

SYMULACJA PRACY WIRNIKA NOŚNEGO WIATRAKOWCA W POCZĄTKOWEJ FAZIE PIONOWEGO STARTU

WIEŃCZYŚLAW STALEWSKI, WIESŁAW ZALEWSKI

Instytut Lotnictwa

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę numeryczną osiągnięć wirnika nośnego wiatrakowca przystosowanego do wykonywania startu typu śmigłowcowego, bez rozbiegu. W czasie wykonywania tego typu manewru wirnik jest rozpędzany przez silnik a następnie pracuje wykorzystując zgromadzoną energię kinetyczną do momentu, w którym prędkość postępową wiatrakowca umożliwi pracę w autorotacji. Konstrukcja głowicy wirnika umożliwia szybką zmianę kąta skoku ogólnego łopat w trakcie wykonywania startu. Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych napędzanego wirnika, określenie siły ciągu i zapotrzebowania mocy, prędkości obrotowej oraz na ocenę jakościową przepływu wokół łopat.

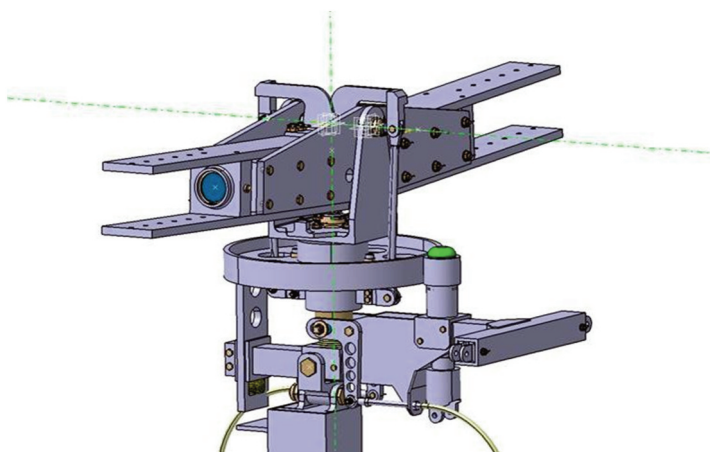
SPIS OZNACZEŃ

P	- moc napędu
T	- siła ciągu wirnika
V	- prędkość lotu
M_T	- moment obrotowy wirnika
M_y	- moment sił aerodynamicznych względem osi przekręceń łopaty
M	- liczba Macha
M_{DD}	- liczba Macha wzrostu oporu
M_{BUF}	- liczba Macha początku buffetu
OMEGA	- prędkość obrotowa wirnika nośnego
TETA0	- skok ogólny łopat wirnika
C_L	- współczynnik siły nośnej

1. WSTĘP

Podstawową różnicą między klasycznym wirnikiem wiatrakowca a wirnikiem umożliwiającym pionowy start jest konstrukcja głowicy wirnika. Głowica musi umożliwiać zmianę kąta skoku ogólnego łopat podobnie jak w wirnikach śmigłowców. Cecha ta jest wykorzystywana tylko w fazie startu. Potem wirnik pracuje ze stałym kątem skoku ogólnego łopat. Przykładową konstrukcję takiej głowicy przedstawiono na rysunku 1 [1]. W wahliwej głowicy zamontowane są dwie łopaty wirnika o stałym przekroju poprzecznym zbudowanym z profilu NACA9H12MOD [1], [2].

