

Technologia wycinania aerodynamicznego profilu śmigła turbiny wiatrowej

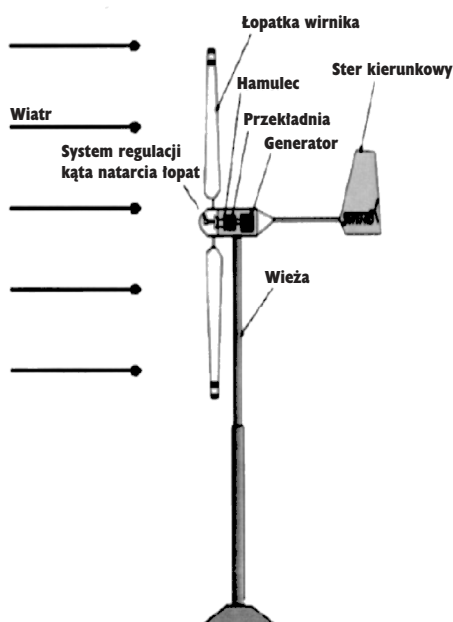
RYSZARD FILIPOWSKI, JÓZEF ZAWORA, MICHAŁ MARCZAK *

W artykule opisano technologię wycinania aerodynamicznego profilu śmigła turbiny wiatrowej wycinarką drutową WEDM w płaskiej stalowej blasze. Profil ten tworzy szablon do sprawdzania poprawności wykonania profilu śmigła na ustalonym promieniu. Zadany jest on ciągiem punktów. Technologia wycinania wzdłuż zadanego profilu realizowana jest przez interpolację liniową i kołową między określonymi punktami. Dla poprawienia dokładności wykonania profilu celowym było obliczenie dodatkowych punktów geometrii, do obliczenia których posłużono się krzywymi kubicznymi Fergusona.

Wstęp

W artykule przedstawiono procedurę wycinania profilu aerodynamicznego w szablonie przeznaczonym do pomiarów przekrojów śmigła na ustalonym promieniu turbiny wiatrowej. Na rys. 1 przedstawiono najistotniejsze elementy turbiny: łopaty wirnika, generator, przekładnia, ster kierunkowy i wieża.

Wał, podparty w piaście na łożyskach, przenosi energię ruchu obrotowego śmigła przez przekładnie do generatora, w którym przekształcana jest w energię elektryczną. Wektor strumienia powietrza napływającego na profile śmigła wytwarza siłę nośną F_n , wymuszającą ruch obrotowy śmigła [1]. Wartość siły nośnej jest funkcją m.in. kąta natarcia, pod którym strumień powietrza napływa na profil oraz kształtu profilu. Przedstawiony na rys. 2 profil



Rys. 1. Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu śmigła

łopaty śmigła jest wklęsło-wypukły i zadany jest ciągiem 257 punktów.

Przedstawiony na rys. 2 profil jest elementem szablonu przeznaczonym do kontroli przekrojów profilu śmigła na ustalonym promieniu. Wycinany jest na wycinarce drutowej ROBOFIL 440SLP, posiadającej interpolatory: liniowy i kołowy, które umożliwiają ruch roboczy wzdłuż odcinków ($G01$) lub łuków okręgów ($G02$ lub $G03$). Do wycinania profilu między dwoma punktami przyjęto interpolację liniową (funkcja przygotowawcza $G01$), zaś przy dużej krzywiznie interpolację kołową poprzez trzy punkty (funkcja przygotowawcza $G02$ lub $G03$).

Dla zmniejszenia odchyłek obróbki względem teoretycznego zarysu profilu zwiększono początkową liczbę 257 punktów leżących na profilu do liczby 440 punktów. Do tego celu opracowano autorski program o nazwie FERPRF. Program realizuje obliczenia punktów ze stałym krokiem parametrycznym za pomocą kubicznych krzywych skleja-nych Fergusona (splajny) [3, 4]. Pro-

* Dr inż. R. Filipowski (rfilipowski@meil.pw.edu.pl), dr hab. inż. J. Zawora, mgr inż. M. Marczak, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Technik Wytwarzania.

gram wycinania profilu ze zwiększoną liczbą punktów (440) na obrabiarkę ROBOFIL 440SLP z interpolacją liniową lub kołową w funkcji zmieniającej się krzywizny profilu, opracowano wykorzystując autorski program CHARSDW, który tworzy plik z rozszerzeniem SCR wczytywany do AutoCAD. W programie AutoCAD tworzy się projekt obróbki profilu w formie pliku z rozszerzeniem DXF, a następnie wczytuje się go do profesjonalnego programu PEPS CAD/CAM [2]. System PEPS CAD/CAM za pomocą postprocesora generuje wolny od błędów kod ISO, sterujący pracą wycinarki ROBOFIL 440SLP.

