrzenie. Zastosowanie tego rozwiązania pozwala znacznie obniżyć prawdopodobieństwo wystąpienia odkształceń, w porównaniu z drugą metodą wytwarzania detali z pełnego materiału. Możliwość uzyskiwania przedmiotów w technologii addytywnej z pustymi przestrzeniami jest bardzo często wykorzystywana w projektowaniu wyrobów. Projektowanie z uwzględnieniem pustych przestrzeni pozwala na: obniżenie masy produktów, zmniejszenie kosztów wyrobów wskutek zużycia mniejszej ilości materiału potrzebnego do wytworzenia przedmiotu, co wiąże się również z krótszym czasem produkcji oraz konstrukcja wolna od odkształceń.

Kluczowym parametrem oceny jakości elementów jest najbardziej oczekiwana przez użytkowników drukarek 3D właściwość dotycząca dokładności wymiarów wytwarzanych prototypów. Odwzorowanie wymiarów jest o tyle istotne, że to właśnie prototyp wykonany technologią druku 3D ma być identycznym z założeniami projektu, w ten sposób pozwala na określenie wielu czynników, m.in. tego, czy dany prototyp będzie mógł współpracować z innymi częściami konstrukcji, czy dany prototyp będzie spełniał wymagania pracy założone w procesie projektowania elementu itp.

Przedmioty wykonywane drukiem 3D z wykorzystaniem FDM często są produkowane wraz z niezbędnymi niekiedy podporami usuwanymi po zakończeniu druku. Do tego celu wykorzystuje się dwa możliwe do realizacji sposoby. Pierwszy, a zarazem tańszy wykorzystywany jest w maszynach serii BST - konstrukcja wsporcza wydrukowana wraz z docelowym produktem jest do niego przyklepiona, w taki sposób, by w końcowej fazie produkcji umożliwić odłamanie jej od modelu w prosty sposób. Druga metodyka dotyczy maszyn serii SST - gdzie jako podpory wykorzystano materiał rozpuszczalny w wodzie. Dzięki zastosowaniu tego rozwiązania, usunięcie podpory pozwala na znaczne przyspieszenie wytworzenia modelu eliminując tym samym kosztowną i pracę ręczną [1, 8, 9].

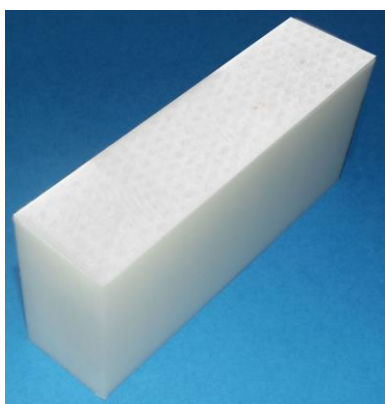
**Materiały służące do drukowania.** Technologia addytywnej wykorzystuje różne materiały, najbardziej popularne są włókna z ABS i PLA, a także PVA (tworzywo łatwo rozpuszczalne w wodzie najczęściej stosowane na podpory), nylon Laywood (kompozyt tworzywa sztucznego i drewna), Laybrick (kompozyt tworzywa sztucznego i gipsu). Rodziny tworzyw sztucznych są materiałami relatywnie miękkimi, odzwierciedlającymi się niskimi wartościami

wytrzymałości mechanicznej w porównaniu do metali. Dodatkowymi słabościami tego typu materiałów jest ich niska temperatura topnienia, a także mała odporność na działanie związków chemicznych. Większość tworzyw w łatwy sposób ulega złamaniu w niskich temperaturach. Kolejną wadą tworzyw sztucznych jest bardzo szybkie starzenie się ich pod wpływem promieniowania UV. Wiele materiałów z tej rodziny jest też nieskrawalna. Powodem niemożności ich obróbki jest ich niska twardość, która uniemożliwia obróbkę skrawaniem tradycyjnymi metodami - brak wystarczającej odporności na siły skrawające [10].

## 1. BADANIA WŁASNE

### 1.1. Materiał wykorzystany do badań

Na potrzeby przeprowadzenia badań dotyczących oceny jakości wykonania elementów powstałych na drukarkach 3D, zaprojektowano próbki (rys. 3) w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 120 mm x 50 mm x 30 mm.