W przypadku wiatrakowca „pionowy start” realizowany jest w dwóch etapach. W pierwszym etapie następuje rozruch wirnika nośnego, napędzanego zazwyczaj za pomocą silnika głównego. W tym stanie wiatrakowiec pozostaje na ziemi. Prędkość obrotowa wirnika osiąga zazwyczaj poziom znacznie wyższy od nominalnej prędkości obrotowej w locie poziomym. Jednocześnie skok ogólny łopat wirnika dobrany jest tak, aby generował on małą (lub zerową) siłę ciągu, gwarantującą pozostanie wiatrakowca na ziemi. Wirnik nie może bowiem być napędzany w zawisie nad ziemią wobec braku śmigła ogonowego przeciwdziałającego efektowi momentu obrotowego działającego na kadłub. Po rozkręceniu wirnika do wymaganej prędkości obrotowej następuje odłączenie napędu zaś wirnik kręci się dzięki energii kinetycznej zgromadzonej w trakcie rozruchu. W tej fazie startu musi nastąpić szybkie przestawienie skoku ogólnego łopat na kąt gwarantujący powstanie siły ciągu zdolnej podnieść wiatrakowiec do góry. Jednocześnie dzięki sile ciągu pracującego śmigła, wiatrakowiec zaczyna się poruszać także w kierunku poziomym. W efekcie wiatrakowiec wznosi się skośnie w stosunku do powierzchni ziemi. Taki stan lotu nazywamy „pionowym startem”. Aby taki manewr mógł odbyć się z powodzeniem, konieczne jest m.in. aby spadek prędkości obrotowej obracającego się swobodnie wirnika był na tyle mały, aby dzięki generowanej przez wirnik sile ciągu możliwe było utrzymanie wiatrakowca w powietrzu (najlepiej w fazie wznoszenia) do chwili, gdy dzięki zwiększającej się prędkości postępowej wiatrakowca, wirnik zacznie się obracać z wymaganą prędkością obrotową wykorzystując zjawisko autorotacji.



Rys. 1. Głowica wirnika nośnego wiatrakowca umożliwiająca zmianę skoku ogólnego łopat w czasie pionowego startu

Na zachowanie się wiatrakowca w warunkach „pionowego startu” decydujący wpływ mają takie czynniki jak:

- własności aerodynamiczne, strukturalne i masowe wirnika nośnego,
- odpowiedni dobór prędkości obrotowej wirnika w fazie rozruchu oraz zmian skoku ogólnego łopat wirnika w trakcie wykonywania „pionowego startu”,
- charakterystyki osiągowego śmigła,
- moc silnika napędzającego śmigło i wirnik nośny (w czasie rozruchu),
- charakterystyki masowe całego wiatrakowca,
- sterowność i stateczność wiatrakowca przy małych prędkościach lotu.

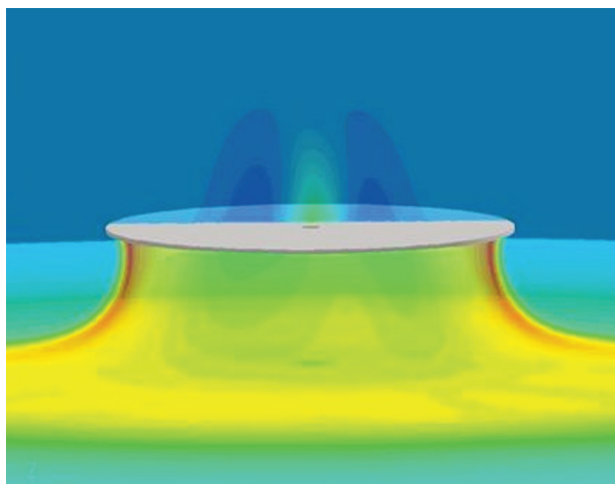
W pracy przedstawiono wyniki badań mających na celu analizę jednego z wyżej wymienionych czynników – własności aerodynamicznych wirnika nośnego w warunkach pracy

odpowiadających naziemnemu rozruchowi wirnika oraz początkowej fazie „pionowego startu”. Badania dotyczyły oceny mocy niezbędnej do rozruchu wirnika dla różnych prędkości obrotowych oraz spodziewanych wartości siły ciągu i konsumpcji mocy napędzanego wirnika. Celem badań było:

- określenie optymalnej prędkości obrotowej wirnika w fazie naziemnego rozruchu,
- analiza możliwości powstawania niekorzystnych zjawisk aerodynamicznych na łopatach wirnika w trakcie „pionowego startu”,
- przygotowanie bazy danych aerodynamicznych niezbędnych do określenia strategii doboru prędkości obrotowej i skoku ogólnego łopat wirnika optymalnych z punktu widzenia bezpiecznego i zakończonego sukcesem „pionowego startu”.

