

NOWOCZESNE WIELOŁOPATOWE ŚMIGŁO OGONOWE DO ŚMIGŁOWCA IS-2

mgr inż. **Mirosław Bernard PIŁAT**
Politechnika Lubelska

W artykule została przedstawiona koncepcja nowoczesnego śmigła ogonowego wielołopatowego do śmigłowca lekkiego IS-2. Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne skupia w sobie najważniejsze cechy nowoczesnego śmigła ogonowego zgodnego z powszechnie obowiązującymi tendencjami. Przedstawiono opis zaproponowanej konstrukcji wraz z ramowym zarysem technologicznym oraz wyniki wstępnych analiz obliczeniowych.

1. WSTĘP

Artykuł przedstawia modyfikację 4-łopatowego śmigła ogonowego śmigłowca lekkiego IS-2 poprzez zastąpienie elastomerowego tłumika-podpory łożyskowaniem promieniowym nasady łopaty z zachowaniem torsyjowego przenoszenia sił odśrodkowych. Aktualny projekt przewiduje 4-łopatowe obudowane śmigło typu DTR (**D**ucted **T**ail **R**otor = otunelowane śmigło ogonowe), które poddano modyfikacji konstrukcyjnej.

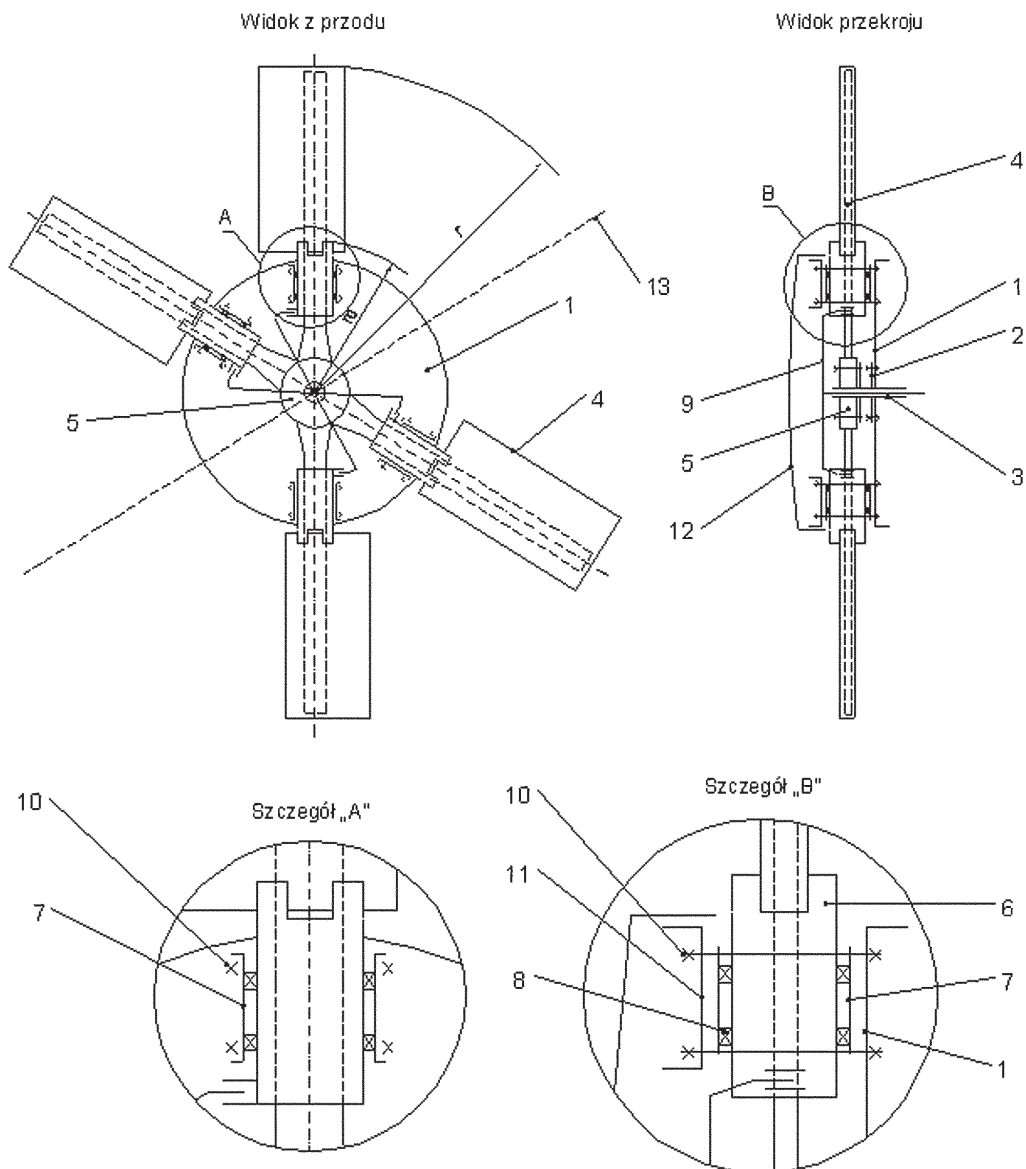
Analizując koncepcję nowego śmigła ogonowego wprowadzono tylko niezbędne zmiany a wykorzystano te istniejące rozwiązania oraz zespoły konstrukcji, które spełniają wszystkie wymogi obecnie stosowanej technologii wytwarzania. Podczas analizy nowego śmigła ważne jest aby spełniały warunki rozwojowości wersji i łatwej ich modyfikacji konstrukcyjnej, szczególnie w odniesieniu do zwiększania wielołopatowości.