Rys. 1. Widok rzeczywisty próbki

Próbki z tworzywa ABS zostały wytworzone na profesjonalnej drukarce pracującej w technologii FDM metodą tzw. „druku plastra miodu”. Próbki wykonywano drukarką o średnicy dyszy 0,45 mm. Grubość nakładanych przez drukarkę warstw wynosi 0,1 mm. Podczas pracy tj. drukowania drukarka utrzymywała temperaturę dyszy na poziomie 245 °C. Drukowanie zrealizowano na stole drukarki, który był podgrzewany do temperatury 110 °C. Cały proces druku odbył się w wentylowanym pomieszczeniu o temperaturze około 35 °C. Wytwarzanie próbek polegało na poruszaniu się głowicy drukującej z prędkością posuwu wynoszącą 90 mm/s (posuw roboczy). W czasie posuwu roboczego rozpuszczony materiał rozmieszczany był na odpowiednich warstwach. Ruch głowicy w czasie dojazdów i odjazdów tj. posuw szybki odbywał się z prędkością 150 mm/s. Całkowity wydruk próbki obejmował zadruk w 15 % wypełnienia objętości próbki, co oznacza, iż tylko 15 % objętości całej próbki zostało wypełnione materiałem.

### 1.2. Ocena jakości wydrukowanej próbki

W celu określenia dokładności wykonania zaprojektowanego kształtu próbki, wykonano pomiary wymiarów zewnętrznych z określeniem wzajemnego położenia ścian próbki. Pomiary wykonano na maszynie współrzędnościowej CNC Crysta-Apex C 7106 firmy Mitutoyo.

Pomiary punktów na każdej z sześciu ścian tworzących bryłę próbki odniesionych do maszynowego układu współrzędnych pozwoliły na ocenę niedokładności wykonania zaprojektowanego prostopadłościanu oraz na dokładną analizę zależności pomiędzy płaszczyznami tworzącymi ściany próbki tj. określenie odchyłeń

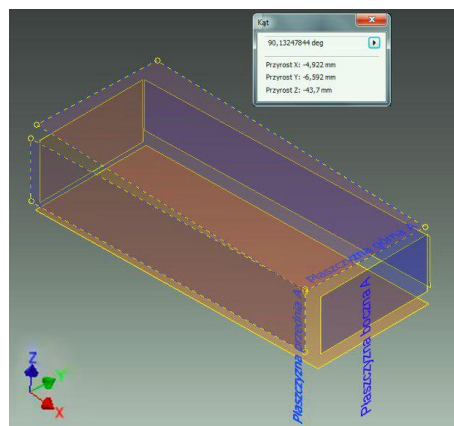
prostokątności i równoległości pomiędzy ścianami próbek. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Tab.1. Wartość kątów zawartych pomiędzy płaszczyznami ścian próbki [11]

Wartość kąta		Płaszczyzna					
		Górna	Przednia	Dolna	Tylna	Lewa	Prawa
Płaszczyzna	Górna	0	90°07'56"	0°09'43"	89°53'44"	89°38'29"	89°44'19"
	Przednia		0	89°59'21"	0°01'41"	89°40'41"	90°25'14"
	Dolna			0	89°58'56"	90°15'03"	90°22'07"
	Tylna				0	90°19'27"	89°34'35"
	Lewa					0	0°37'39"
	Prawa						0

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, ściany próbek są do siebie ustawione pod różnymi kątami, innymi od 90° i 0°. Odchyłka kątowa powierzchni prostopadłych mieści się w przedziale od +0°01'41" do +0°25'25" i powierzchni równoległych w przedziale od +0°09'43" do -0°21'31".

Położenie rzeczywiste płaszczyzn próbki względem zaprojektowanego kształtu wyrobu przedstawiono na rysunku 4.



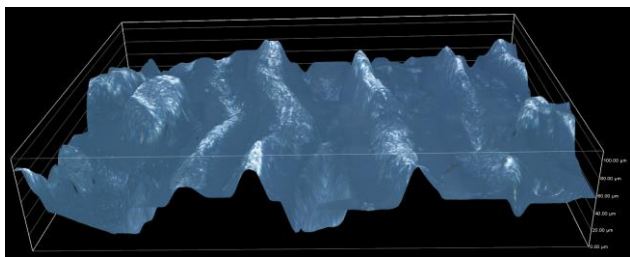
Rys. 4. Widok modelu wirtualnie stworzonej próbki [11]

Określenie nierówności występujących na powierzchniach próbki wykonano poprzez pomiar chropowatości tych powierzchni w dwóch kierunkach, tj. wzdłuż ułożenia warstw oraz w kierunku prostopadłym do nakładania warstw w procesie druku. Pomiar chropowatości powierzchni wykonano na odcinku elementarnym o długości 3 mm w kilku miejscach na powierzchni próbek. Do pomiaru chropowatości wykorzystywane Profilografometr A256. Średni parametr Ra w kierunku nakładania warstw wynosi 3,87µm, natomiast w kierunku prostopadłym do nakładanych warstw osiąga wartość 3,63 µm.

