

# Analiza technologii przyrostowej FDM/FFF do wytwarzania wkładek formujących form wtryskowych

## Analysis of FDM/FFF additive manufacturing production mold inserts of injection molds

PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI  
BŁAŻEJ SZULC\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.11>

Opisano zastosowanie druku 3D do wytwarzania wkładek formujących form wtryskowych. Wkładki wykonano technologią przyrostową FDM/FFF z polimeru PLA. Przeprowadzono dwa cykle badań po kilkadziesiąt wtrysków. Wybrane wypraski zmierzono za pomocą dokładnego skanera 3D i porównano ze wzorcem.

**SŁOWA KLUCZOWE:** formy wtryskowe, technologia przyrostowa, druk 3D, FDM, PLA

*The use of 3D printing for manufacturing mold inserts of injection molds has been described. The inserts were made by FDM/FFF from PLA polymer (two test cycles of several dozen). The selected items were measured using an accurate 3D scanner and aligned with the reference.*

**KEYWORDS:** injection molds, additive manufacturing, 3D printing, FDM, PLA

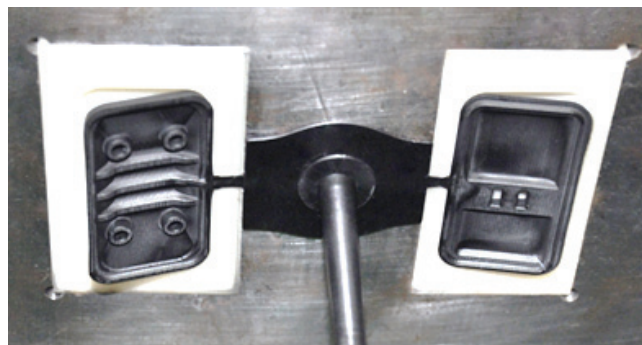
Najpopularniejszą metodą wytwarzania elementów z termoplastycznych tworzyw sztucznych jest formowanie wtryskowe. Do tego celu używa się form wtryskowych [1], które zwykle są bardzo skomplikowanymi narzędziami. Z tego względu stosowane są do produkcji wielkoseryjnej i masowej. Głównym etapem procesu jest wtrysk polimeru pod wysokim ciśnieniem do zamkniętej formy, której gniazdo odwzorowuje kształt wytwarzanego elementu – wypraski. Gniazdo jest wykonywane bezpośrednio w płytach stemplowej i matrycowej lub we wkładkach formujących mocowanych w tych płytach. Gniazdo podczas wtrysku podlega dużym obciążeniom mechanicznym i termicznym oraz jest wycierane przez tworzywo, więc wykonuje się je na ogół ze specjalnych gatunków stali. Tradycyjnie gniazda wytwarza się, frezując je na obrabiarkach CNC, ewentualnie elektrodrążeniem wgłębnym. Koszty takiej obróbki są wysokie, zatem ekonomicznie opłacalne staje się produkowanie w nich setek tysięcy wyprasek.

### Wkładki formujące wykonywane metodą druku 3D

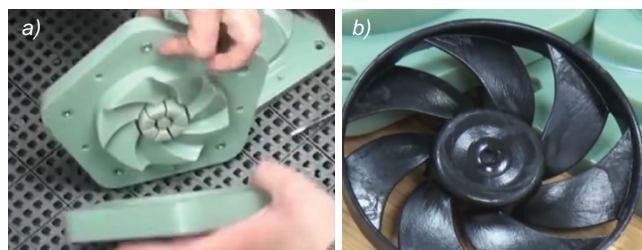
Od kilkunastu lat wiele firm na świecie (również w Polsce) testuje i wykonuje wkładki formujące technologiami przyrostowymi metodą SLS (*selective laser sintering*) lub SLM (*selective laser melting*) – przez firmę EOS nazywaną DMLS (*direct metal laser sintering*) – z proszków metali [2]. Wkładki ze stali wykonane metodą SLS wymagają zwykle kosztownej infiltracji stopami miedzi [3] i są mniej trwałe niż te wytworzone metodami SLM/DMLS. Wytrzymałość mechaniczna i odporność na ścieranie elementów uzyskanych w procesach SLM/DMLS z proszków stali jest porównywalna z wytwarzanymi tradycyjnie. Ponadto technologie przyrostowe umożliwiają wykonywanie wkładek z tzw. konformalnymi kanałami chłodzącymi [4]. Mogą

one mieć bardzo skomplikowane kształty przekroju i przebieg, niemożliwe do osiągnięcia klasycznymi metodami [5]. Pomimo tych zalet wkładki wytwarzane techniką SLM nie są powszechnie stosowane w budowie form wtryskowych, co wynika ze względów ekonomicznych.

