

Pomiary promieni krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk

Measurements of radii of leading and trailing edges of a blade

MAREK MAGDZIAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.483

W artykule przedstawiono porównanie danych nominalnych i wyników symulacji pomiarów współrzędnościowych promieni krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk turbiny. Dane te uzyskano z użyciem oprogramowania Blade Pro oraz wybranej metody optymalizacji. W trakcie badań numerycznych punkty pomiarowe były generowane z określoną wartością rozrzutu względem przekrojów pióra łopatk.

SŁOWA KLUCZOWE: współrzędnościowa technika pomiarowa, powierzchnia swobodna, łopatk turbiny

In the article the comparison of nominal data and the results of simulations of coordinate measurements of radii of leading and trailing edges of a turbine blade is presented. That data were obtained using the Blade Pro software and the selected method of optimization. During numerical research measured points were generated around cross-sections of a turbine blade with the assumed dispersion.

KEYWORDS: coordinate measuring technique, free-form surface, turbine blade

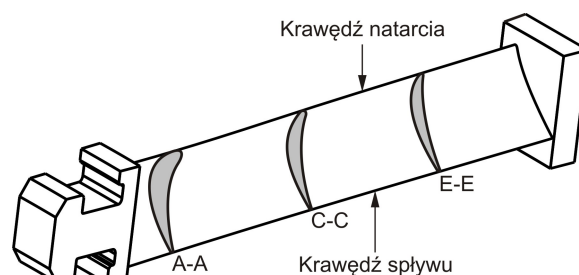
Pomiary przedmiotów zbudowanych z powierzchni krzywoliniowych lub charakteryzujących się regularnymi kształtami geometrycznymi mogą być przeprowadzane z użyciem stykowych współrzędnościowych maszyn pomiarowych, współrzędnościowych systemów redundantnych oraz bezstykowych współrzędnościowych systemów pomiaru i obrazowania [1–3]. Na dokładność pomiarów wykonywanych z użyciem tych systemów pomiarowych mają wpływ m.in. zastosowana strategia pomiarowa oraz algorytmy, które są częścią oprogramowania współpracującego z tego rodzaju urządzeniami pomiarowymi. Badania, których wyniki przedstawiono w ramach niniejszej pracy, wykonano w celu: porównania wartości promieni krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk uzyskanych za pomocą dwóch wybranych metod obliczeniowych; oceny istotności wpływu rozmieszczenia oraz liczby punktów nominalnych i pomiarowych na wartości promieni.

W artykule zaprezentowano dane nominalne oraz wyniki symulacji stykowych pomiarów współrzędnościowych dotyczące wartości promieni krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk. Dane nominalne oraz wyniki badań numerycznych uzyskano za pomocą komercyjnego oprogramowania Blade Pro oraz opracowanego programu komputerowego bazującego na wybranej metodzie optymalizacji należącej do grupy metod gradientów sprzężonych.

Porównanie danych nominalnych pióra łopatk

Promienie nominalne krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk obliczono na podstawie punktów nominalnych w wyniku zastosowania charakterystyki pomiarowej średni promień krawędzi w programie Blade Pro oraz dopasowując okręgi do tych punktów. Dopasowanie wykonano

z użyciem metody optymalizacji Fletcher'a-Reeves'a (F-R). Postać funkcji celu w przypadku optymalizacji była wynikiem zastosowanego elementu skojarzonego Gaussa. Dane nominalne obliczono dla trzech wybranych i równomiernie rozmieszczonych przekrojów pióra łopatk (A-A, C-C i E-E) (rys. 1).



Rys. 1. Analizowane przekroje poprzeczne pióra łopatk

W przypadku wybranej metody optymalizacji punkt obliczony w iteracji $k + 1$ obliczeń numerycznych wyznaczany jest z równania [4, 5]:

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \beta_k \mathbf{d}_k \quad (1)$$

gdzie: \mathbf{x}_k – punkt obliczony w iteracji k ; β_k – krok poszukiwania minimum funkcji celu w danym kierunku; \mathbf{d}_k – kierunek poszukiwania minimum funkcji celu.

Metoda Fletchera-Reevesa (F-R) jako pierwszy kierunek poszukiwania minimum funkcji celu przyjmuje kierunek największego spadku. Natomiast kierunki w kolejnych iteracjach obliczeń są sprzężone z kierunkami wyznaczonymi w iteracjach poprzednich. Kierunek poszukiwania minimum funkcji celu w iteracji k obliczany jest z użyciem wzoru [4, 5]:

$$\mathbf{d}_k = \begin{cases} -\nabla J(\mathbf{x}_k), & k = 0 \\ -\nabla J(\mathbf{x}_k) + \delta_k \mathbf{d}_{k-1}, & k \in N \end{cases} \quad (2)$$

gdzie: $\nabla J(\mathbf{x}_k)$ – gradient funkcji celu $J(\mathbf{x}_k)$ obliczony dla punktu \mathbf{x}_k .