2. METODYKA OBLICZEŃ

Charakterystyki aerodynamiczne wirnika pracującego w początkowej fazie „pionowego startu” wyznaczono na drodze numerycznej symulacji, którą wykonano za pomocą programu Fluent [2] z modułem Virtual Blade Model (VBM) [3]. Program Fluent umożliwia rozwiązanie opisujących przepływ równań Naviera-Stokesa metodą objętości skończonych. Moduł VBM jest przeznaczony do uproszczonego modelowania efektów przepływowych wywoływanych przez wirniki. Rzeczywisty wirnik zastąpiony zostaje strefą komórek siatki obliczeniowej, w których umieszczone są źródła pędu. Natężenie tych źródeł wyznacza się w oparciu o Teorię Elementu Łopaty na podstawie dwuwymiarowych charakterystyk aerodynamicznych profili łopat wirnika.



Rys. 2. Modelowanie przepływu przez wirnik za pomocą programu Fluent z modułem VBM. Rysunek przedstawia rozkład ciśnienia całkowitego w otoczeniu pracującego wirnika

3. WYNIKI OBLICZEŃ

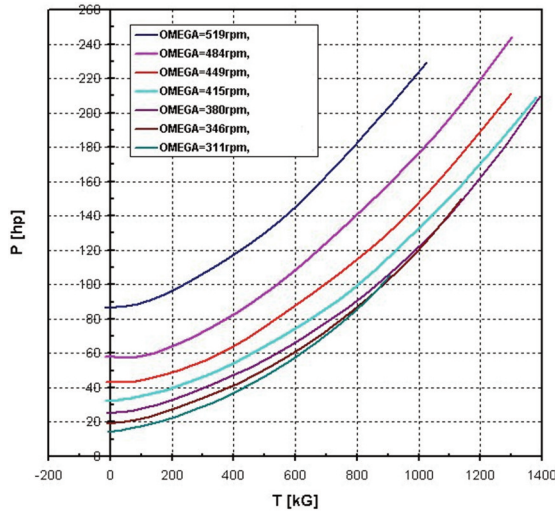
Analizowano przepływ wokół izolowanego wirnika wiatrakowca, znajdującego się w odległości trzech metrów nad ziemią. Pominęto wpływ pozostałych elementów wiatrakowca takich jak kadłub, usterzenie i podwozie. W obliczeniach wykorzystano zestaw danych aerodynamicznych profilu łopaty wiatrakowca (NACA9H12MOD) wyznaczonych dla przepływu w pełni turbulentnego [4].

3.1. Charakterystyki aerodynamiczne

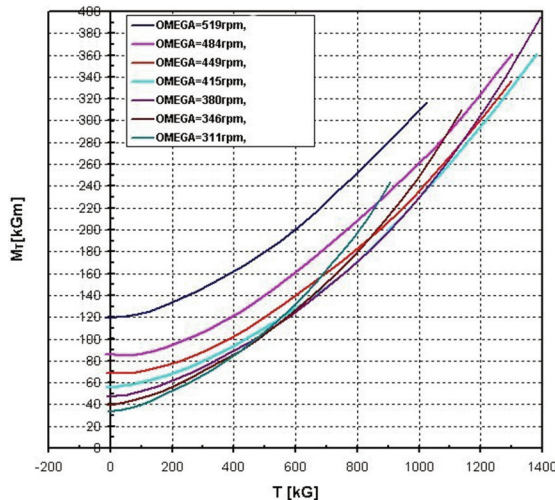
Poniżej przedstawiono podstawowe charakterystyki aerodynamiczne opisujące osiągi wirnika w warunkach początkowej fazy „pionowego startu” (wirnik napędzany, brak prędkości postępowej). Są to odpowiednio:

- zależność mocy (P) niezbędnej do napędu wirnika od siły ciągu (T) (rysunek 3),
- zależność momentu obrotowego wirnika (M_T) od siły ciągu (T) (rysunek 4),
- zależność siły ciągu (T) od skoku ogólnego łopaty wirnika ($TETA0$) (rysunek 5),
- zależność momentu sił aerodynamicznych względem osi przekreśń łopaty (M_T), dla pojedynczej łopaty (rysunek 6).