W przypadku produkcji niewielkich serii wyprasek (do kilkudziesięciu sztuk) [6] część firm proponuje wykonywanie wkładek formujących za pomocą druku 3D, metodą strumieniową [7]. Opisy udanych wdrożeń są dostępne już od kilku lat [6, 8, 9]. Najczęściej stosowane są drukarki 3D firmy Stratasys (metoda PJM – *polyjet modelling*) lub maszyny firmy 3D Systems (metoda MJM – *multijet modelling*). Przykładowe wkładki wykonane strumieniową technologią przyrostową pokazano na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Forma wtryskowa z wkładkami wykonanymi metodą MJM na maszynie firmy 3D Systems [6]



Rys. 2. Płyty formujące (a) wykonane metodą PJM na maszynie firmy Stratasys oraz uzyskana w nich wypraska (b) [9]

Trwałość wkładek lub płyt formujących wykonanych metodami PJM i MJM nie jest duża, ponieważ materiałem modelowym są fotoutwardzalne żywice. Odkształcają się one pod obciążeniem już w temperaturze 40÷60°C, zależnie od typu (wg normy ASTM D648-07). Z tego względu do takich wkładek formujących wtryskuje się tylko termoplasty o niższej temperaturze uplastycznienia, tj. PP, PE i ABS [6]. Według [6] wkładki z MJM podlegają jeszcze obróbce cieplno-chemicznej, która zwiększa ich odporność na wysoką temperaturę i obciążenia mechaniczne. Zalecane jest też chłodzenie gniazd sprężonym powietrzem po każdym cyklu. Natomiast wytyczne dotyczące projektowania wkładek z PJM przedstawiono w [10].

\* Dr inż. Przemysław Siemiński (przemyslaw.sieminski@asp.waw.pl) – Wydział Wzornictwa Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie; inż. Błażej Szulc (blazejsz1994@gmail.com) – Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej

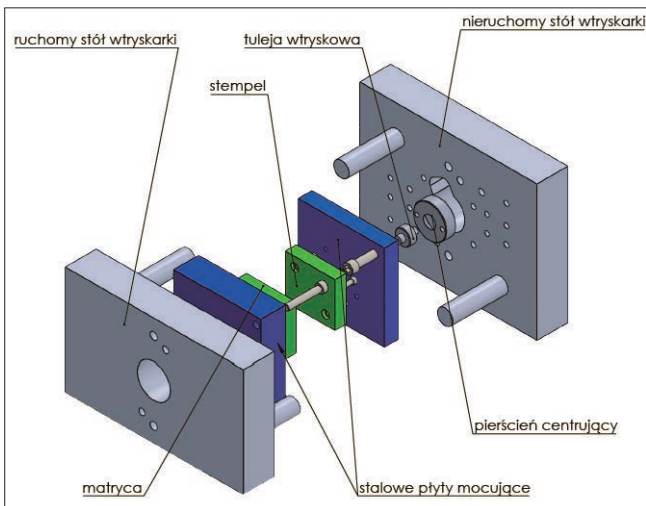
Zaletą zastosowania przyrostowych metod strumieniowych do produkcji gniazd form wtryskowych jest wysoka gładkość (niemal brak widocznej warstwowości) i tym samym dobra jakość uzyskiwanych powierzchni wyprasek (ma to również wpływ na łatwość usuwania wyprasek z gniazda).

### Postawienie problemu i cel badań

Autorzy pracy nie spotkali się z publikacjami naukowymi oraz opisami wdrożeń technologii przyrostowej FDM/FFF (*fused deposition modeling* – maszyny firmy Stratasys/*fused filament fabrication* [RepRap]) [7] do wytwarzania wkładek formujących do form wtryskowych. Celem niniejszej pracy było więc zbadanie możliwości produkcji wyprasek we wkładkach wykonanych metodą FDM/FFF, a zwłaszcza sprawdzenie przydatności polimeru PLA, który jest uważany za materiał bardziej nadający się do wykonywania prototypów niż obiektów inżynierskich czy narzędzi, tj. formy.

