

WIRNIK OGONOWY ŚMIGŁOWCA TYPU MI-2 Z PROFILEM LOTNICZYM NOWEJ GENERACJI

WIESŁAW ZALEWSKI, KAZIMIERZ SZUMAŃSKI, WIĘNCZYŚLAW STALEWSKI

Instytut Lotnictwa, Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa,

Wieslaw.Zalewski@ilot.edu.pl, Kazimierz.Szumanski@ilot.edu.pl, Wienczyslaw.Stalewski@ilot.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono przykład zastosowania profilu lotniczego nowej generacji w konstrukcji łopat wirnika ogonowego śmigłowca typu Mi-2. Obecnie w kilku krajach podejmuje się próby modernizacji tego wywodzącego się z lat 60-tych XX wieku śmigłowca i dostosowania go do dzisiejszych standardów. Modernizacja obejmuje głównie zespół napędowy i awionikę. Standardowe, dwułopatowe śmigło ogonowe śmigłowca Mi-2 zostało zaprojektowane w oparciu o symetryczny profil lotniczy NACA0012. Wraz ze wzrostem mocy silników w zmodernizowanych wersjach śmigłowca, ciąg generowany przez standardowe śmigło ogonowe Mi-2 okazuje się niewystarczający do zapewnienia pełnej kontroli kierunkowej śmigłowca w niektórych warunkach lotu. Zastosowanie odpowiednio dobranego profilu lotniczego umożliwi opracowanie nowego śmigła o nieco zwiększonej sile ciągu. Pozwoli to na rozwiązanie problemu niewystarczającej siły ciągu do sterowania kierunkowego bez konieczności przebudowy układu sterowania, napędu i struktury belki ogonowej śmigłowca. W analizach wykorzystano opracowany w Instytucie Lotnictwa profil lotniczy ILT212. Profil zaprojektowano jako dedykowany do warunków pracy śmigieł ogonowych współczesnych śmigłowców z wykorzystaniem najnowszych numerycznych metod obliczeniowych i optymalizacyjnych. Przeprowadzono obliczeniowe analizy porównawcze osiągnięć śmigła ogonowego z łopatami bazującymi na profilach NACA0012 i ILT212. Dwułopatowe, kompozytowe śmigło ogonowe o zewnętrznej geometrii identycznej ze śmigłem standardowym, z łopatami zaprojektowanymi na bazie profilu lotniczego ILT212, może być interesującą ofertą dla producentów zmodernizowanych wersji śmigłowca Mi-2.

Słowa kluczowe: śmigłowce, śmigło ogonowe, profile lotnicze.

1. WPROWADZENIE

Śmigłowiec Mi-2 jest konstrukcją radziecką z 1961 roku. W latach 1965-1985 był produkowany na mocy umowy licencyjnej wyłącznie w zakładach PZL Świdnik w Polsce. Ogółem wyprodukowano ponad 5500 sztuk w wielu wersjach cywilnych i wojskowych. W trakcie produkcji wprowadzano liczne zmiany konstrukcyjne obejmujące głównie zespół napędowy, które doprowadziły do powstania śmigłowca PZL Kania. Obecnie śmigłowiec Mi-2 uważany jest za przestarzały. Jednak ze względu na zapotrzebowanie na tani, sprawdzony, łatwy w produkcji i eksploatacji lekki śmigłowiec transportowy, w takich krajach jak Polska, Ukraina, Rosja i Chiny zaobserwować można próby modernizacji tej konstrukcji i przystosowania do obecnych wymagań

