

Propozycja metody zwiększania dokładności wymiarowej obiektów wykonywanych technikami przyrostowymi

The proposition of the method of increasing dimensional accuracy of additive manufacturing objects

JAKUB PIĘKOŚ
PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI
ROMAN GRYGORUK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.548

Artykuł przedstawia wyniki analizy wymiarowej obiektów wykonanych techniką przyrostową (druk 3D). Zaproponowano prostą metodę zwiększenia dokładności drukowanych modeli poprzez wprowadzenie współczynnika kompensującego błędy procesu. W oparciu o wyniki analizy modelu badawczego wyznaczono wartość współczynnika skalowania, który pozwolił na znaczne zmniejszenie wartości błędów względnego mierzonych wymiarów. W ramach pracy wykonano weryfikację poprawności zaprezentowanej metody z wykorzystaniem optycznego skanera 3D.

SŁOWA KLUCZOWE: druk 3D, FDM, odchyłki, dokładność wymiarowa, skalowanie

This article presents the results of dimensional analysis of models which were made using 3D printing. We proposed a simple method of increasing dimensions of printed models using compensation scale factor. Scale factor allowed us to decrease relative error of measured dimensions. The verification of presented method was performed using optical 3D scanner. KEYWORDS: 3D printing, FDM, deviations, dimensional accuracy, scaling

Techniki przyrostowe to jedno z najbardziej dynamicznie rozwijających się obecnie metod wytwarzania. Jedną z nich jest osadzanie topionego materiału (FDM/FFF) [1]. Mimo wyraźnego postępu, zarówno w zakresie konstrukcji maszyn, jak i oprogramowania sterującego procesem oraz samych materiałów eksploatacyjnych, w dalszym ciągu widoczny jest jednak problem dokładności odwzorowania wymiarów przez wydruki. Z tego powodu wiele ośrodków na świecie i w Polsce prowadzi badania nad precyzją wytwarzania obiektów wytwarzanych technikami przyrostowymi. Analizy wydruków z polimerów opisane zostały w wielu artykułach, m.in. [2–8], podobne prace prowadzą także autorzy [9].

Koncepcja badań zakłada przeprowadzenie analizy metrologicznej wydruków i określenie stopnia odwzorowania wymiarów, a następnie wyznaczenie błędów względnego. Celem działań jest poprawa dokładności wymiarowej dru-

kowanych modeli poprzez wprowadzenie współczynnika kompensującego błędy procesu, spowodowane m.in. skurczem materiału oraz precyzją urządzenia.

Zaproponowany w pracy model badawczy stanowiła belka o wymiarach $140 \times 5,8 \times 4$ mm (dł. \times szer. \times wys.), której wymiary dobrano tak, aby uzyskać krótki czas wydruku oraz niewielkie zużycie materiału, przy jednoczesnym zapewnieniu stabilności procesu oraz ograniczeniu występowania przypadkowych błędów. Prostokątnościenny kształt obiektu wybrano ze względu na możliwość wykonania pomiarów z użyciem prostych warsztatowych przyrządów pomiarowych, w tym przypadku suwmiarki elektronicznej o zakresie pomiarowym 0–150 mm i odczycie 0,01 mm.

W ramach badań wykonano serie wydruków z materiału ABS w dwóch ustawieniach modelu, tak aby dłuższy bok belki znajdował się wzdłuż osi pomiaru; odpowiednio oś X lub Y drukarki. W celu wyeliminowania błędów losowych wykonano pięć wydruków dla każdego położenia, a do dalszych analiz brano średnią arytmetyczną z pięciu pomiarów dla każdego modelu. Uzyskane wyniki (tabl. I) pozwoliły na wyznaczenie współczynników kompensacji błędów procesu w każdej z badanych osi, które wynosiły 1,0066 dla osi X oraz 1,0069 dla osi Y. Po jego uwzględnieniu (przeskalowaniu obiektu) wykonano ponownie serie wydruków (po trzy dla każdej osi), w celu sprawdzenia poprawności przyjętych wartości. Wyniki pomiarów (tabl. II) potwierdziły słuszność wprowadzonych współczynników.