2. ZAŁOŻONA KONSTRUKCJA ŚMIGŁA OGONOWEGO

Wstępne założenia projektowo-konstrukcyjne:

- śmigło typu DTR, (śmigło pracuje w obudowie, która jest częścią statecznika pionowego),
- 4 lub 6 łopat (6 łopat dotyczy wersji rozwojowej śmigłowca IS-2 o większej masie i większej mocy napędu),
- zastosowanie nowoczesnego profilu na łopaty śmigła ogonowego opracowanego przez Instytut Lotnictwa [6, 7],
- wyeliminowanie łożysk promieniowych (kulkowych, wałeczkowych, igiełkowych) i przegubów a tym samym zredukowanie liczby części zespołu śmigła ogonowego,
- zastosowanie kompozytowego torsjonu, który zastąpi rolę przegubów w osi i przekręceń łopaty,
- kompozytowa budowa łopat,
- niesymetryczny rozstaw łopat śmigła ogonowego.

Wstępny schemat przedstawiono na rysunku 1. Opis w tekście. Zaproponowana koncepcja skupia w sobie wszystkie cechy jakie powinno posiadać śmigło ogonowe. Podstawowym elementem jest cylinder na którego promieniu umieszczone są łopaty. Całość cylindra składa się z okrągłej płyty (1) przykręconej do głowicy (2). Głowica (2) osadzona jest na wale wirnika (3) i połączona jest z węzłem spinającym torsjony (5) (węzeł łączy moduły dwułopatowe). Moduł łopaty (4) składa się z dwóch łopat i jednego wspólnego torsjonu. U nasad łopat zamocowany jest przegub osiowy (6) osadzony w gnieździe (7) (gniazdo jest dzielone na dwie części), łożyskowanym (8) dwoma łożyskami ślizgowymi. Tuleja/przegub osiowy posiada gniazdo łączenia dźwigni przekręceń (9) oraz ciężarek ustawiający łopatę na właściwy kąt natarcia podczas utraty sterowania przez pilota. Płyta (1), gniazdo przegubu (7) skręcone są śrubami (10) razem z płytą zewnętrzną (11) o kształcie płaskiego pierścienia. Całość zakrywa pokrywa (12). Przedstawione rozwiązanie może być konfiguracją zarówno 4- jak i 6-łopatową, do przedstawionej koncepcji można dołożyć dodatkowy moduł łopat (13).