rynkowych. Modernizacje obejmują zespół napędowy (silniki i przekładnia główna), awionikę oraz konstrukcję kadłuba i podwozia. Przewiduje się szersze zastosowanie nowoczesnych materiałów kompozytowych. W 2012 roku ogłoszono podpisanie umowy pomiędzy rosyjską firmą Rostwiertol i chińską firmą lotniczą Xi' Ao Aeroplane Manufacturing na produkcję zmodernizowanej wersji śmigłowca Mi-2A w liczbie 100 sztuk rocznie [1]. Modernizacja do wariantu Mi-2A obejmuje zastosowanie nowych silników turbinowych i nowoczesnej awioniki. W październiku 2015 roku, na międzynarodowej wystawie XII International Specialized Exhibition "Weapon and Safety – 2015" w Kijowie, ukraińska firma lotnicza Motor Sich zaprezentowała zmodernizowaną, wojskową wersję śmigłowca oznaczoną jako Mi-2MSB-V [2]. Modernizacja obejmowała wymianę silników turbinowych GTD-350 o mocy 294 kW na silniki AI-450M o mocy 342 kW, które zapewniają o 27% mniejsze zużycie paliwa a jednocześnie są o 25 kg lżejsze. Śmigłowiec ma również zmodernizowaną awionikę. Przednia część kadłuba została przekonstruowana z wykorzystaniem materiałów kompozytowych. Wersja przeznaczona na rynek cywilny oznaczona jest jako Mi-2MSB (rys. 1). W wersji wojskowej śmigłowiec jest wyposażony w pylony do podwieszania rakiet i stanowiska do montażu broni strzeleckiej [4]. Firma Motor Sich przewiduje nawiązanie współpracy z zakładami PZL Świdnik, które są w posiadaniu pełnej dokumentacji technicznej śmigłowca Mi-2. W 2016 roku Motor Sich planuje rozpoczęcie prac nad nowym wirnikiem nośnym dla tego śmigłowca. Docelowym rynkiem zbytu mają być państwa azjatyckie i afrykańskie, gdzie śmigłowce Mi-2 nadal znajdują się w eksploatacji i są dobrze znane oraz ukraińska armia. Próby modernizacji śmigłowca Mi-2 były prowadzone również w Polsce poza zakładami PZL Świdnik. Obejmowały analizę możliwości zastosowania uproszczonego podwozia płozowego i modyfikacje kadłuba prowadzące do znaczącego zmniejszenia masy własnej śmigłowca [5].



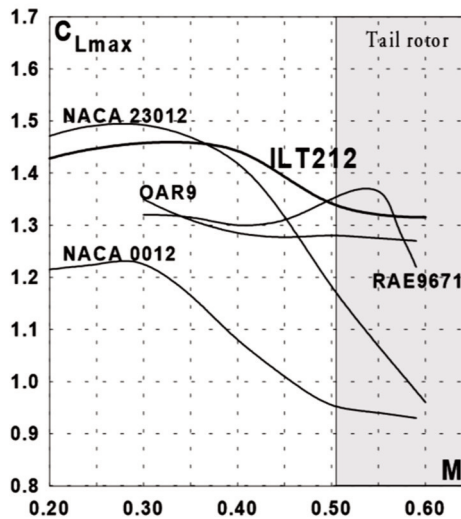
Rys. 1. Śmigłowiec Mi-2MSB [3]

Wzrost mocy silników w zmodernizowanych wersjach śmigłowca i większy moment reakcyjny od wirnika głównego powoduje, że ciąg generowany przez standardowe śmigło ogonowe Mi-2 okazuje się niewystarczający do zapewnienia pełnej kontroli kierunkowej śmigłowca, szczególnie w czasie lotu z dużą prędkością. Zastosowanie odpowiednio dobranego profilu lotniczego umożliwi opracowanie nowego śmigła o nieco zwiększonej sile ciągu. Pozwala to na rozwiązanie problemu niewystarczającej siły ciągu do sterowania kierunkowego bez konieczności przebudowy układu sterowania, napędu i struktury belki ogonowej śmigłowca. W przedstawionych analizach wykorzystano opracowany w Instytucie Lotnictwa profil lotniczy ILT212. Profil zaprojektowano jako dedykowany dla warunków pracy śmigieł ogonowych współczesnych śmigłowców z wykorzystaniem najnowszych metod obliczeniowych i optymalizacyjnych. Przeprowadzono obliczeniowe analizy porównawcze osiąągów śmigła ogonowego z łopatom na bazie profilu

NACA0012 i ILT212. Dwułopatowe, kompozytowe śmigło ogonowe o zewnętrznej geometrii identycznej ze śmigłem standardowym, z łopatom zaprojektowanymi na bazie profilu lotniczego ILT212, może być interesującą ofertą dla producentów zmodernizowanych wersji śmigłowca Mi-2.

