PRACE INSTYTUTU LOTNICTWA
219, s. 182-188, Warszawa 2011

SYMULACJA OBROTU ŚMIGŁOWCA WOKÓŁ OSI PIONOWEJ W WARUNKACH WYSTĘPOWANIA LTE

KATARZYNA GRZEGORCZYK

Instytut Lotnictwa

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki obliczeniowej analizy obrotu śmigłowca wokół osi pionowej w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu wirnika nośnego. Odpowiada to warunkom, w których istnieje groźba wystąpienia zjawiska pierścienia wirowego na śmigle ogonowym (Loss of Tail Rotor Effectiveness). Trójwymiarową symulację tego manewru wykonano przy użyciu programu FLUENT.

1. WSTĘP

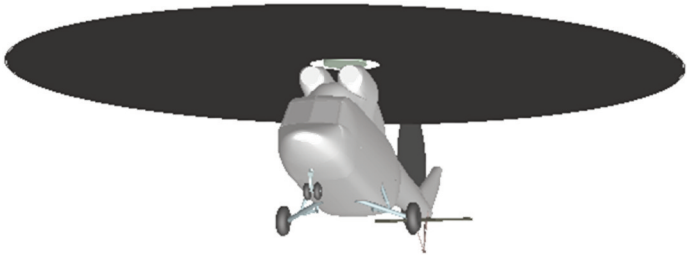
Jednym z największych zagrożeń dla śmigłowców jednowirnikowych ze śmigłem ogonowym jest utrata sterowności bocznej i kierunkowej. Może to nastąpić na skutek mechanicznego uszkodzenia układów i urządzeń sterowniczych lub w wyniku aerodynamicznych zaburzeń przepływu wokół śmigła ogonowego, do jakich zalicza się wejście w obszar pierścienia wirowego. W pracy przedstawiono rezultaty badań numerycznych, mających na celu zamodelowanie lotu śmigłowca w warunkach występowania VRS (Vortex Ring State) na śmigle ogonowym. Obliczenia wykonano dla przypadku obrotu śmigłowca wokół osi pionowej. W artykule przedstawione zostały kolejne fazy inicjacji i rozwoju zjawiska na wirniku ogonowym.

Manewr obrotu śmigłowca wokół osi pionowej przy spadku efektywności pracy śmigła ogonowego (LTE) odpowiada warunkom równoważenia się prędkości indukowanej przez wirnik ogonowy oraz zwróconej do niej przeciwnie prędkości napływu. Sprzyja to rozwojowi struktur wirowych prowadzących do spadku siły ciągu na wirniku i w najgorszym wypadku może spowodować niemożliwy do zatrzymania obrót śmigłowca wokół osi pionowej w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu wirnika nośnego.