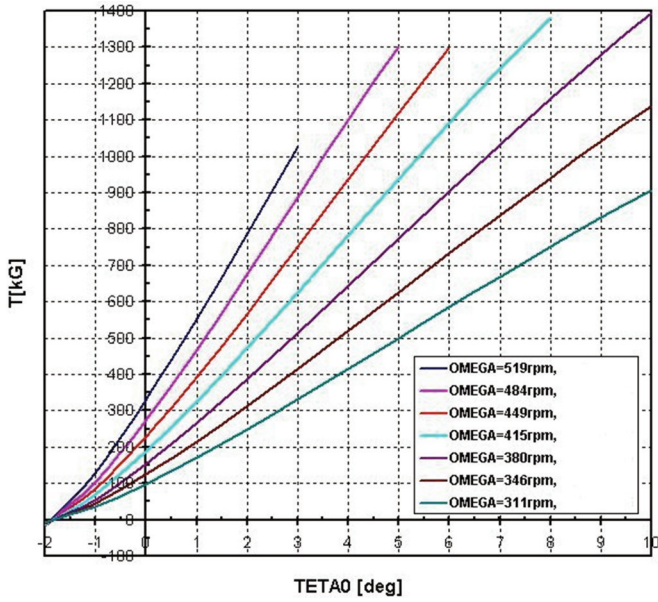
Przedstawiono również przykładowe wizualizacje przepływu wokół wirnika (rysunek 7).



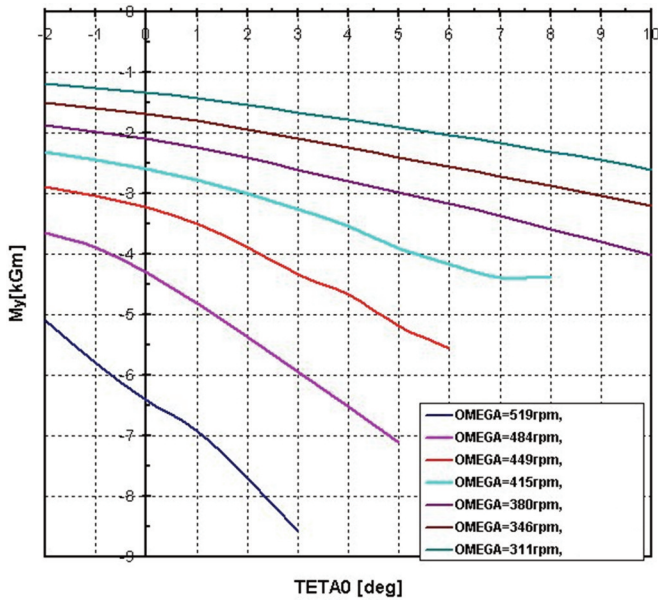
Rys. 3. Zależność mocy (P) niezbędnej do napędu wirnika od siły ciągu (T) dla różnych prędkości obrotowych wirnika



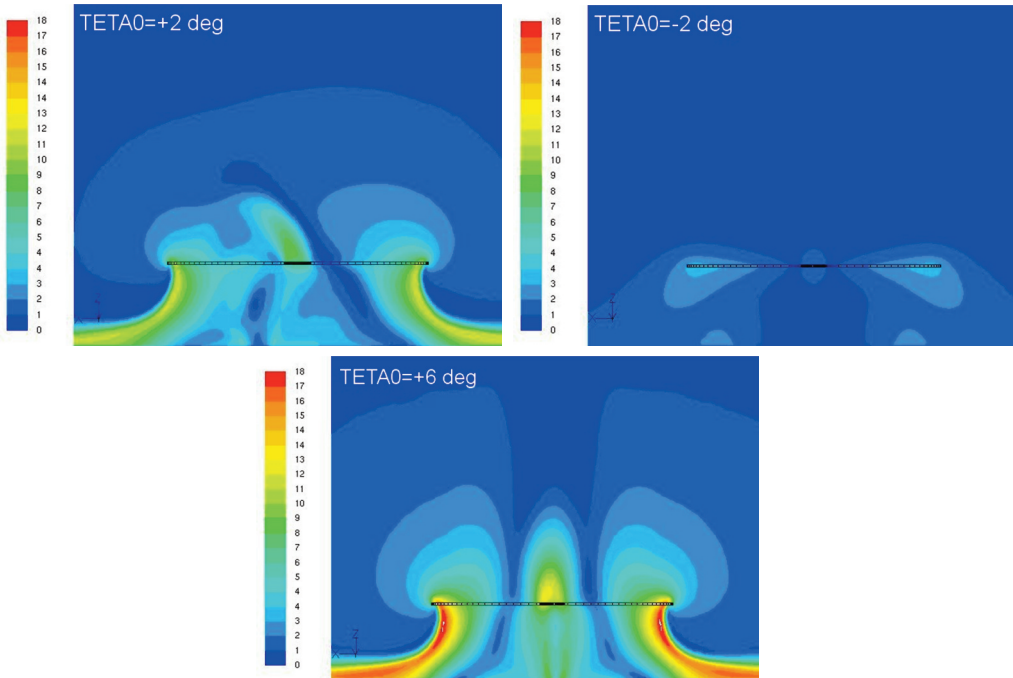
Rys. 4. Zależność momentu obrotowego wirnika (M_T) od siły ciągu (T) dla różnych prędkości obrotowych wirnika