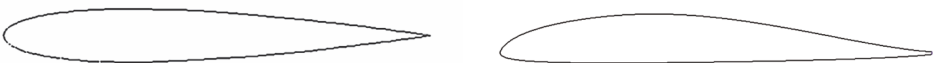
2. PROFIL LOTNICZY ILT212

Profil lotniczy ILT212 został opracowany w Zakładzie Aerodynamiki w Instytucie Lotnictwa w ramach prac na rodziną profili lotniczych nowej generacji dedykowanych dla wirników głównych i wirników ogonowych śmigłowców. Proces projektowania profili oparty był o zaawansowane numeryczne metody obliczeniowe wykorzystujące projektowanie bezpośrednie i odwrotne oraz optymalizację rozwiązania opartą na algorytmie genetycznym. Opracowana została rodzina nowoczesnych profili lotniczych ILH dla wirników głównych i ILT dla śmigieł ogonowych [6]. Profile z rodziny ILH były z powodzeniem wykorzystane w projekcie modernizacji wirnika śmigłowca PZL W-3 Sokół. Na bazie profili z rodziny ILH może zostać opracowany również nowy wirnik główny dla zmodernizowanych wersji śmigłowca Mi-2. Głównym kryterium przyjętym w czasie opracowywania profilu ILT212 było uzyskanie wysokich wartości maksymalnego współczynnika siły nośnej C_{Lmax} , szczególnie dla liczb Macha w zakresie 0,5-0,6 oraz zwiększenie doskonałości aerodynamicznej profilu. Porównanie wartości maksymalnego współczynnika siły nośnej C_{Lmax} w funkcji liczby Macha dla profilu ILT212 i innych profili stosowanych w konstrukcjach wirników ogonowych, w tym NACA0012, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Porównanie maksymalnego współczynnika siły nośnej C_{Lmax} dla profili stosowanych w wirnikach ogonowych śmigłowców [6]

Na rysunku 3 przedstawiono porównanie geometrii profilu NACA0012 i ILT212.



Rys. 3. Porównanie geometrii profilu NACA0012 i ILT212 [W. Zalewski, 2015]

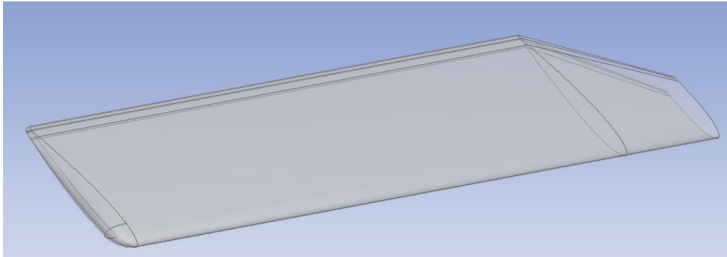
2. WIRNIK OGONOWY ŚMIGŁOWCA Mi-2

W tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane geometryczne i masowe standardowego śmigła ogonowego śmigłowca Mi-2.