Rys. 1. Schemat koncepcyjny 4-łopatowego śmigła ogonowego IS-2

3. WSTĘPNY DOBÓR PARAMETRÓW ŚMIGŁA OGONOWEGO

Jako, że powstawały już wcześniej rozwiązania konstrukcji śmigłowca IS-2 pewne parametry dotyczące śmigła ogonowego zostały przyjęte. Proponowane rozwiązanie jest nową koncepcją posiadającą pewne cechy konstrukcyjno projektowe już istniejące takie jak statecznik pionowy, prędkość obrotowa wału śmigła, przekładnia kątowa, promień śmigła ogonowego czy też konstrukcja łopaty.

Liczba łopat śmigła

Najczęściej liczba łopat śmigła ogonowego wynosi średnio 2/3 łopat wirnika głównego. W pracy rozważany warianty wielołopatowego śmigła ogonowego uwzględnia śmigło 4-łopatowe jako wariant podstawowy dla wersji istniejącej śmigłowca IS-2 oraz wariant 6-łopatowy dla śmigłowca w wersji rozwojowej cięższej/większej.

Ze względu na budowę łopat śmigła jaką przyjęto do projektu można było uwzględnić śmigło ogonowe o parzystej liczbie łopat (krotność modułów łopat, 2 lub 3 moduły).

Kąty rozstawienia łopat

Jako podstawowe kąty pomiędzy łopatami założono $55^\circ/125^\circ$ dla śmigła 4-łopatowego. W przypadku wersji podstawowej śmigła ogonowego (4 łopaty) przyjęto wstępnie rozstaw kątów taki sam jaki występuje na śmigłowcu *AH-64 Apache* oraz *Mi-28*, co wg literatury istotnie wpłynęło na obniżenie emisji hałasu tych śmigłowców.

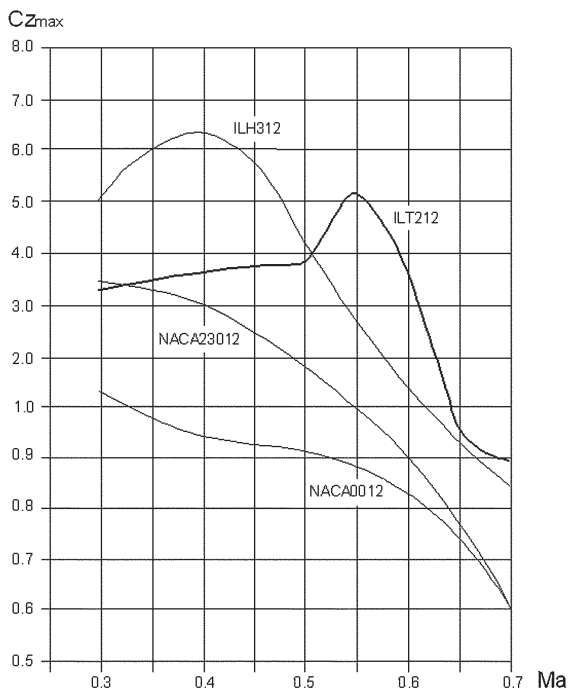
Promień śmigła

Promień wirnika śmigła ogonowego można wyznaczyć z teorii strumieniowej lub teorii elementu łopaty. Przy proponowanym rozwiązaniu śmigła ogonowego przyjęto promień $r = 0.432\text{m}$ (taki promień wyznaczono we wcześniejszych rozważaniach dotyczących śmigła ogonowego) z tego obszar czynny aerodynamicznie wynosi $\sim 60\%$ promienia całego śmigła. Część nieczynną aerodynamicznie stanowi cylinder. Cylinder zajmuje $\sim 40\%$ promienia wirnika. W rozwiązaniu typu Fenestron istnieją podobne proporcje.

Profil aerodynamiczny łopaty

Podstawowym wymaganiem projektowym profilu łopaty śmigła ogonowego jest uzyskanie możliwie dużych wartości współczynnika maksymalnej siły nośnej w zakresie liczb Macha $Ma = 0.5 \div 0.6$, co jest bardzo trudne ze względu występowania w tych warunkach silnych niekorzystnych efektów ściśliwości na dużych kątach natarcia. Przyjmowane ograniczenia momentowe profili łopaty śmigła ogonowego mogą być, jak to wynika z literatury, znacznie łagodniejsze niż dla profilu wirnika nośnego. Jednakże w literaturze brak jakichkolwiek danych liczbowych.