Rys. 5. Zależność siły ciągu (T) od skoku ogólnego łopaty wirnika ($TETA0$) dla różnych prędkości obrotowych wirnika



Rys. 6. Zależność momentu sił aerodynamicznych względem osi przekręceń łopaty (M_y) działającego na pojedynczą łopatę w funkcji skoku ogólnego łopaty wirnika ($TETA0$)



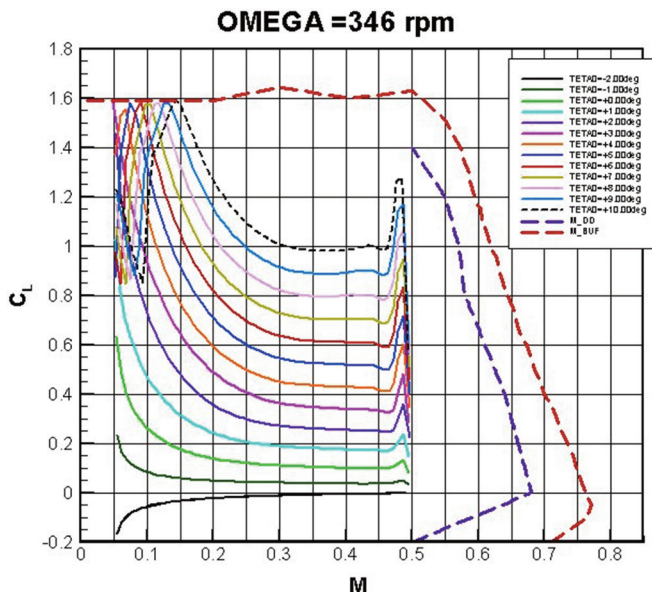
Rys. 7. Wizualizacja rozkładu prędkości indukowanej wokół wirnika dla stałej prędkości obrotowej i trzech różnych wartości kąta skoku łopaty

3.2. Jakościowa ocena przepływu na łopatach wirnika

Oprócz globalnych charakterystyk aerodynamicznych analizowano także rozkłady lokalnych parametrów przepływu w poszczególnych przekrojach łopat wirnika. Analiza ta miała na celu określenie prawdopodobieństwa powstawania na łopatach takich niekorzystnych zjawisk aerodynamicznych jak: fale uderzeniowe, oderwania przepływu, buffet, itp. Wszystkie te zjawiska mogą prowadzić m.in. do wzbudzenia niebezpiecznych drgań łopat wirnika groźących nawet zniszczeniem jego struktury.