Tab. 1. Podstawowe dane geometryczne i masowe standardowego śmigła ogonowego śmigłowca Mi-2

Nazwa	Wartość	Jednostka
Średnica śmigła ogonowego	2,7	[m]
Liczba łopatek	2	[-]
Współczynnik wypełnienia	2	[-]
Maksymalny kąt nastawienia śmigła ogonowego	+20°±20'	[°]
Minimalny kąt nastawienia śmigła ogonowego	-10°±20'	[°]
Kąt nastawienia łopaty w stanie równowagi momentu reakcyjnego wirnika głównego w zawieszce	+5°±20'	[°]
Nominalna prędkość obrotowa śmigła ogonowego	1445	[obr/min]
Masa łopaty śmigła ogonowego	4	[kg]
Kierunek obrotów lewy – patrząc od strony napędu	-	-
Cięciwa profilu	0.22	[m]
Profil NACA0012, w wersji zmodyfikowanej ILT212,	-	-
Odległość mocowania łopaty do ramienia piasty od środka obrotów	0.25	[m]

Model geometryczny łopaty standardowego śmigła przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Model geometryczny łopaty śmigła ogonowego z profilem NACA0012 [W. Zalewski 2015]



Rys. 5. Model geometryczny łopaty śmigła ogonowego z profilem ILT212 [W. Zalewski, 2015]

Przy zachowaniu geometrii obrysu i długości cięciw standardowej łopaty śmigła ogonowego dla śmigłowca Mi-2, profil NACA0012 zastąpiony został alternatywnym profilem niesymetrycznym

ILT212. Końcówka łopaty została zmodyfikowana i dopasowana do nowego profilu, jednak nie była optymalizowana pod kątem poprawności opływu. Zmodyfikowaną geometrię łopaty przedstawiono na rysunku 5.

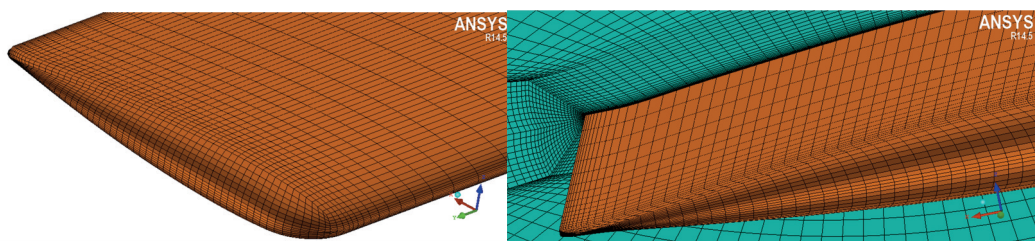
Położenie osi przekręceń zostały zdefiniowane na 21.8% długości cięciwy dla łopaty zbudowanej na bazie profilu lotniczego NACA0012 i na 25% długości cięciwy dla łopaty zbudowanej na bazie profilu lotniczego ILT212.

3. MODEL OBLICZENIOWY

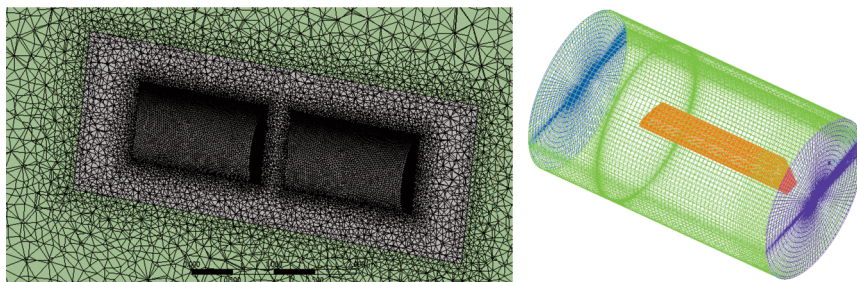
Do obliczeń wykorzystano pakiet Ansys Fluent rozwiązujący równania Naviera-Stokesa metodą objętości skończonych. Wokół łopaty wydzielono domenę obliczeniową w kształcie walca, którą podzielono przy użyciu elementów sześciociennych typu hexahedral. Natomiast dalekie pole przepływu zdyskretyzowano wykorzystując elementy typu tetrahedral (rys. 5 i 6). Obie siatki połączone były za pomocą warunku brzegowego typu interface. W modelu obliczeniowym przyjęto poniższe założenia:

- płyn ściśliwy, lepki,
- model turbulencji Spalart-Allmaras (założony przepływ w pełni turbulentny),
- obliczenia w stanie ustalonym dla wybranych kątów nastawienia łopat,
- przyjęto sztywne zamocowanie łopaty.