Ustalając, że dla liczby $Ma = 0.5$ wartość momentu pochylającego na nos powinna być większa od -0.05 kierowano się dążeniem do około dwukrotnego zmniejszenia wartości tego momentu profilu NACA63414, zastosowanego w śmigle ogonowym śmigłowca *AH-64 Apache*, który charakteryzuje się podwyższonymi współczynnikami C_{zmax} w wyżej wspomnianym zakresie liczb Macha. Ponadto ustalono, że projektowany profil łopaty śmigła ogonowego powinna cechować możliwie wysoka doskonałość aerodynamiczna. Na rysunku 2 [6, 7] przedstawiono porównanie współczynników maksymalnej siły nośnej profilu ILT212, klasycznych profili NACA0012 i NACA23012, konwencjonalnie stosowanych w łopatach śmigła ogonowego oraz profilu ILH312 łopaty wirnika nośnego. Wszystkie porównywane rezultaty prezentowane na rysunku 3.8 uzyskane w badaniach w tunelu N-3 Instytutu Lotnictwa dla tych samych wartości liczb Reynoldsa, $Re = 4 \cdot M \cdot 10^6$.



Rys. 2. Porównanie zależności współczynnika C_{zmax} od liczby Macha dla profili ILT212 i ILH312 oraz klasycznych profili NACA0012 i NACA 23012

Ogólnie można stwierdzić, że profil ILT212 charakteryzuje się znacznie zmniejszonym wpływem liczby Macha w zakresie $M = 0.3 \div 0.6$. W tym zakresie liczb Macha współczynniki C_{zmax} zachowują w przybliżeniu stałą wartość $1.23 \div 1.28$, z wyjątkiem liczby Macha $Ma = 0.55$ dla której osiąga wartość 1.41. Rozpatrując węższy zakres liczb Macha tj. $Ma = 0.5 \div 0.6$, taki jak przyjęto w kryterium,

można stwierdzić, że profil ILT212 osiąga wysokie wartości współczynnika C_{zmax} równe $1.27 \div 1.41$. W stosunku do profilu konwencjonalnego NACA23012 współczynnik C_{zmax} profilu ILT212 jest większy o 18% od liczby Macha 0.5, a w przedziale $Ma = 0.5 \div 0.6$ aż około 41%. Jeszcze większy przyrost współczynnika C_{zmax} występuje w stosunku do profilu NACA0012 od około 40% dla $Ma = 0.5$ do 54% dla $Ma = 0.6$. Można więc stwierdzić, że podstawowe wymagania profilu łopaty śmigła ogonowego są w pełni spełnione przez ILT212. Większe wartości doskonałości profilu ILT212 niż profilu ILH312 występują już dla stosunkowo małych wartości współczynników siły nośnej równych $0.2 \div 0.3$. Wyraźna przewaga doskonałości profilu ILT212 nad ILN312 utrzymuje się praktycznie w całym badanym zakresie liczb Macha do $Ma = 0.65$. Doskonałość aerodynamiczną profilu ILT212 i profilu NACA23012 dla liczby $Ma = 0.6$, $C_z = 0.6$ przedstawia tabela poniżej.

Profil	ILT212	NACA23012
K dla $C_z = 0.6$ i $Ma = 0.6$	68	43

Doskonałość profilu ILT212 jest wyższa o około 58% niż klasycznego profilu NACA23012. Można więc stwierdzić, że profil ILT212 łopaty śmigła ogonowego posiada bardzo wysokie wartości doskonałości aerodynamicznej. Kąt zerowej siły nośnej dla profilu ILT212 wynosi $\sim 2,5^\circ$. Pozwala to na uzyskanie względnych kątów nastawienia względem cięciwy aerodynamicznej przy mniejszym (o ten kąt zerowej siły nośnej) przekręceniu konstrukcyjnym łopaty. Jest to ważne dla rozwiązań posiadających torsjon, gdyż zmniejsza moment pochylający przy zmianie kąta skoku ogólnego łopaty.