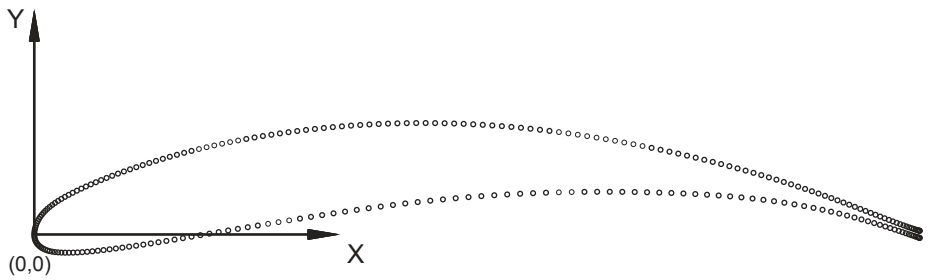
Technologia wycinania szablonu profilu aerodynamicznego na wycinarce drutowej ROBOFIL 440SLP

Wspomniany wyżej program FERPRF, bazowany na splajnach Fergusona w procesie wytwórczym szablonu śmigła wykorzystuje się dwukrotnie, mianowicie do:

- a) obliczania dodatkowych punktów na profilu przy założeniu, że promień offsetu (odsunięcia) drutu $r = 0$,
- b) obliczenia punktów offsetowych (odsuniętych) o promień r względem punktów uzyskanych w cyklu pomiaru profilu metodą skanowania przy założeniu, że promień offsetu równy jest promieniowi trzpienia walcowej sondy pomiarowej.

Obliczenie dodatkowych punktów na profilu śmigła

Każdy punkt w zbiorze określającym profil aerodynamiczny ma przydzielony: indeks i , współrzędne kartezjańskie (x_i, y_i) oraz obliczony parametr u_i wg wzoru (3). Parametr punktu pierwszego (x_1, y_1) ma wartość $u_1 = 0$, punkt ostatni (x_n, y_n) , ma wartość $u_n = 1$. W cyklu iteracyjnym dla promienia offsetu $r = 0$ obliczane są punkty na krzywych Fergusona dla wartości parametru $(u_i + \Delta u)$. Wartość kroku Δu przyjmuje użytkownik programu FERPRF w cyklu konwersacyjnym. Przyjęto standardowa wartość $\Delta u = 0,0025$, co daje liczbę 440 punktów. W cyklu obliczeń, gdy wartość $u_i + \Delta u > u_{i+1}$,



Rys. 2. Profil wklęsło wypukły w szablonie do pomiarów przekroju śmigła turbiny wiatrowej zadany ciągiem 257 punktów układzie kartezjańskim XY

wtedy krzywe Fergusona są tworzone dla kolejnych trzech wektorów punktów $(p_{i+1}, p_{i+2}, p_{i+3})$. Końcowy cykl obliczeń wykonywany jest na krzywych rozpiętych na wektorach punktów (p_{n-2}, p_{n-1}, p_n) . Współrzędne kolejnych wektorów $p_i(u)$ $(p_{ix}(u), p_{iy}(u))$ punktów na krzywej są pamiętane w zbiorze tekstowym programu. Punkty obliczone przez program FERPRF przedstawiono na rys. 3.