Model śmigła wykonano jako pojedynczą łopatę z warunkiem periodyczności do obliczeń osiągow dla pracy statycznej oraz pełny model 3D śmigła do obliczeń z symulacją lotu śmigłowca. Do symulacji ruchu obrotowego i zmiany kąta nastawienia łopaty wykorzystywano metodę Moving Reference Frame i Moving Mesh. Obliczenia wykonywano metodą RANS i URANS. Charakterystyki śmigła ogonowego przedstawione w dalszej części pracy wykonano dla warunków pracy statycznej śmigła w zawisie śmigłowca (bez prędkości postępowej).

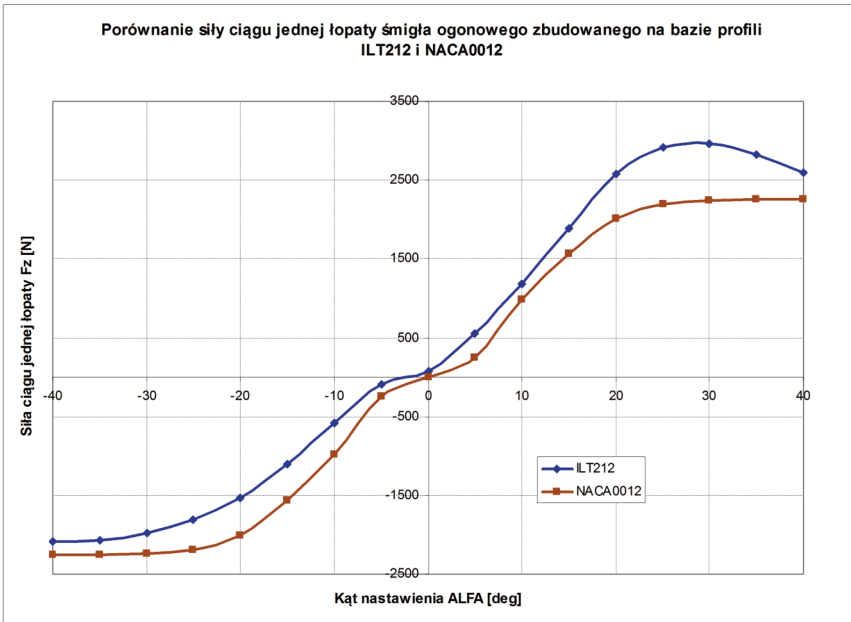


Rys. 6. Wysokiej jakości siatka obliczeniowa z elementami typu hexahedral na powierzchni łopaty (po lewej stronie) i w bliskim otoczeniu łopaty z warstwą przyścienną (po prawej stronie) [W. Zalewski, 2015]