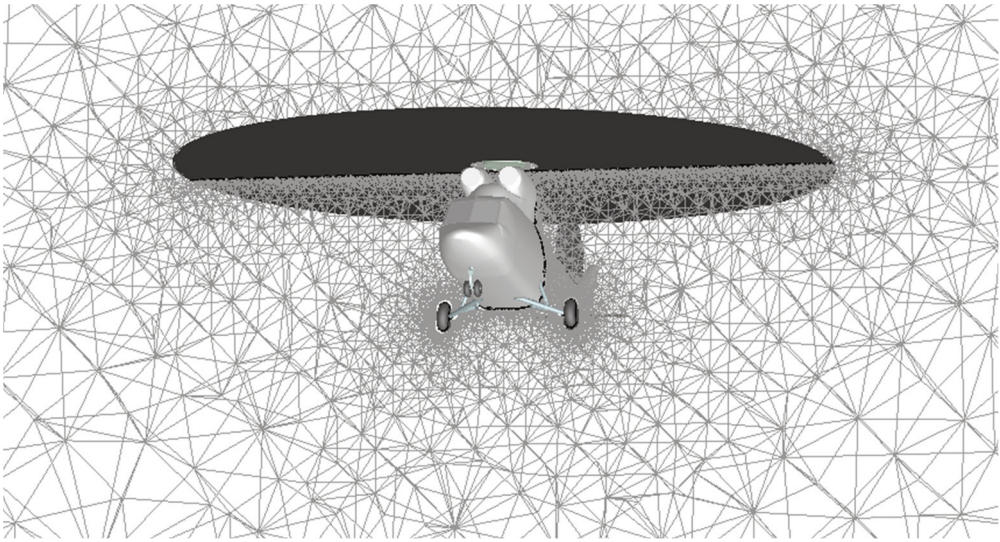
2. MODEL OBLICZENIOWY

Analizę z dziedziny aerodynamiki przeprowadzono dzięki wykorzystaniu solvera FLUENT, wchodzącego w skład tzw. Obliczeniowej Mechaniki Płynów (CFD). Zagadnienia przepływowe rozwiązywane są tutaj w oparciu o metody numeryczne. Przedmiotem badań opisywanych w niniejszej pracy był śmigłowiec PLZ W-3 „Sokół", którego uproszczoną geometrię wykorzystaną do obliczeń przedstawiono na rys. 1.

Do preprocessingu użyto programu ANSYS ICEM CFD, umożliwiającego kompletne przygotowanie modelu geometrycznego (budowę, naprawę, import i eksport geometrii) oraz budowę dowolnej siatki obliczeniowej (Tetra, Hexa, Prism, Piramid, Hybrid, Shell). Obszar modelowania stanowił sześcian o boku 50 [m] (przy czym promień wirnika nośnego śmigłowca W-3 „Sokół" R_{WN} = 7,85 [m]; promień śmigła ogonowego śmigłowca W-3 „Sokół" R_{SO} = 1,515 [m]). Trójwymiarowe obliczenia wykonane zostały z wykorzystaniem siatki niestrukturalnej, której strukturę pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Geometria obliczeniowa śmigłowca