Parametr δ_k w przypadku metody Fletchera-Reevesa jest obliczany za pomocą równania [4, 5]:

$$\delta_k = \frac{\|\nabla J(\mathbf{x}_k)\|^2}{\|\nabla J(\mathbf{x}_{k-1})\|^2} \quad (3)$$

Wartości nominalne promieni krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk porównano dla trzech różnych grup punktów nominalnych (G1, G2 i G3), które losowo wybrano dla rozważanych przekrojów pióra łopatk. Grupy te były zróżnicowane pod względem rozmieszczenia i liczby punktów nominalnych. Rozkład punktów i ich ilość modyfikowano, określając punkty startu oraz końca krawędzi natarcia i spływu pióra łopatk w poszczególnych jej przekrojach poprzecznych. Zastosowano równomierny rozkład punktów nominalnych wzdłuż krzywych reprezentujących analizowane przekroje. Całkowita liczba punktów nominalnych

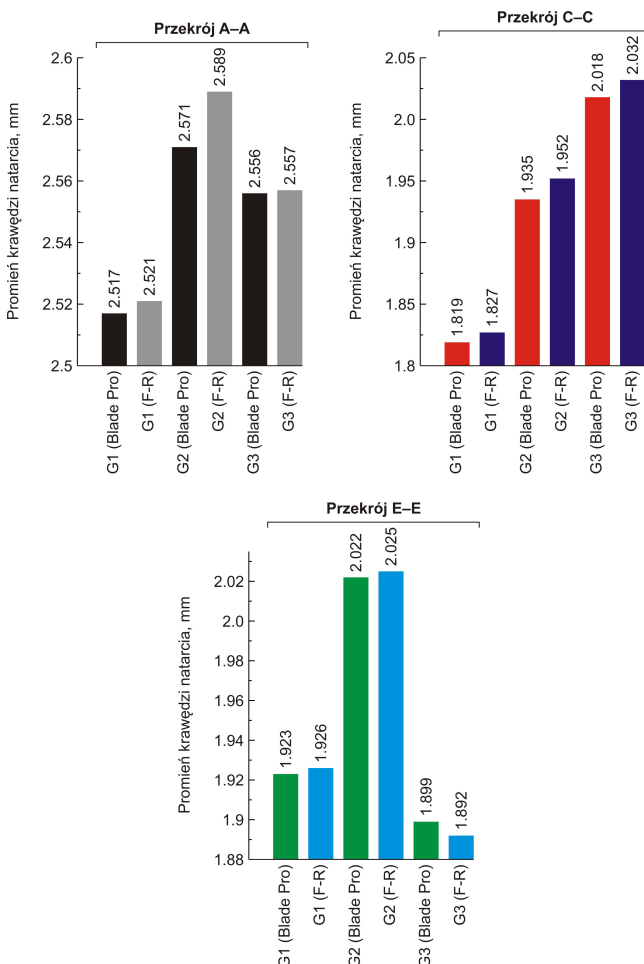
* Dr inż. Marek Magdziak (marekm@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji

w każdym przekroju wynosiła 1000. Dane wejściowe do procesu optymalizacji w postaci współrzędnych punktów nominalnych zostały wygenerowane z programu Calypso, który współpracuje z oprogramowaniem Blade Pro.

Wartości promieni rozpatrywanych krawędzi pióra łopatki obliczone z użyciem programu Blade Pro oraz wybranej metody optymalizacji były bardzo zbliżone. Największą różnicę między tymi promieniami, wynoszącą 4 μm , uzyskano w przypadku krawędzi natarcia oraz drugiej grupy punktów zlokalizowanych w przekroju C-C.