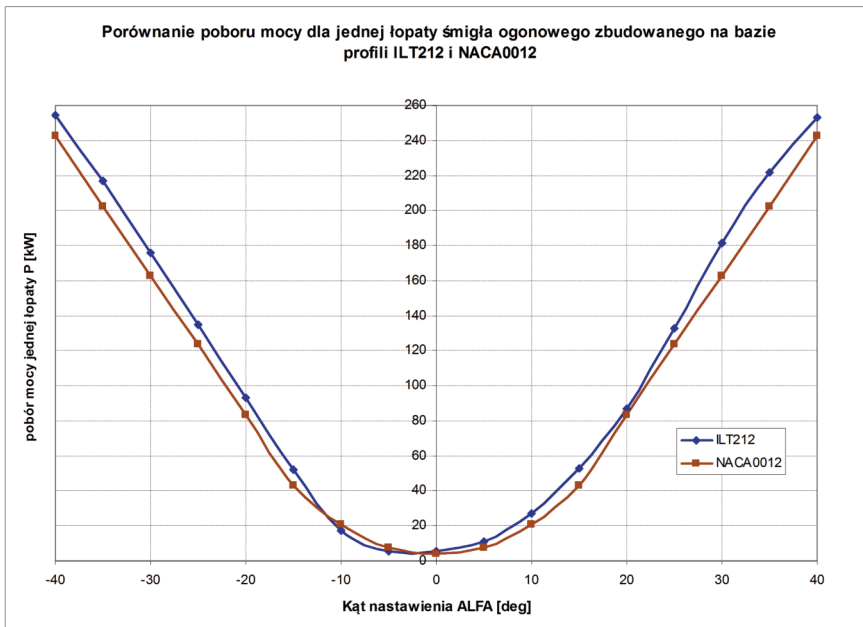


Rys. 7. Przekrój przez siatkę obliczeniową z elementami typu tetrahedral dyskretyzująca dalekie pole przepływu oraz siatka obliczeniowa w postaci walca wokół pojedynczej łopaty śmigła ogonowego [W. Zalewski, 2015]

4. WYNIKI OBLICZEŃ



Rys. 8. Porównanie wartości siły ciągu dla pojedynczej łopaty śmigła ogonowego w zależności od kąta nastawienia łopaty dla profili NACA0012 i ILT212 w warunkach pracy śmigłowca w zawisie na wysokości 0 [W. Zalewski, 2015]

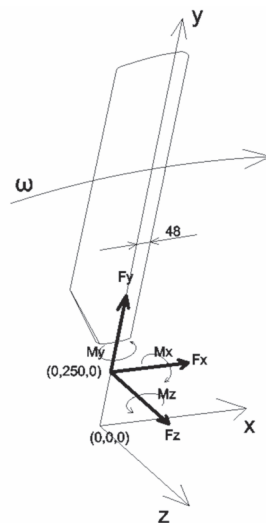


Rys. 9. Porównanie poboru mocy dla pojedynczej łopaty śmigła ogonowego w zależności od kąta nastawienia łopaty dla profili NACA0012 i ILT212 dla pracy śmigłowca w zawisie na wysokości 0 [W. Zalewski 2015]

Powyżej przedstawiono wyniki obliczeń w warunkach pracy statycznej w zawisie dla śmigła ogonowego dla następujących warunków pracy:

- prędkość obrotowa śmigła ogonowego: 1445 obr/min,
- prędkość końcówki łopaty śmigła: 204,5 m/s ($M = 0,601$),
- badany zakres kątów nastawienia łopat (teoretyczny): od -40 stopni $+40$.

Zależność siły ciągu oraz poboru mocy w funkcji kąta nastawienia łopaty śmigła przedstawiono na rysunkach 8 i 9. Przyjęty schemat oznaczeń sił aerodynamicznych przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Przyjęty schemat oznaczeń sił aerodynamicznych [W. Zalewski, 2015]

5. WNIOSKI

W ramach prezentowanych badań analizowano możliwość zastąpienia symetrycznego profilu lotniczego NACA0012 stosowanego w łopatach śmigła ogonowego śmigłowca Mi2 przez niesymetryczny profil lotniczy ILT212. Głównym celem zmiany było zwiększenie maksymalnej siły ciągu śmigła ogonowego. Zwiększenie siły ciągu powinno pozwolić na rozwiązanie problemów ze sterowaniem kierunkowym śmigłowca, jakie stwierdzono w zmodernizowanych poprzez zwiększenie mocy silników wariantach Mi2, a jednocześnie być na tyle nieznaczne, że nie będzie wymagało przebudowy układu przekazywania mocy, układu sterowania i struktury belki ogonowej śmigłowca. W wyniku przeprowadzonych symulacji numerycznych dla warunków pracy śmigła ogonowego w zawisie stwierdzono:

- śmigło z profilem ILT212 przy maksymalnym dodatnim kącie nastawienia łopat $+20$ stopni (przeciwdziałanie momentowi reakcyjnemu od wirnika głównego) zapewnia przyrost siły ciągu o około 28% (rys. 8);
- pobór mocy w takich warunkach jest zbliżony do poboru mocy standardowego śmigła z profilem NACA0012 (rys. 9);
- śmigło z profilem ILT212 przy maksymalnym ujemnym kącie nastawienia łopat -10 stopni (działanie zgodne z momentem reakcyjnym wirnika głównego) ma siłę ciągu mniejszą o około 40% od śmigła standardowego (rys. 8);
- pobór mocy w takich warunkach jest mniejszy od poboru mocy standardowego śmigła z profilem NACA0012 o około 10% (rys. 9);
- w razie potrzeby różnicę w sile ciągu w stosunku do śmigła standardowego można zniwelować poprzez przestawienie ogranicznika kąta nastawienia łopat do wartości -14 stopni (rys. 9).

Dwułopatowe, kompozytowe śmigło ogonowe o zewnętrznej geometrii identycznej ze śmigłem standardowym, z łopatami zaprojektowanymi na bazie profilu lotniczego ILT212, może być interesującą ofertą dla producentów zmodernizowanych wersji śmigłowca Mi-2.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sputniknews, "Russia, China to Jointly Build Mi-2A Helicopters", <http://sputniknews.com/world/20120206/171177332.html>
- [2] Motor Sich, "XII International Specialized Exhibition "Weapon and Safety – 2015", <http://www.motorsich.com/eng/press/news/news-30.09.2015/>
- [3] Motor Sich, "First flight of upgraded helicopter Mi-2MSB", http://www.motorsich.com/eng/press/news/polet_Mi2MSB/
- [4] Defence24, "Mi-2MSB - Ukrainian Combat Variant Of The Mi-2 Helicopter", <http://www.defence24.com/265849,mi-2msb-ukrainian-combat-variant-of-the-mi-2-helicopter>
- [5] Choiński A., 2015, „Mi-2 na płozach – „prywatna” modyfikacja polskiego śmigłowca”, Prace Instytutu Lotnictwa, 4, (241), s. 33-41.
- [6] Kania W., Stalewski W., 2000, "Development of new generation main and tail rotors blade airfoils", ICAS 2000 Congress.

TAIL ROTOR FOR Mi2 TYPE HELICOPTER WITH NEW GENERATION AIRFOIL

Abstract

The article presents an example of application of modern, new generation airfoil in design of Mi-2 type helicopter tail rotor blades. Currently several countries are trying to modernize this helicopter, which derived from the '60s of the twentieth century, and bring it up to today's standards. Modernization process includes mainly the power unit and avionics. Standard dual blades tail rotor for Mi-2 helicopter has been designed based on a symmetrical airfoil NACA0012. With the increase of engines power in modernized versions of the helicopter, the thrust generated by the standard Mi-2 tail rotor appears to be insufficient to provide full directional control of the helicopter in certain flight conditions. The use of properly selected airfoil allows the development of a new rotor with a slightly increased thrust. This could solve the problem of not enough thrust for directional control without need to rebuild the control system, drive and the structure of the tail boom of the helicopter. The study was made with the use of ILT212 airfoil, which was designed in the Institute of Aviation. The airfoil was designed as dedicated for the working conditions of the tail rotor blades of modern helicopters, with the use of the latest numerical computational and optimization methods. The simulation was made by resolving Navier Stokes equations by finite volume method with use of Moving Mesh and Moving Reference Frame techniques. A hover was chosen as flight condition of helicopter for comparison of performance of the tail rotor blades with airfoils NACA0012 and ILT212. New dual blades composite tail rotor with the external geometry identical to the standard Mi 2 tail rotor, designed with the airfoil ILT212 could be an interesting offer for manufacturers of modern versions of Mi-2 helicopter.

Keywords: helicopters, tail rotors, airfoils.