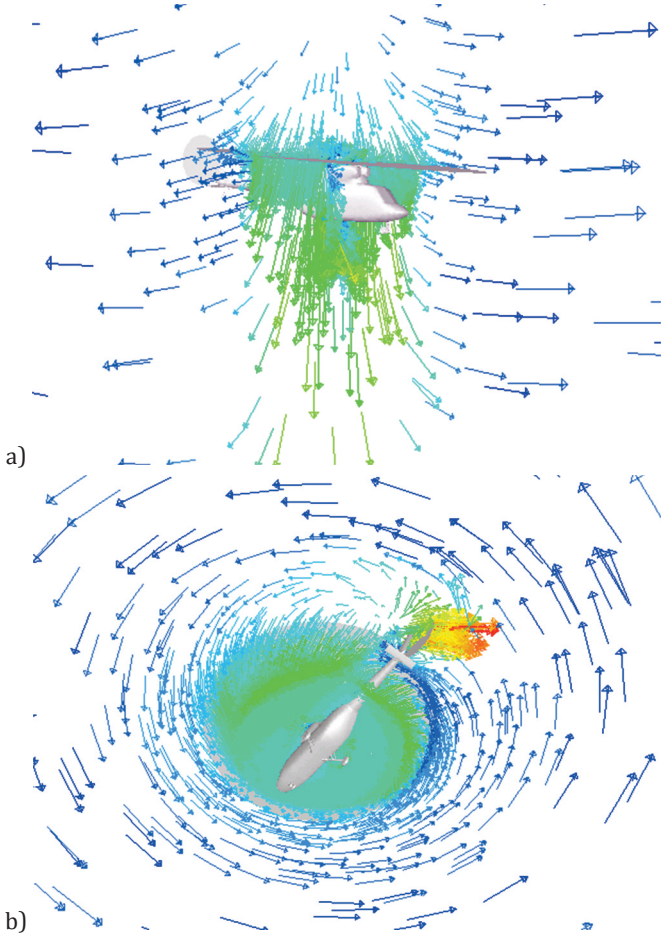


Rys. 2. Struktura siatki obliczeniowej w bezpośrednim otoczeniu modelu

Obliczenia wykonano w trybie unsteady, zatem proces obliczeniowy uwzględniał nieustalony charakter zjawiska. Do opisu zagadnienia skorzystano z jednorównaniowego modelu turbulencji Spalatra-Allmarasa. Odzworowanie pracy wirnika nośnego i ogonowego zrealizowano poprzez użycie funkcji FAN Model, który odpowiada stałemu przyrostowi ciśnienia na całej tarczy wirnika. Do warunków obliczeń założono skok ciśnienia na wirniku nośnym Δp_{WN} = 600 [Pa] oraz skok ciśnienia na śmigle ogonowym Δp_{SO} = 299 [Pa].

Wirnik nośny śmigłowca W-3 „Sokół" obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, zatem prędkość indukowana przez śmigło ogonowe zwrócona jest w tą samą stronę. Chcąc stworzyć warunki sprzyjające powstawaniu pierścienia wirowego na śmigle ogonowym należy obracać śmigłowiec w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu wirnika nośnego, zaburzając w ten sposób strumień zawirnikowy śmigła ogonowego. Obrót śmigłowca wokół osi pionowej udało się

zrealizować wykorzystując dostępną w programie FLUENT opcję Moving Reference Frame. Obliczenia przeprowadzono dla prędkości obrotu śmigłowca wynoszącej 1,45 [rad/s]. Na rys. 3 przedstawiono schemat przepływu wokół śmigłowca z zaznaczonymi wektorami prędkości w płaszczyźnie poprzecznej kadłuba (rys. 3a) oraz w płaszczyśnie wirnika nośnego (rys. 3b).



Rys. 3. Wizualizacja przepływu wokół modelu za pomocą wektorów prędkości:
a) w płaszczyźnie poprzecznej kadłuba; b) w płaszczyźnie tarczy wirnika nośnego

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW

Praca zawiera zestawienie wyników komputerowej symulacji obrotu śmigłowca wokół osi pionowej z prędkością 1,45 [rad/s], dla której obraz przepływu uzyskany w strefie śmigła ogonowego odpowiada obrazowi charakterystycznemu dla zjawiska pierścienia wirowego. Zmieniając wartość prędkości obrotu obserwowane były zmiany pola przepływu wokół śmigła ogonowego, aczkolwiek w szerokim jej zakresie widoczne były zaburzenia przepływu i zawirowania. Z przeprowadzonych analiz wynika, że dla założonego stałego przyrostu ciśnienia na śmigle ogonowym o wartości Δp_{S0} = 299 [Pa] pierścień wirowy występuje przy obrocie śmigłowca w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu wirnika nośnego z prędkością poniżej 1,5 [rad/s]. W warunkach lotu śmigłowca siła ciągu na śmigle ogonowym szybko zmienia się

osiągając wartości dodatnie i ujemne, co oznacza iż w pewnych sytuacjach osiąga niewielkie wartości. W związku z tym istnieje groźba wejścia w obszar pierścienia wirowego przy dużo mniejszych prędkościach obrotu wokół osi pionowej. Natomiast jeśli zjawisko powstanie i zdąży się rozwinąć, najczęściej nie udaje się powstrzymać obrotów śmigłowca na skutek braku możliwości sterowania.

W tabeli 1 przedstawiano wizualizację opływu śmigłowca w postaci linii prądu powstających na śmigle ogonowym.