### Opis badań

Na potrzeby niniejszej pracy w systemie 3D CAD opracowano modele 3D do wtryskiwania, mające kształt logo Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Obiekt mieścił się w okręgu o średnicy 42 mm i miał grubość 5 mm. Dla tego kształtu zaprojektowano kilka wersji wkładek matrycowych (z wgłębieniami na napisy i wersję gładką) oraz wkładki stemplowe. Wkładki wydrukowano metodą FFF z PLA ze 100-procentowym wypełnieniem. Grubość warstw wynosiła 0,2 mm. Dla tych stempli i matryc zaprojektowano i wykonano stalowe płyty mocujące (rys.3). Nie zaprojektowano układu wypychania wypraski z gniazda ani oddzielenia od niej wlewka.

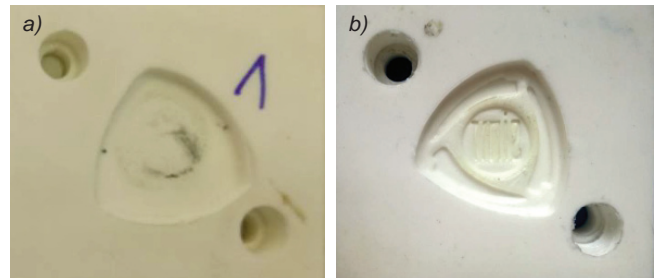


Rys. 3. Złożona forma wtryskowa wraz ze stołem wtryskarki użyta do testów. Zielone obiekty to wkładki formujące wydrukowane metodą FDM/FFF, a granatowe – stalowe płyty mocujące

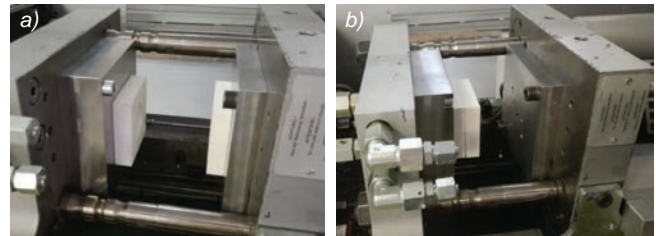
Dzięki uprzejmości firmy WADIM PLAST z Reguły k. Warszawy [11] całość zamontowano na wtryskarce Dr Boy XS [12], której główne parametry to: maks. siła zwarcia 100 kN i maks. objętość wtryskiwana 8 cm<sup>3</sup>. Na tej maszynie przeprowadzono kilkaset prób wtrysku dla kilku różnych kompletów wkładek. Wtryskiwanym polimerem był polipropylen Moplen HP500N firmy Basell [13]. Dalej opisano dwa cykle testów różniących się nieznacznie kształtem gniazda oraz zastosowaną płytą stemplową.

### Testy nr 1

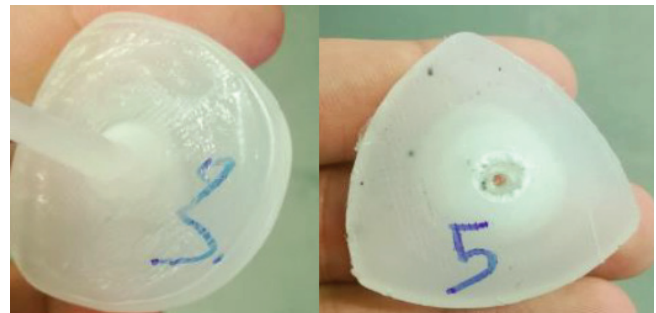
Do testów nr 1 zamontowano wkładki z białego polimeru PLA bez napisów (rys. 4a), a wtryskiwana masa bezbarwnego polimeru PP wyniosła 6 g. W układzie sterowania wtryskarki ustawiono następujące parametry procesu: temperaturę wtryskiwanego polimeru 180°C, maks. ciśnienie wtrysku (ograniczenie) 400 bar, średni czas zamknięcia formy 60 s, średni czas otwarcia formy i jej swobodnego chłodzenia ok. 120 s. Sposób zamontowania wkładek we wtryskarce pokazano na rys. 5a.



Rys. 4. Matryca do testów nr 1 (a) i nr 2 (b)



Rys. 5. Ustawienie wkładek w testach nr 1 (a) i nr 2 (b)



Rys. 6. Pierwsze wypraski (sztuki 3 i 5) z testów nr 1

W ten sposób wyprodukowano pierwsze sześć sztuk wyprasek (rys. 6). Niestety, pierwsza wypraska była trudna do usunięcia z gniazda. Aby to się nie powtórzyło, użyto gorącego powietrza do wygładzenia wewnętrznych ścian matrycy, co spowodowało nieznaczne zdeformowanie jej dna (rys. 4a) i pozostawiło zafalowanie na wypraskach. Ponadto na gniazdo natryśnięto rozdzielacz bezsilikonowy Ambersil. Kolejne wypraski uwalniano już bez problemów.