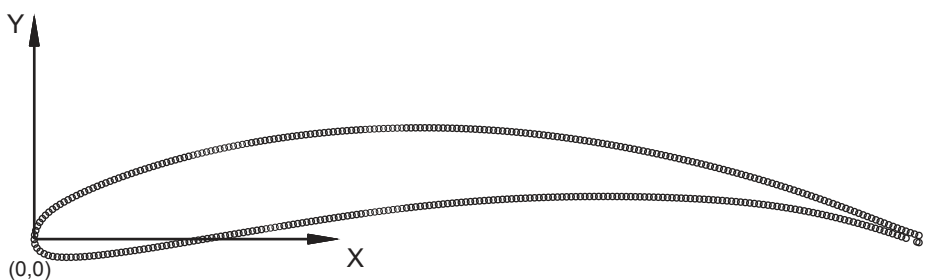
Profil aerodynamiczny szablonu z dwoma zamkami

Do celów wykonawczych, wycinany na wycinarce drutowej ROBOFIL 440SLP profil aerodynamiczny został zmodyfi-

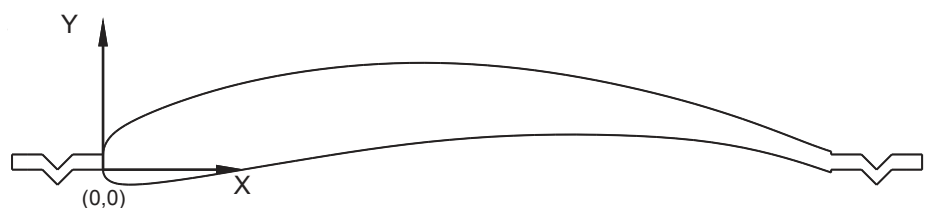
kowany. Uzupełniono go dwoma trójkątnymi zamkami zaprojektowanymi od strony krawędzi natarcia i krawędzi spływu profilu – rys. 4. Ma to na celu zapobieżenie przesuwaniu się obydwóch części profilu względem siebie podczas montażu.

Wykonano translację punktów grzbietu profilu względem punktów dolnej części profilu wzdłuż osi Y o wartość $\Delta Y = 5$ mm, równą wysokości trójkątów równoramiennych w obu zamkach.

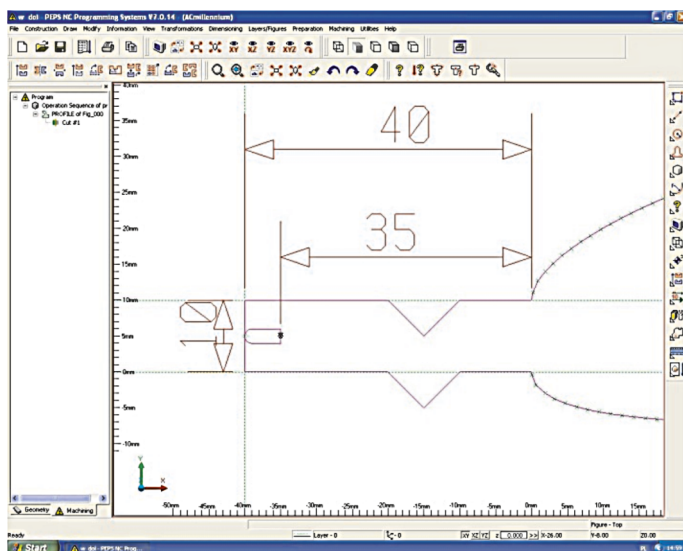
Projekt obróbki profilu aerodynamicznego (rys. 4) wykonano w systemach AutoCAD i PEPS CAD/CAM [2].



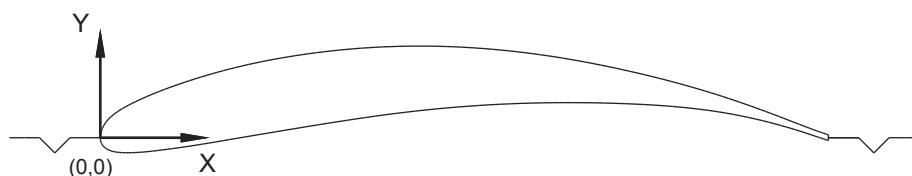
Rys. 3. Profil wklęsło-wypukły szablonu śmigła turbiny wiatrowej zadany ciągiem 440 punktów obliczonych przez program FERPRF w układzie kartezjańskim XY



Rys. 4. Schemat szablonu z dwoma trójkątnymi zamkami przy krawędziach natarcia i spływu



Rys. 5. Grafika przemieszczania drutu wzdłuż zarysu zamka i profilu generowana przez program PEPS CAD/CAM