Tabela 1. Wizualizacja przepływu w warunkach obrotu śmigłowca wokół osi pionowej

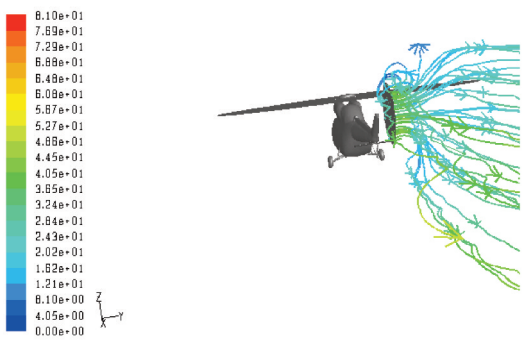
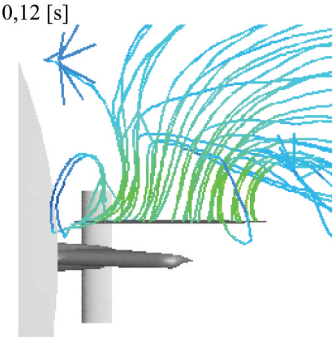
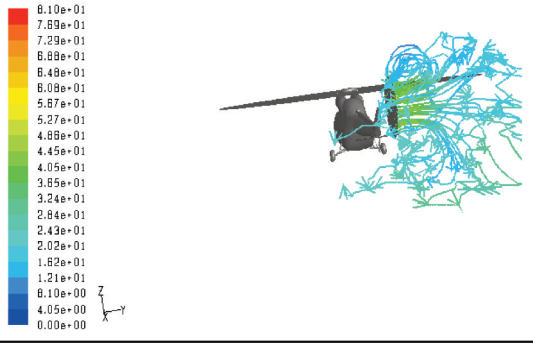
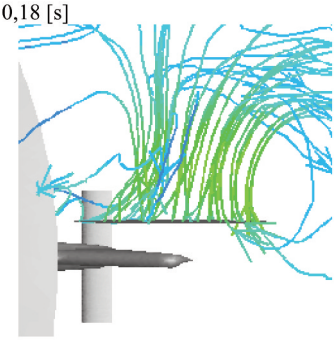
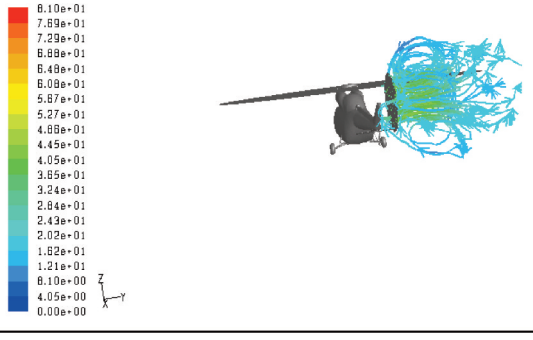
Linie prądu wokół śmigłowca	**Linie prądu wokół *SO***
	$t = 0{,}12$ [s] 
	$t = 0{,}18$ [s] 
	$t = 0{,}24$ [s]

Tabela 1. Wizualizacja przepływu w warunkach obrotu śmigłowca wokół osi pionowej *(cięg dalszy)*