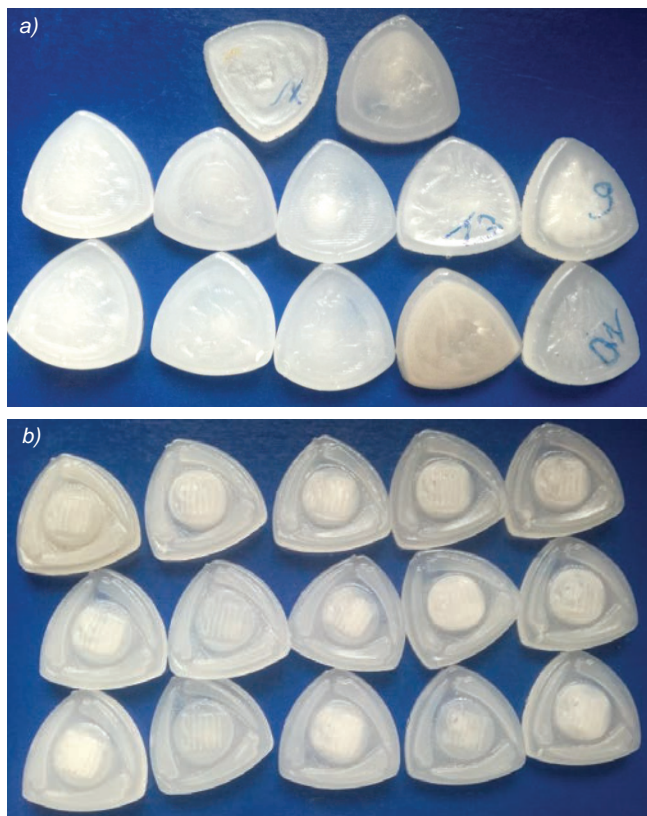
Następnie zastosowano chłodzenie gniazda sprężonym powietrzem przez ok. 50 s, a czas otwarcia formy wynosił ok. 60 s. W ten sposób wyprodukowano dalsze 30 sztuk – według oceny wizualnej ich kształt był stale ten sam, więc można uznać, że proces był powtarzalny (rys. 7a).

### Testy nr 2

Ze względu na znaczne rozgrzewanie się matrycy i stempla zdecydowano się zdemontować stempel z PLA i dosuwać matrycę do stalowej płyty (rys. 5b). Do testów zastosowano nową wkładkę matrycową z białego PLA



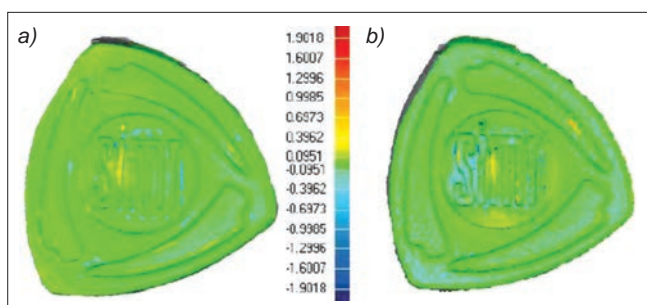
z napisami (rys. 4b) – 100-procentowe wypełnienie, grubość warstw 0,2 mm. Parametry były następujące: wtryskiwana masa polimeru PP 6,2 g, temperatura wtryskiwanego polimeru 180°C, maks. ciśnienie wtrysku (ograniczenie) 400 bar, czas zamknięcia formy 60 s, średni czas otwarcia formy ok. 30 s. Tym sposobem wyprodukowano 60 sztuk wyprasek (rys. 7b), których kształt był powtarzalny, choć kłopotliwy do oceny z powodu częściowej przezroczystości tworzywa. Dlatego do dalszych prób zastosowano ciemny granulát PP (rys. 8).



Rys. 7. Część wyprasek z testów nr 1 (a) i nr 2 (b)



Rys. 8. Wygląd wyprasek z testów nr 2 po zmianie granulatu



Rys. 9. Mapa odchyłek dla wyprasek nr 30 (a) i 40 (b)

Za pomocą skanera optycznego światła strukturalnego firmy Smarttech o certyfikowanej niepewności pomiaru 0,02 mm wykonano pomiary kształtu zewnętrznego (tylko od góry) co dziesiątej wypraski. Wypraski przed pomiarem zostały delikatnie pokryte białą tytanową. Na rys. 9 pokazano mapy odchyłek dla wyprasek nr 30 i 40 dopasowane do referencyjnego modelu 3D metodą Best Fit. Modelem referencyjnym był skan wypraski wykonanej dziesięć wtrysków wcześniej, więc mapy odchyłek przedstawiają przede wszystkim zmiany kształtu gniazda podczas produkcji. Ponad 90% analizowanych punktów mieściło się w zakresie  $\pm 0,1$  mm i tyle wyniosło obliczone przez system średnie odchylenie, natomiast średni błąd kwadratowy wyniósł 0,17 mm.