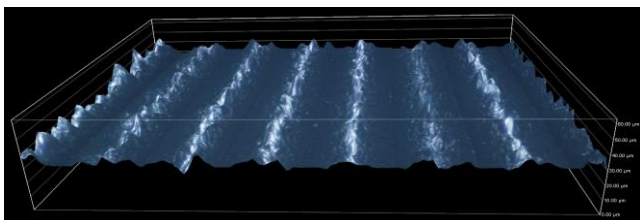
W celu określenia dokładności wykonania powierzchni zaprojektowanego wyrobu przeprowadzono obserwacje mikroskopową powierzchni wyrobu. Do tego celu wykorzystano mikroskop stereograficznego OPTA – TECH.

Rysunek 5 przedstawia obraz powierzchni górnej, o wyraźnej nieregularności w zakresie 100 µm od najniższej do najwyższej położonego punktu na warstwie.

Rysunek 6 pokazuje obraz powierzchni bocznej z widocznym zróżnicowaniem nakładanych warstw. Linia przebiegu warstwy jest dość regularna, świadcząca o większej dokładności wysterowania posuwów na osiach X oraz Y. Powierzchnia ta jest utworzona w zakresie 60 µm od najniższej do najwyższej położonego punktu na warstwie.

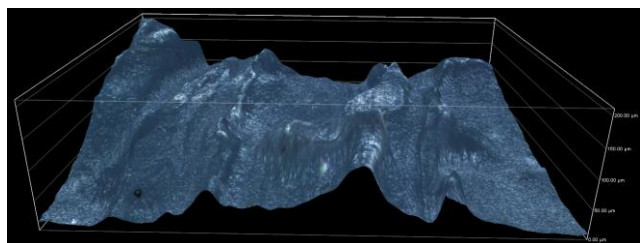


**Rys. 5.** Obraz powierzchni górnej z widocznym zróżnicowaniem nierówności



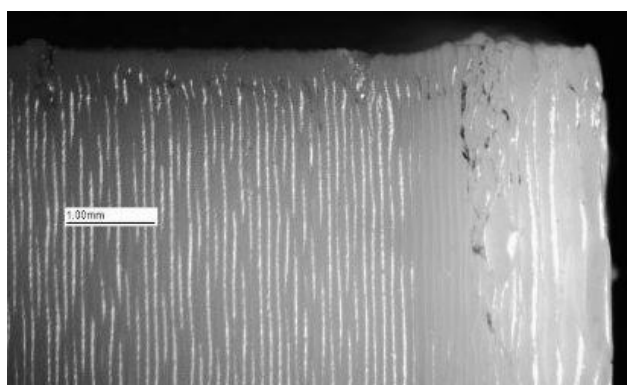
**Rys. 6.** Obraz powierzchni bocznej z widocznym zróżnicowaniem nakładanych warstw

W wyniku oddziaływania temperatury podgrzewanej platformy konstrukcyjnej możliwe jest nadtopienie widoczne z lewej strony (rys. 7). Wada ta spowodowana jest wpływem dużo wyższej temperatury platformy konstrukcyjnej, która utrzymywana jest przez cały okres procesu druku na poziomie 100 °C. W efekcie prowadzi to do zmiękczenia pierwszych nakładanych warstw, a pod wpływem ciężaru kolejnych nakładanych na nie warstw, materiał rozplywa się na boki. Rozbieżności poziomu pomiędzy minimalną, a maksymalną wysokością punktów danych warstw osiąga 200 µm.



**Rys. 7.** Obraz powierzchni bocznej z widocznym z lewej strony nadtopieniem krawędzi wspólnej dla powierzchni bocznej i powierzchni dolnej

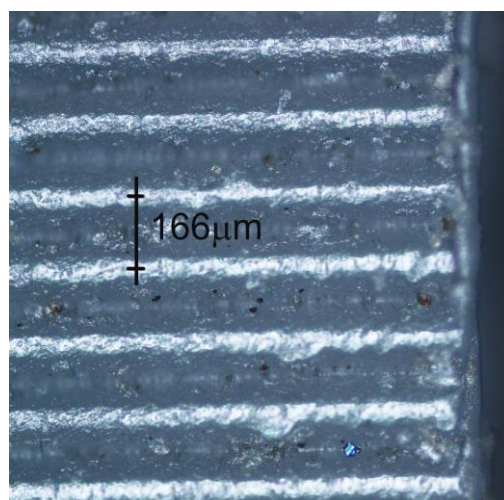
Szereg wad procesu nakładania warstw w górnej części próbki kończącej proces nakładania warstw przedstawia rysunek 8. Występują tu nierównomierne grubości warstw oraz nadtopienia wywołujące wadę kształtu wytwarzania.