TABLICA I. Wyniki pomiarów belki o wymiarach $140 \times 5,8 \times 4$ mm przed uwzględnieniem współczynnika kompensującego błędy procesu

Wydruk wzdłuż osi X	Próbka XA1	Próbka XA2	Próbka XA3	Próbka XA4	Próbka XA5	Średnia aryt.	Δ [%]
Pomiar długości długiego boku [mm]	139,07	139,06	139,07	139,10	139,10	139,08	0,66
Wydruk wzdłuż osi Y	Próbka YA1	Próbka YA2	Próbka YA3	Próbka YA4	Próbka YA5	Średnia aryt.	Δ [%]
Pomiar długości długiego boku [mm]	139,06	139,05	139,06	139,02	139,01	139,04	0,69

* Inż. Jakub Piękoś (j.a.piekos@gmail.com) – Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych; dr inż. Przemysław Siemiński (psieminski@simr.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Budowy Maszyn; dr inż. Roman Grygoruk (r.grygoruk@wip.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Mechaniki i Poligrafii

TABLICA II. Wyniki pomiarów belki o wymiarach $140 \times 5,8 \times 4$ mm po uwzględnieniu współczynnika kompensującego błędy procesu

Wydruk wzdłuż osi X	Próbka XB1	Próbka XB2	Próbka XB3	Średnia arytm.	Δ [%]
Pomiar długości długiego boku [mm]	139,90	139,95	139,85	139,90	0,07
Wydruk wzdłuż osi Y	Próbka YB1	Próbka YB2	Próbka YB3	Średnia arytm.	Δ [%]
Pomiar długości długiego boku [mm]	139,93	139,89	139,87	139,90	0,07

Podsumowując, analizy przeprowadzone dla modelu belki o wymiarach $140 \times 5,8 \times 4$ mm pokazały, że wprowadzenie współczynnika skalowania zmniejszyło wartość błędu względnego dla wymiarów w osi X z 0,66% do 0,07%, zaś dla osi Y z 0,69% do 0,07%.

W dalszej części pracy przeprowadzono dodatkową weryfikację metody, wykorzystując dwa modele testowe o różnym kształcie (sześcián o boku 40 mm z wypełnieniem 20% oraz model 3D kości ludzkiej żuchwy), przy czym ujednolicono współczynnik kompensacji, stosując 1,007 dla wszystkich osi. Do pomiaru długości boków sześciána zastosowano ww. suwmiarkę elektroniczną, natomiast do pomiaru skomplikowanej geometrii żuchwy wykorzystano optyczny skaner 3D ATOS Compact Scan firmy GOM [9]. Na rysunku przedstawiono mapy odchyłek dla żuchwy. Uzyskane wyniki, zebrane w tabl. III i IV, pokazały pozytywny wpływ współczynnika skalującego na dokładność

odwzorowania wymiarów. W każdym przypadku uzyskano poprawę dokładności odwzorowania wymiarów po zastosowaniu współczynnika kompensującego błędy procesu, co potwierdziło poprawność zaproponowanej metody.

TABLICA III. Wyniki pomiarów wydruku modelu sześciána o boku 40 mm po uwzględnieniu współczynnika kompensującego błędy procesu

Pomiar długości boku	Próbka B1	Próbka B2	Próbka B3	Średnia arytm.	Δ [%]
wzdłuż osi X [mm]	39,97	39,90	40,00	39,99	0,03
wzdłuż osi Y [mm]	39,99	40,02	39,99	40,00	0,00

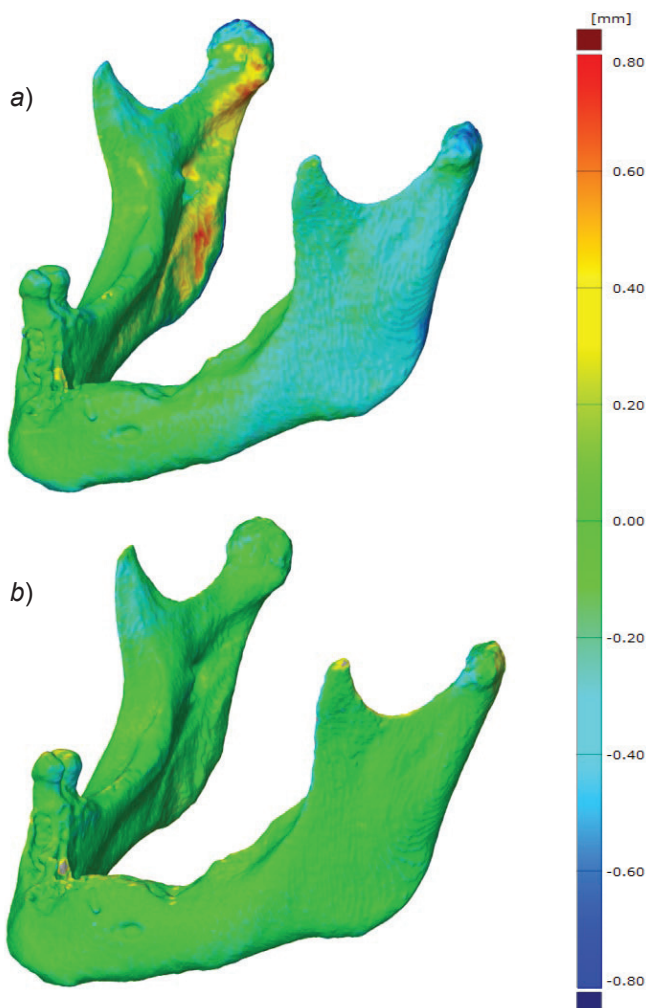
TABLICA IV. Wyniki pomiarów dla modelu kości żuchwy ludzkiej przed uwzględnieniem i po uwzględnieniu współczynnika kompensującego błędy procesu (wynik analizy map odchyłek z GOM Inspect)