Rys. 6. Szablon profilu aerodynamicznego z dwoma trójkątnymi zamkami przy krawędziach natarcia i spływu

Otwór startowy procesu wycinania WEDM

Otwór startowy dla ustawienia początkowego drutu znajduje się w punkcie odległym od krawędzi natarcia o 35 mm (rys. 5). Ruch drutu podczas wycinania WEDM jest realizowany: od punktu położenia początkowego drutu (35 mm) do położenia 40 mm (rys. 5), a następnie wzdłuż górnego zarysu zamka do krawędzi natarcia profilu. Dalej, po grzbiecie profilu do zamka na krawędzi spływu profilu i wzdłuż zarysu zamka do krawędzi spływu profilu. Następnie ruch jest realizowany po dolnej części profilu do zamka krawędzi natarcia profilu (rys. 5) i dalej, wzdłuż zamka, aż do punktu położenia początkowego drutu (35 mm).

Obróbka profilu w systemie PEPS CAD/CAM

PEPS jest zorientowanym obiektowo systemem CAD/CAM dla zewnętrznego programowania dowolnej maszyny

CNC. Program ten przetwarza wprowadzone dane CAD profilu, następnie za pomocą inteligentnych postprocesorów generuje kod .ISO wycinania profilu.

Górna i dolna część profilu tworzą szablon do pomiarów przekrojów śmigła na ustalonym promieniu turbiny wiatrowej, natomiast materiał znajdujący się wewnątrz wycinanego profilu jest odpadem.

Montaż szablonu profilu aerodynamicznego

Po wycianiu WEDM profilu wg trajektorii (rys. 4) półfabrykat został odcięty od strony krawędzi natarcia i krawędzi spływu prostopadle do cięciwy profilu w odległości 40 mm od krawędzi natarcia. Obie części profilu zostają złączone za pomocą dwóch trójkątnych zamków (rys. 6). Zamki zapewniają stabilność połączenia w osi X, natomiast w osi Y stabilność połączenia zapewniają dodatkowe połączenia

śrubowe (nie oznaczone na schemacie).

Szablon profilu aerodynamicznego (rys. 6) jest wykorzystywany do pomiaru półfabrykatu profilu śmigła turbiny wiatrowej na ustalonym promieniu.

Podsumowanie

W procesie technologicznym wykonania szablonu profilu śmigła na zadanym promieniu wykorzystuje się opracowane oprogramowanie (FERPRF, CHARDSW, AutoCAD, PEPS).

W pierwszej fazie program FERPRF wykorzystuje się do obliczenia liczby 440 punktów na profilu aerodynamicznym śmigła ze stałym krokiem parametrycznym. W tym przypadku przyjmuje się, że promień sondy pomiarowej $r = 0$. Profil aerodynamiczny w szablonie jest wycinany na wycinarce ROBOFIL 440SLP poprzez interpolację liniową (G01) między dwoma punktami lub interpolację kołową (G02, G03) między trzema punktami. Rodzaj interpolacji wybiera program CHARDSW, w zależności od krzywizny profilu. Ruch drutu podczas wycinania inicjuje postprocesor programu PEPS, który generuje kod ISO do wycinania profilu na wycinarce ROBOFIL 440SLP.

W drugiej fazie program FERPRF wykorzystuje się do kontroli poprawności wykonania profilu wykorzystując wyniki pomiarów podczas skanowania profilu na WMP.

Literatura

- [1] Bukowski J., Łucjanek W.: Napęd śmigłowy. Teoria i konstrukcja. Wydawnictwo MON, Warszawa 1986.
- [2] PEPS CAD/CAM SYSTEM, Germany: Camtek GmbH, Oberer Wasen 16-20, D-73630 Remschalden-Geradstetten, www.PEPS.de; UNITED KINGDOM, Vero UK Limited, e-mail: info@verosoftware.com.
- [3] Pressman R.S., Williams J.N.: Numerical Control and Computer-Aided Manufacturing, John Wiley & Sons Ed., New York 1977, p. 238-246.

- [4] J. Ye and R. Qu: Fairing of parametric cubic splines. Mathematical and Computer Modelling, volume 30, issues 5-6, 1999, pp. 121-131.