**Rys. 8.** Widok krawędzi próbki i powierzchni nakładanych warstw w górnej części próbki

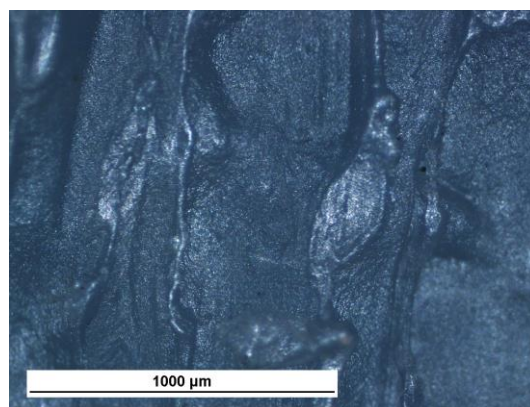
Widok powierzchni bocznej próbki przedstawiono na rysunku 9. W tej części powierzchni widać dość regularne ułożenie warstw z nielicznymi obszarami wypływanego materiału poza jej grubość. W dolnej części pokazanego obszaru występują liczne ciemne punkty, które mogą być wadami lub pustkami powietrznymi, powstałymi na skutek niepełnego połączenia warstw, wyraźniej widoczne na rysunku 10. Grubość widocznych warstw wynosi około 160µm różniące się od przyjętych parametrów wytwarzania.

Obserwacja struktury wykazuje dość wyraźną granicę pomiędzy warstwami, co może oznaczać, że materiał nakładanych warstw nie przenika się całkowicie aby tworzyć jednolitą strukturę, lecz zachowuje odrębność. Wyraźna granica może być wynikiem sklejenia warstw, a nie pełnego ich wzajemnego przeniknięcia (ujednorodnienia struktury).



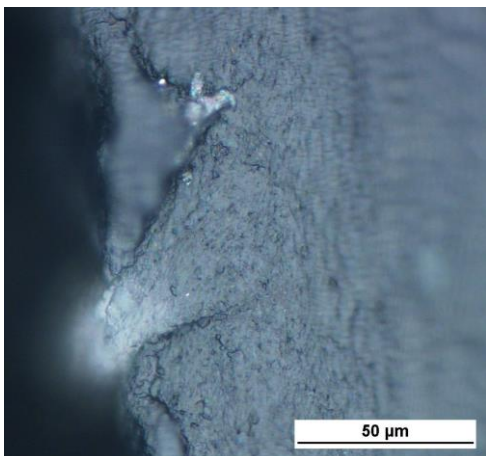
**Rys. 9.** Widok powierzchni bocznej próbki

Na rysunku 10 pokazano przenikanie się ścieżek wtryskiwanego materiału utworzonych z przejazdu głowicy wzdłuż ściany bocznej, tuż przy krawędzi wspólnej dla powierzchni górnej i ściany bocznej. Widoczne są miejsca, tj. pęcherzyki powstałe z niepełnego przeniknięcia się materiałów nakładanych obok siebie ścieżek oraz wyraźną granicę pomiędzy ścieżkami.



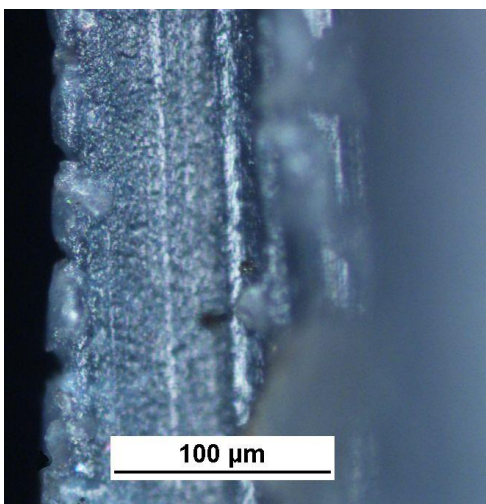
**Rys. 10.** Widok pęcherzy powstałych z niepełnego przeniknięcia się nakładanych warstw [11]

Widoczne na rysunku 11 duże wytrącenie pomiędzy warstwami może mieć wpływ na późniejsze pęknięcie materiału, rozdzielając go w miejscu styku warstw. Defekt ten rozszerza się w głąb materiału na około 100 µm czyli na grubość warstwy założonej w parametrach wydruku.