## Wnioski

- Technologia przyrostowa wytłaczania tworzyw termoplastycznych (FDM/FFF) może być wykorzystana do wytwarzania wkładek formujących form wtryskowych.
- Z badań wynika, że trwałość matrycy z PLA przy wtryskiwaniu polimeru PP oraz prostych kształtach wypraski może wynieść prawie sto poprawnych sztuk – odchyłka kształtu ok.  $\pm 0,1$  mm, na pochyłych ścianach widoczny efekt schodkowy, a na płaskich widoczne włókna. Taka jakość wyprasek jest wystarczająca dla detali niewidocznych dla użytkownika.
- Problemem może być usuwanie wypraski z gniazda – warto zastosować minimalne pochylenie ścian 5° oraz wygładzić efekt schodkowy pozostały po druku 3D.
- W celu zwiększenia trwałości gniazda i skrócenia czasu cyklu powinno się chłodzić gniazdo po usunięciu wypraski sprężonym powietrzem.
- Zastąpienie drukowanego stempla z tworzywa stalową płytą powoduje znaczne skrócenie czasu chłodzenia formy oraz ułatwia usunięcie wlewka.
- Proponuje się zastosowanie drukowanych kanałów chłodzących (do sprężonego powietrza) w matrycy, co może znacząco skrócić czas cyklu.

## LITERATURA

1. Zawistowski H., Frenkler D. „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”. Warszawa: WNT, 1984.
2. Stwora A., Skrabalak G. „Wpływ parametrów technologicznych procesu selektywnego topienia laserowego na wybrane właściwości elementów wykonanych z proszków stopu AlSi10Mg”. *Mechanik*. 3 (2016): s. 206–209, DOI: 10.17814/mechanik.2016.3.21.
3. Kumar S., Kruth J-P. “Effect of bronze infiltration into laser sintered metallic parts”. *Materials & Design*. 28, 2 (2007): s. 400–407.
4. Muszyński P., Mrozek K., Poszwa P. „Wybrane metody chłodzenia form wtryskowych”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 996–1000.
5. Materiały informacyjne i strona internetowa firmy FADO: [www.fado.info](http://www.fado.info) (dostęp: 26.11.2017 r.).
6. Materiały informacyjne i strona internetowa firmy I.J. Paliga: [ijpaliga.pl/uslugi/formy-wtryskowe.html](http://ijpaliga.pl/uslugi/formy-wtryskowe.html) (dostęp: 26.11.2017 r.).
7. Budzik G., Siemiński P. „Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza PW, 2015.
8. Strona internetowa firmy Javelin Technologies: [www.javelin-tech.com/3d/manufacture/molds/](http://www.javelin-tech.com/3d/manufacture/molds/) (dostęp: 26.11.2017 r.).
9. Materiały informacyjne i strona internetowa firmy Stratasys: [www.stratasys.com](http://www.stratasys.com) (dostęp: 26.11.2017 r.).
10. Bashor M. 3D Printed Injection Molds. Presentation Stratasys. [www.moldmakingtechnology.com/cdn/cms/1%20stratasys.pdf](http://www.moldmakingtechnology.com/cdn/cms/1%20stratasys.pdf) (dostęp: 26.11.2017 r.).
11. Materiały informacyjne i strona internetowa firmy Wadim Plast: [www.wadim.com.pl](http://www.wadim.com.pl) (dostęp: 26.11.2017 r.).
12. Materiały informacyjne na temat wtryskarki Dr. BOY XS: [www.dr-boy.de/en/products/boy-xs/](http://www.dr-boy.de/en/products/boy-xs/) (dostęp: 26.11.2017 r.).
13. Karta charakterystyki granulatu PP Basell Moplen HP500N: [www.basellorlen.pl/assets/produkty/produkty/Moplen\\_HP500N\\_201410\\_PL.pdf](http://www.basellorlen.pl/assets/produkty/produkty/Moplen_HP500N_201410_PL.pdf) (dostęp: 26.11.2017 r.).