bez skalowania	Średnia arytm.	Odchyl. stand.	Odchyłka (% pow.)	
	-0,14	0,23	< -0,6 mm; +0,3 mm > (94,4%)	
	Xmax	ΔX_{max}	Ymax	ΔY_{max}
	114,33	-0,79 (0,69%)	109,40	-0,78 (0,71%)
ze skalowaniem	Średnia arytm.	Odchyl. stand.	Odchyłka (% pow.)	
	-0,04	0,11	< -0,3 mm; +0,2 mm > (96,8%)	
	Xmax	ΔX_{max}	Ymax	ΔY_{max}
	115,12	0,00 (0%)	110,11	-0,06 (0,06%)

Wyniki uzyskane w ramach badań potwierdziły słuszność wprowadzenia współczynnika skalowania jako metody zwiększenia dokładności wymiarowej wykonywanych wydruków. Zaproponowany schemat działań, wykorzystujący model badawczy o nieskomplikowanym kształcie, może być wdrożony przez każdego użytkownika drukarki 3D. Przedstawione badania mogą być rozwinięte o kolejne testy i analizy, z zastosowaniem zaawansowanych systemów pomiarowych i obliczeniowych, w celu opracowania algorytmu optymalizującego proces pod kątem zwiększenia precyzji drukowanych modeli.

LITERATURA

- Budzik G., Siemiński P. *Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D*. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
- Budzik G., Dziubek T., Markowska O., Turek P. „Wpływ zmiany grubości warstwy na dokładność odwzorowania geometrii żuchwy wykonanej metodą FDM”. *Mechanik* nr 12/2015.
- Przybylski P. „Wykorzystanie technologii druku 3D w projektowaniu chwytaków robotów przemysłowych”. *Mechanik* nr 7/2016.
- Budzik G., Dziubek T., Turek P., Traciak J. „Analiza dokładności odwzorowania geometrii odcinka żuchwy wykonanego technologią FDM”. *Mechanik* nr 12/2015.
- Gregorian A., Elliott B., Navarro R., Ochoa F., Singh H., Monge E., Foyos J., Noorani R., Fritz B., Jayanthi S. „Accuracy improvement in rapid prototyping machine (FDM-1650)”. *Solid Freeform Fabrication Proceedings* (2001): 77–84.
- Dao Q., Frimodig J.C., Le H.N., Li X.-Z., Putnam S.B., Golda K., Foyos J., Noorani R., Fritz B. „Calculation of shrinkage compensation factors for rapid prototyping (FDM 1650)”. *Comput. Appl. Eng. Educ.* Vol. 7 (1999): pp. 186–195.
- Galeta T., Kljajin M., Karakašić M. „Geometric accuracy by 2-D printing model”. *J Mech Eng.* Vol. 54 (2008): pp. 725–733.
- Rahman H., John T.D., Sivadasan M., Singh N.K. „Investigation on the Scale Factor applicable to ABS based FDM Additive Manufacturing”. *PMME* 2016.
- Piękoś J., Siemiński P., Dominiak K. „Zastosowanie bezpłatnych wersji programów do drukowania modeli kości”. *Mechanik* nr 4/2016.



Rysunek. Mapy odchyłek dla modelu żuchwy: a) model przed uwzględnieniem współczynnika kompensującego oraz b) model po uwzględnieniu współczynnika kompensującego błędy procesu