Rodzaj śmigła

Śmigło obudowane typu DTR zostało przyjęte głównie ze względów bezpieczeństwa i możliwości zmniejszenia hałasu. Śmigło pracuje w obudowie, która jest zarówno osłoną śmigła jak i statecznikiem pionowym. Wzorowano się na najnowszych rozwiązaniach współczesnych śmigłowców. W wyniku prowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono możliwość korzystnej współpracy aerodynamicznej śmigła – obudowa zwiększającej ciąg do kilkunastu procent.

Otunelowane śmigła

W śmigłowcu IS-2 śmigło ogonowe znajduje się nisko nad ziemią co stanowi istotne niebezpieczeństwo dla osób poruszających się wokół stojącego na ziemi śmigłowca. Było to powodem umieszczenia śmigła ogonowego w stateczniku pionowym przez co stworzono otunelowanie, które może jednocześnie zwiększyć jego sprawność aerodynamiczną. Zgodnie z danymi z literatury [4] zwiększenie sprawności spowodowane obecnością obudowy może posiadać liczącą się wartość ale zależy od wielu czynników, z których najważniejszymi są: szczelina pomiędzy końcem łopatki a obudową, grubość obudowy oraz przesunięcie płaszczyzny śmigła względem obudowy. Parametry te mają również istotny wpływ na hałas generowany przez śmigło ogonowe [4].

Rozwiązanie takie jest istotne dla małego śmigłowca ze względu na bezpieczeństwo osób poruszających się wokół śmigłowca (ponieważ znajduje się ono nisko nad ziemią), a jednocześnie może zwiększyć sprawność śmigła przez co „zabierać” mniej mocy wirnikowi nośnemu. Może również zmniejszyć intensywność generowanego hałasu.

Każde śmigło ogonowe śmigłowca posiada dwie wady: odbiera moc od wirnika nośnego (w każdym manewrze zwiększeniu mocy na wirniku nośnym towarzyszy konieczność zrównoważenia powiększonego momentu obrotowego) oraz wytwarza hałas (w zakresie wyższych częstotliwości). Zwiększenie sprawności śmigła o kilka procent oraz obniżenie generowanego hałasu o kilka decybeli jest sprawą istotną.

Biorąc pod uwagę rozważania konfiguracji śmigła ogonowego w stateczniku pionowym będący jednocześnie jego obudową nie jest już istotne rozważanie konfiguracji, jak w przypadku śmigła ogonowego swobodnego umieszczonego przed lub za statecznikiem lub belką.

W śmigle otunelowanym końce łopatek nie poruszają się w swobodnym powietrzu, ale są otoczone kołowym pierścieniem, podobnie jak w wentylatorze. Dlatego przy prowadzeniu obliczeń takiego śmigła parametry przepływu przy końcach łopatek rozważa się tak, jak w wentylatorach i sprężarkach osiowych. Oznacza to, że istnieje oddziaływanie otunelowania na opływ łopatek wirnika. A więc istnieje również oddziaływanie odwrotne: przepływu przez śmigło na ścianki otunelowania. Zagadnienie to jest powszechnie znane ale w obliczeniach wentylatorów czy sprężarek przyjmuje się, że długość otunelowania jest duża w stosunku do średnicy wirnika. Natomiast długość otunelowania śmigła ogonowego śmigłowca jest porównywalna z długością cięciwy końca łopaty, a więc nie można założyć równomiernej rozkładu prędkości na wlocie ani pod względem wielkości prędkości ani pod względem kierunku.