Na podstawie wyników symulacji wykonanych programem Fluent z modułem VBM wykonano uproszczone analizy jakościowe przepływu na łopatach. Analizowano rozkłady wzdłuż rozpiętości łopaty lokalnej liczby Macha (M) i współczynnika siły nośnej (C_L) – parametrów charakteryzujących dwuwymiarowy przepływ wokół profili łopaty. Zależności $C_L = C_L(M)$ obliczone dla wybranych kątów skoku ogólnego łopaty ($TETA0$) porównywano z przebiegami liczby Macha wzrostu oporu (M_{DD}) oraz liczby Macha początku buffetu (M_{BUF}) w funkcji współczynnika siły nośnej (C_L) wyznaczonych dla profilu NACA9H12MOD [4]. Liczba M_{DD} wyznaczona przy danej wartości współczynnika C_L określa graniczną prędkość przepływu, powyżej której następuje szybki wzrost oporu na wskutek rozwijających się fal uderzeniowych i będącego ich efektem wzrastającego oporu falowego. Liczba M_{BUF} wyznaczona przy danej wartości współczynnika C_L określa graniczną prędkość przepływu, powyżej której na profilu pojawia się zjawisko buffetu – gwałtownych pulsacji obciążeń aerodynamicznych pojawiających się na skutek oderwania przepływu – zazwyczaj za mocno rozbudowaną falą uderzeniową. Krzywa $M_{BUF} = M_{BUF}(C_L)$ określa zakres warunków przepływu wokół przekroju łopaty, dopuszczalnych z punktu widzenia uniknięcia możliwości pojawienia się niebezpiecznego zjawiska buffetingu – drgań struktury pod wpływem gwałtownych pulsacji obciążeń

aerodynamicznych. Przykładowy rozkład lokalnych wartości C_L i liczb Macha wzdłuż rozpiętości łopaty na tle krzywych ograniczających M_{DD} i M_{BUF} pokazano na rysunku 8.



Rys. 8. Rozkłady lokalnej liczby Macha (M) i współczynnika siły nośnej (C_L) wzdłuż rozpiętości łopaty wirnika, dla różnych kątów skoku ogólnego łopaty ($TETA0$). Porównanie z przebiegiem liczb Macha: wzrostu oporu (M_{DD}) i początku buffetu (M_{BUF}) profilu NACA9H12MOD. Wirnik napędzany, prędkość obrotowa wirnika $OMEGA = 346$ rpm

4. WNIOSKI

Stosując metodę numerycznej symulacji przepływu wyznaczono charakterystyki aerodynamiczne wirnika nośnego wiatrakowca pracującego w początkowej fazie „pionowego startu”. Wyznaczono wartość kąta skoku ogólnego łopat $TETA0$, przy którym siła ciągu wirnika jest bliska zerowej, co pozwala zrealizować rozruch wirnika przed startem. Dokonano rekomendacji co do ograniczeń eksploatacyjnych prędkości obrotowych wirnika w celu uniknięcia niekorzystnych zjawisk aerodynamicznych powstających na łopatach wirnika.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Delega M.: *Głowica wiatrakowca IL-28 umożliwiająca pionowy start*, Prace Instytutu Lotnictwa, nr 202, Warszawa, 2009.
- [2] *FLUENT 6.1 User's Guide*, Fluent Inc., February 2003.
- [3] Simpson B.: *Virtual Blade Model*, PDF Presentation, http://www.fluvius.com.au/FLUENT_UGM05/UGM05_Virtual_Blade_Model_VBM.pdf.
- [4] Grzegorzczak K., Żółtak J.: *Obliczeniowe stacjonarne charakterystyki aerodynamiczne profilu NACA-9-H-12-MOD (część 1)*, Sprawozdanie R13003_BA2-010/10.

WIĘCZYŚLAW STALEWSKI, WIESŁAW ZALEWSKI

COMPUTATIONAL SIMULATION OF OPERATION OF GYROPLANE MAIN ROTOR IN INITIAL PHASE OF VERTICAL TAKE-OFF

Abstract

The paper presents the computational analyses of performance of gyroplane main rotor adapted to take off like a helicopter. During this type of manoeuvre the rotor is accelerated by the engine and then works using accumulated kinetic energy to the moment when gyroplane flight speed allows continuing the flight in autorotation. The design of the rotor head allows quick changing of the blade pitch angle during take-off. The calculations enable to gain the characteristics of driven main rotor, to determine thrust and demand for power, to evaluate the revolution speed and to make qualitative assessment of the flow around the rotor blades.