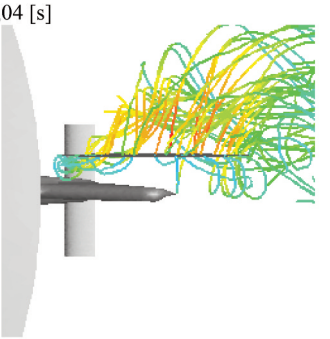
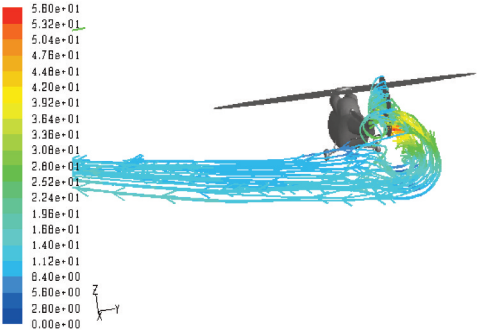
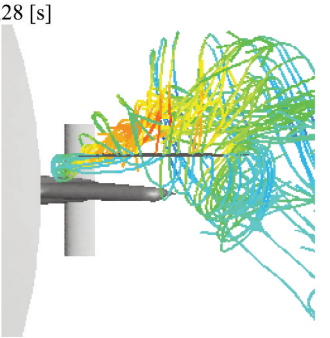
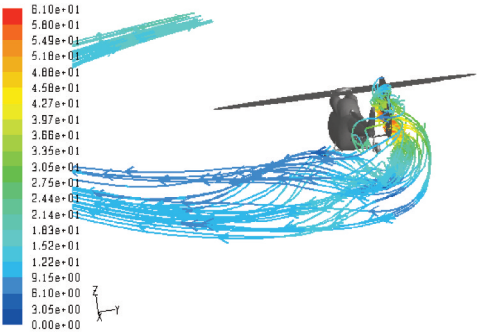
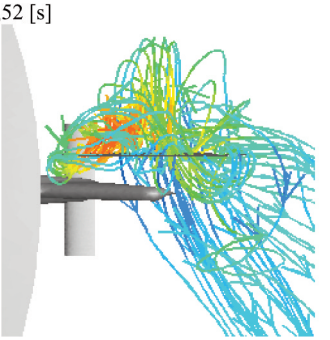
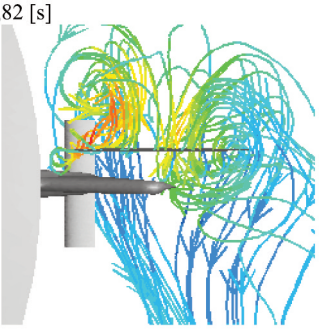
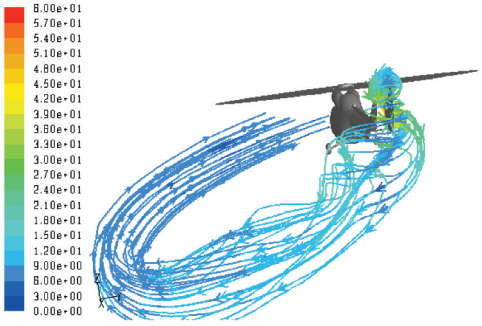
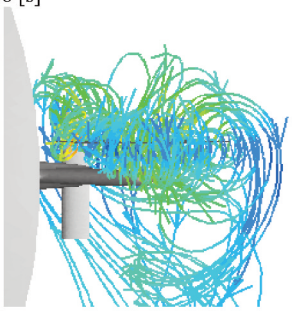
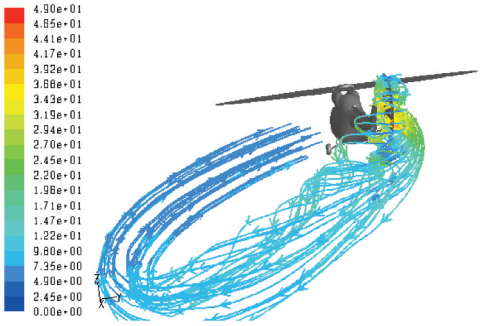
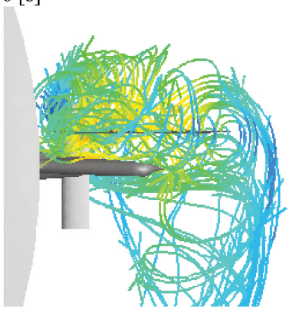
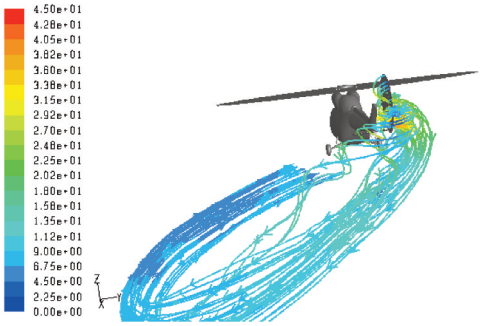
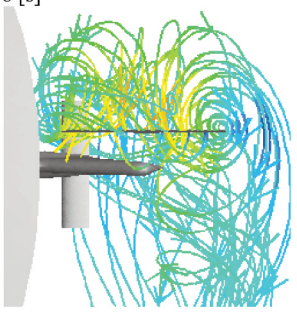
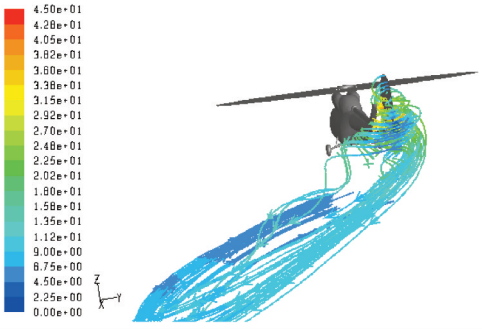
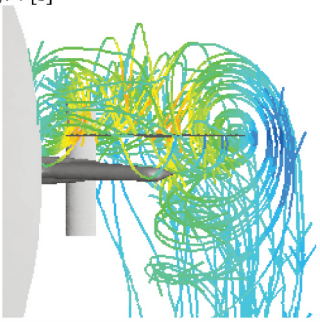
Linie prądu wokół śmigłowca	**Linie prądu wokół *SO***
	t = 2,04 [s] 
	t = 2,28 [s] 
	t = 2,52 [s] 
	t = 2,82 [s] 