Rys. 11. Widok wytrącenia pomiędzy warstwami [11]

Widok przekroju warstw na krawędzi próbki pokazano na rysunku 12. Liczne drobne nieregularne linie podobne do siatki koryta rzeki mogą być wadami materiału powstałymi na skutek zbyt szybkiego stygnięcia materiału, co doprowadziło do niepełnego przeniknięcia się sąsiadujących ze sobą warstw oraz braku ujednolicenia struktury



Rys. 12. Widok powierzchni bocznej próbki z widocznymi warstwami [11]

## WNIOSKI

1. Technologia druku 3D pozwala na osiągnięcie wysokiej jakości drukowanych elementów. Osiągnięcie takich elementów wydruku możliwe jest przy odpowiednim doborze parametrów technologicznych wytwarzania, a w tym wysokiej jakości zastosowanych materiałów.
2. Pomiary dokładności wykonania przyjętego modelu próbki w kształcie prostopadłościanu poprzez określenie wzajemnego położenia ścian względem siebie, wskazują na wyraźne błędy kształtu. Określone tolerancje kątów zawartych pomiędzy ścianami próbek wynoszą  $0^{\circ}46'36''$ . Wykazano w tym brak wzajemnej prostopadłości pomiędzy ścianami o wspólnych krawędziach, oraz brak równoległości pomiędzy przeciwległymi ścianami.
3. Obserwacja mikroskopowa powierzchni próbki, ukazuje również błędy struktury elementu wydrukowanego w technologii FDM. Powstałe w strukturze materiału (warstw oraz powierzchni) wady, mogą wynikać z niedokładności posuwów wykorzystanego

urządzenia drukującego, oraz jakości materiału wykorzystanego na wytworzenie próbek.

4. Na niedokładność kształtu oraz wymiaru wpływają zmienne warunki nakładania warstw, oraz ewentualne zmienne warunki podawania ABS np. prędkość posuwu. Świadczy o tym widok powierzchni w obszarach początku budowania (zgniatania zmiękzonego ABS) jak też widoczne poszerzenia wymiaru i zmniejszenie grubości warstw.
5. Im mniejsza wysokość jednej warstwy, tym większa rozdzielczość i dokładność, ale dłuższy czas drukowania. Wysokość pojedynczej warstwy jest zależna bardziej od napędu, mechaniki osi Z, od jakości użytych podzespołów, materiału wyjściowego jak też ilości wyciskanego filamentu i jego jakości, natomiast mniej zależna od średnicy dyszy.

## BIBLIOGRAFIA

1. Czerwiński K., Czerwiński M.: *Drukowanie w 3D*. Warszawa, 2013.
2. *ABC drukowania 3D v1.1*. Wyd. PROPOX. <http://propox.com/index.php?p124,drukarki-3d>
3. Bis J., Kret M., Plątek P.: *Techniki druku 3D -przykłady zastosowań*. ProCAx. 2008
4. <https://3dphoenix.pl/technologie/>
5. <http://fr.3dilla.com/imprimante-3d/fused-deposition-modeling/>
6. Czerwiński K., Czerwiński M.: *Drukowanie w 3D*. Warszawa, 2013.
7. <http://www.box19e.com/druk3d/>
8. Kazianas France A.: *Świat druku 3D. Przewodnik*. Helion, 2014.
9. *Metody druku 3D- przegląd*. [www.paramid3d.com](http://www.paramid3d.com)
10. <https://3dphoenix.pl/materiały/>
11. Woźniak P. Ocena jakości wybranego elementu wykonanego na drukarce 3D. Praca Dyplomowa. UTH Radom, 2015

### Analysis of the print quality of the product made of thermoplastic ABS with FDM technology

*The article indicates the need for knowledge on the dependency of many technological parameters of the quality of the produced pieces by the fused deposition modeling - FDM. The limitations associated with the use of thermoplastics for FDM technology have been highlighted. There have been identified possible shape errors of the product manufactured using a professional printer. Microscopic observation of the surface of the material showed defects in structure (layers and surface), that may result from inaccuracies of the used printing device feed and the quality of the filament. View of the surface in the areas of early layering (crushing softened ABS) as well as the apparent expansion of the dimension and reducing the thickness of the layers may be due to changing layering conditions, variable feed speed or the amount of extruded ABS filament.*

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Mazurkiewicz** – Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu – [andrzej.mazurkiewicz@uthrad.pl](mailto:andrzej.mazurkiewicz@uthrad.pl)