Obrys łopaty śmigła

Optymalnym obrysem łopaty z punktu widzenia aerodynamiki jest obrys eliptyczny. W projekcie pracy przyjęto, że obrys łopaty będzie miał obrys bliski prostokątnemu ze względu na prostsze jego wykonanie. Ponieważ śmigło pracuje w obudowie a kanał ma regularny przekrój walca, końcówki zaokrąglone są względem krzywizny kanału. Odległość końcówki łopaty od pierścienia obudowy powinna być jak najmniejsza. Zaproponowano doklejenie do końcówki łopaty lekkiej pianki odpowiednio wyprofilowanej, co pozwala na uzyskanie szczeliny bliskiej zeru oraz zabezpiecza śmigło przed zaklinowaniem w razie kontaktu z obudową.

Skreślenie geometryczne łopaty

Stosowanie ujemnych kątów skreślenia geometrycznego łopaty poprawia rozkład prędkości indukowanej wzdłuż promienia śmigła umożliwiając uzyskanie większego ciągu w warunkach lotu silnikowego. Podczas lotu autorotacyjnego oraz przy wykonywaniu manewru kierunkowego w kierunku przeciwnym do kierunku obrotów wirnika nośnego, skreślenie takie działa niekorzystnie, pogarsza charakterystyki aerodynamiczne śmigła przy ujemnym ciągu śmigła. Przyjęto brak skreślenia geometrycznego śmigła ogonowego. Ważnym argumentem mogącym utrudnić wykonanie łopaty ze skreśleniem geometrycznym jest jego konstrukcja, w której torsjon kompozytowy w sposób ciągły przechodzi w dźwigar łopaty.

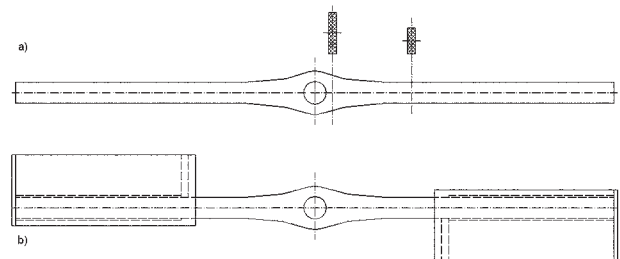
Konstrukcja łopaty

Łopata śmigła posiada konstrukcję kompozytową, wykonywaną techniką worka podciśnieniowego, gdzie dźwigar łopaty wiodącej i torsjon kompozytowy komponują element piasty, wraz z łopata przeciwną stanowią integralną całość [5].

Łopaty wykonano z włókna węglowego okopertowanego tkaniną szklaną a torsjon/dźwigar z rowingu szklanego.

W takiej technologii możemy wykonać moduł, który składa się z dwóch łopat i jednego torsjonu. Do uprzednio wykonanego torsjonu doklejane są elementy struktury łopat a całość formowana jest w przyrządzie/formie i sklejana z wykorzystaniem worka podciśnieniowego i utwardzenia.

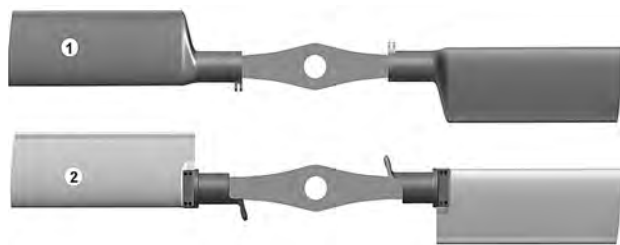
Torsjon konstrukcyjnie jest płaski a jego przekrój w na każdym odcinku jest prostokątny. Zwiększenie przekroju torsjonu w miejscu mocowania w piaście obrotu przez doklejenie nakładek zwiększa jego sztywność oraz pozwala na dociśnięcie go w węźle mocowania piasty do wału.



Rys. 3. Schemat budowy modułu łopat; a) torsjon; b) moduł łopaty po sklejeniu

Przeguby śmigła

Złożona konstrukcja śmigła nie posiada przegubów wahań i odchyleń, natomiast posiada tylko przegub osiowy. Elementami umożliwiającymi osiowe przekreślenie łopaty (zmiana kątów nastawienia łopaty) jest przegub osiowy z łożyskami ślizgowymi ale i elastyczny kompozytowy torsjon umożliwiający obrót w zadanym zakresie kątów. Przemieszczenie przegubu wzdłuż promienia łopaty umożliwia torsjon będący częścią łopaty (dźwigarem), który zamocowany jest do węzła piasty wirnika. Tuleja/przegub zamocowana jest na stałe do łopaty. Konstrukcja modułu łopaty może być wykonana w dwóch wariantach (rys. 4).