Tabela 1. Wizualizacja przepływu w warunkach obrotu śmigłowca wokół osi pionowej *(cięg dalszy)*

Linie prądu wokół śmigłowca	**Linie prądu wokół *SO***
	$t = 3{,}78$ [s] 
	$t = 3{,}96$ [s] 
	$t = 4{,}38$ [s] 
	$t = 4{,}74$ [s] 

Przedstawione na powyższych schematach układy linii prądu wokół śmigłowca obrazują interakcję strumienia zawirnikowego i strumienia napływającego na śmigło ogonowe. Na początku stosunkowo jednorodny przepływ wokół śmigła ogonowego pod wpływem obrotu śmigłowca wokół osi pionowej zaczyna być wyhamowywany i zaburzany. Na podstawie rysunków przedstawionych w tabeli 1 można wyodrębnić 3 fazy powstawania i rozwoju zjawiska: początek obrotu gdzie widoczne są niewielkie zaburzenia strumienia zawirnikowego *SO*, po wykonaniu obrotu o ok. 90° widoczne są duże zaburzenia w obszarze *SO*, po wykonaniu obrotu o ok. 180° widoczne są pierścieniowe wiry wokół *SO*. Widoczny jest również spadek prędkości w strefie wirnika ogonowego, po wykonaniu obrotu o 180° prędkość spada prawie o połowę.

BIBLIOGRAFIA

[1] Grzegorczyk K.: *Analiza zjawiska pierścienia wirowego na wirniku nośnym śmigłowca*, Prace Instytutu Lotnictwa, nr 6 (201), s. 52-66, Warszawa, 2009.
[2] Grzegorczyk K.: *Pierścień wirowy na śmigle ogonowym śmigłowca jednowirnikowego*, Modelowanie Inżynierskie, Gliwice, 2011.
[3] Juriew B.N.: *Aerodynamika śmigieł i śmigłowców*, WMON, Moskwa 1956.
[4] Kowaleczko G.: *Nieliniowa dynamika przestrzennego ruchu śmigłowca*, WAT, Warszawa, 1998.
[5] White W.J.: *Unanticipated Right Yaw in Helicopters*, Advisory Circular, No. 90-95, Waszyngton, 1995.
[6] Witkowski R.: *Budowa i pilotaż śmigłowców*, WKiŁ, Warszawa, 1986.
[7] *ANSYS ICEM CFD 11.0 Tutorial Manual*, 2007.
[8] *FLUENT 6.1 User's Guide*, Fluent Inc., 2003.

KATARZYNA GRZEGORCZYK

NUMERICAL SIMULATION OF A HELICOPTER ROTATING AROUND A VERTICAL AXIS IN CONDITIONS OF LTE

Abstract

This paper presents the results of computational analysis of the helicopter around the vertical axis in the direction opposite to the direction of the main rotor rotation. This corresponds to conditions in which there is danger of appearance on the phenomenon of vortex ring state on tail rotor (Tail Rotor Loss of Effectiveness). Three-dimensional simulation of this maneuver has been performed using FLUENT code.