Porównanie wyników symulacji pomiarów współrzędnościowych pióra łopatki

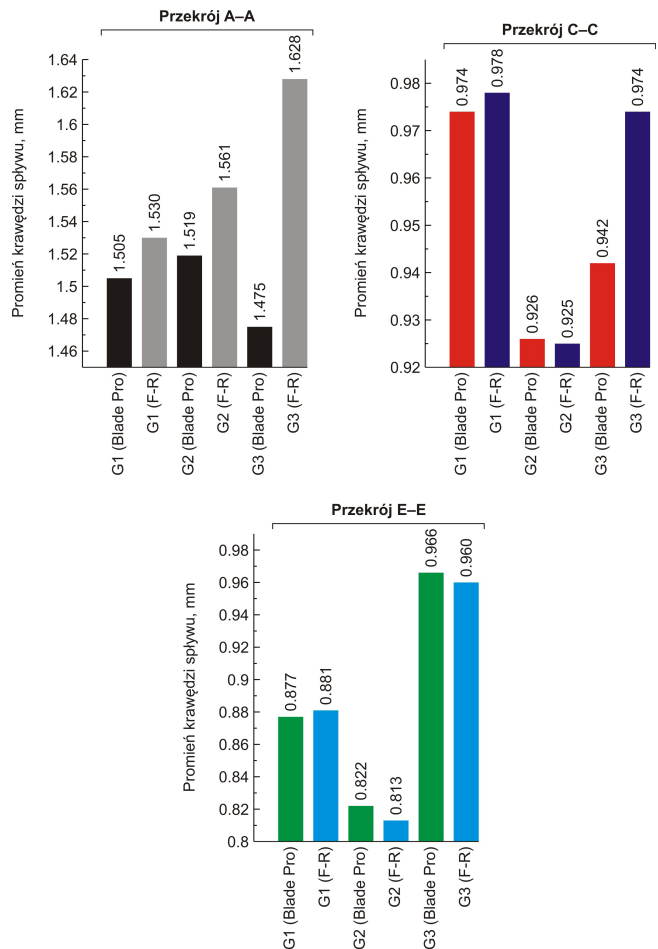
Dane do przeprowadzonych analiz utworzono z użyciem oprogramowania Calypso, którego użytkownik ma możliwość symulacji pomiaru współrzędnościowego. Zastosowano rozrzut punktów pomiarowych względem analizowanego wyrobu wynoszący $\pm 0,01$ mm. Wartości promieni krawędzi natarcia i spływu pióra łopatki obliczone za pomocą programu Blade Pro oraz wybranej metody optymalizacji dla punktów pomiarowych, które wygenerowano w trybie symulacji przedstawiono na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Wartości promieni krawędzi natarcia obliczone z użyciem oprogramowania Blade Pro i metody F-R dla trzech przekrojów oraz trzech grup punktów pomiarowych

Całkowita liczba punktów pomiarowych dla poszczególnych przekrojów poprzecznych wynosiła 1000. W przypadku metody F-R początkowe i końcowe punkty pomiarowe, na podstawie których realizowano obliczenia, były punktami najbliższymi skrajnym punktom nominalnym należącym do poszczególnych grup. W przypadku oprogramowania Blade Pro wybór punktów pomiarowych jest realizowany

automatycznie. W związku z tym obliczenia z użyciem programu i metody F-R nie mogły być przeprowadzone dokładnie dla tych samych punktów pomiarowych.



Rys. 3. Wartości promieni krawędzi spływu obliczone z użyciem oprogramowania Blade Pro i metody F-R dla trzech przekrojów oraz trzech grup punktów pomiarowych

Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki wskazują na konieczność starannego doboru metody obliczeniowej celem uzyskania dokładnych wyników pomiarów krawędzi natarcia i spływu pióra łopatki. Niezależnie od zastosowanej metody różnice między rezultatami badań symulacyjnych uzyskanymi dla różnych grup punktów są znaczące.

Zrealizowane badania mają charakter wstępny. Kolejne prace badawcze powinny dotyczyć analizy rzeczywistych wyników pomiarów pióra łopatki, wyboru najkorzystniejszej lokalizacji punktów wzdłuż rozpatrywanych krawędzi oraz implementacji wybranej metody optymalizacji w komercyjnym oprogramowaniu metrologicznym.

LITERATURA

- Mehrad V., Xue D., Gu P. „Prediction of surface reconstruction uncertainties for freeform surface inspection”. *Measurement*. Vol. 46, No. 8 (2013): pp. 2682–2694.
- Savio E., Chiffre L.D., Schmitt R. „Metrology of freeform shaped parts”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 56, No. 2 (2007): pp. 810–835.
- Śladek J. A. „Coordinate Metrology. Accuracy of Systems and Measurements”. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.
- Kawalec A., Magdziak M. „Usability assessment of selected methods of optimization for some measurement task in coordinate measurement technique”. *Measurement*. Vol. 45, No. 10 (2012): pp. 2330–2338.
- Shi Z.-J., Shen J. „Convergence of the Polak–Ribière–Polyak conjugate gradient method”. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*. Vol. 66, No. 6 (2007): pp. 1428–1441.