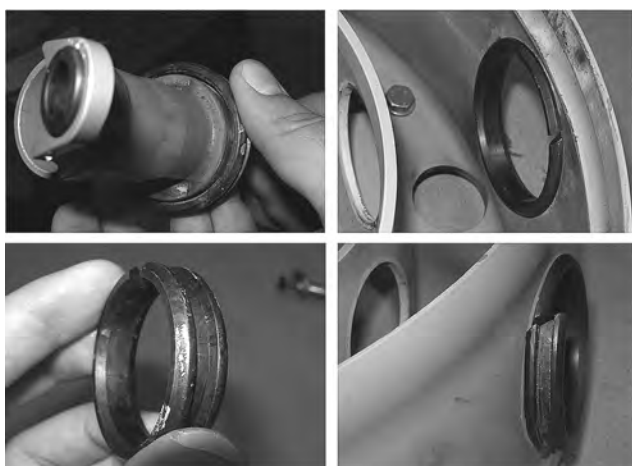
Rys. 4. Wizualne przedstawienie budowy dwóch typów modułów

Na rysunku 4 przedstawiono dwa rodzaje modułów, moduł nr 1 posiada budowę integralną. Obszar czynny aerodynamicznie (profil łopaty) przechodzi bezpośrednio w cylindryczny kształt o okrągłym przekroju. Unika się tym sposobem węzła łączącego tuleję z rękawem. Łopaty modułu łączone tuleją byłyby formowane jako połówki i sklepane

razem oraz owijane (okopertowane). Aby wprowadzić poprawnie momenty gnące w płaszczyźnie mniejszej sztywności należy pogrubić ścianki tulei od górnej i dolnej strony profilu kształtując je w formę dźwigarów. Owinięcie można wykonać z kompozytu z implantami bezsmarnymi, tak aby po przetoczeniu, zewnętrzna powierzchnia stanowiła bieżnię łożyska ślizgowego.

Tuleja kompozytowa jest bardziej elastyczna na zginanie niż metalowa i należy brać pod uwagę elastyczne łożyska ślizgowe niemetalowe. Klasyczne metalowe, sztywne wywołują nierównomierne naciski po wygięciu się tulei.

Przy końcu tulei formowane jest ucho dźwigni przekreślenia łopaty i/lub wklejamy metalowy element podczas procesu formowania łopaty. Diagnostowanie i wyprodukowanie takiego typu łopaty może okazać się trudniejsze niż łopaty z tuleją metalową (moduł nr 2, rys. 4). Na chwilę obecną są trudności z uzyskaniem informacji i danych odnośnie elastycznych łożysk ślizgowych niemetalowych. Istnienie tego typu łożysk potwierdzono podczas oględzin śmigłowca EC 120 (rys. 5).



Rys. 5. Elastyczne łożysko kompozytowe stosowane na śmigłowcu EC-120

Budowa modułu nr 2 rysunku 4 jest równie łatwa pod względem technologicznym, jak modułu nr 1 (rys. 4). Tuleję metalową należy nałożyć przed sklejeniem torsjonu z łopatkami. Zgrubienie (miejsce chwytu łopaty) wykonać należy przed nasunięciem metalowej tulei przez doklejenie kolejnych warstw tworzywa u jej nasady. Po nasunięciu tulei na łopatę należy wykonać otwory pod sworznie mocujące łopatkę w gnieździe tulei. Sworznie mają wprowadzić siłę skupioną pochodzącą od masy tulei w torsjon. W tym wariancie można zastosować łożyska ślizgowe metalowe dostępne na rynku.

Głowica śmigła ogonowego

Głowica śmigła ogonowego założonego rozwiązania w swojej konstrukcji i budowie nie przypomina klasycznych głowic śmigieł ogonowych stosowanych na śmigłowcach. Podobne rozwiązanie można zobaczyć w konstrukcjach typu Fenestron czy FANTAIL™ [4]. Głowica ukształtowana jest na kształt bębna, na którego obwodzie rozmieszczone są łopaty. Tego typu rozwiązanie zapewnia prawidłowe funkcjonowanie mechanizmu zmiany kąta nastawienia łopat i przekazywania momentu obrotowego oraz kontroli kąta nastawienia łopat w przypadku uszkodzenia mechanizmu zmiany skoku śmigła. Posiada również w swojej konstrukcji

gniazda przegubów osiowych wyposażonych w łożyska ślizgowe metalowe (w przypadku stosowania modułu nr 1 przedstawionego na rysunku 5 łożyska ślizgowe kompozytowe).

Prędkość obwodowa końców łopat

Zwiększając prędkość obrotową śmigła uzyskuje się większy ciąg przy tym samym promieniu śmigła. Niekorzystne zjawisko jakie wywołuje zwiększenie prędkości obrotowej to zwiększenie pobieranej mocy przez śmigło ogonowe, efekt ściśliwości na końcówce łopaty, spadek sprawności śmigła, erozja oraz poziom hałasu. Dla śmigłowca IS-2 założona prędkość obwodowa łopat śmigła ogonowego jest bliska prędkości obwodowej wirnika nośnego i wynosi 180 m/s. Dobór odpowiedniej wielkości wypełnienia śmigła pozwalający na utrzymanie tak niskiej prędkości obwodowej umożliwia spełnienie wymagań niskiego poziomu hałasu wytwarzanego przez śmigło.

Rodzaj pracy śmigła

Ze względu na umiejscowienie śmigła ogonowego w otworze statecznika nie przewiduje się niekorzystnego przesłonięcia tarczy śmigła przez statecznik a zatem i niekorzystnego wpływu statecznika na pracę śmigła [1].

Kierunek obrotów śmigła

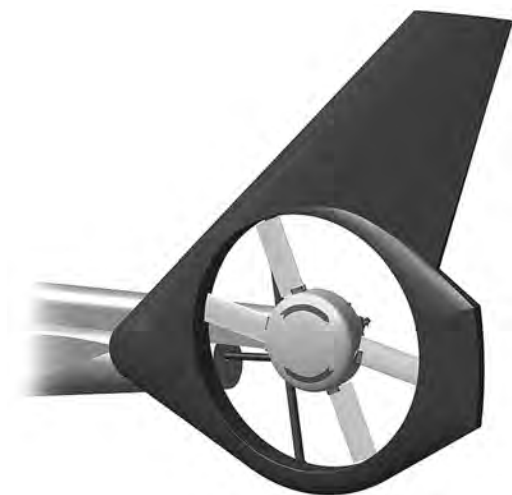
Kierunek obrotów śmigła ogonowego, którego dolna łopata obraca się w kierunku „do przodu” (patrzac od prawej lub lewej strony belki ogonowej/śmigłowca) wykazuje lepszą jakość aerodynamiczną i jest mniej czułe na wpływ śladu zawirnikowego wirnika nośnego.

4. WIZUALNE PRZEDSTAWIENIE ANALIZOWANEGO ŚMIGŁA OGONOWEGO

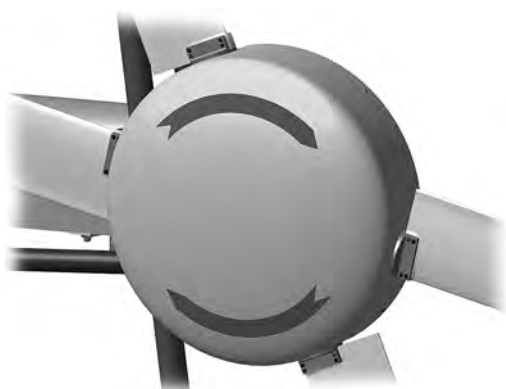
Dla lepszej wizualizacji nowego śmigła ogonowego stworzono trójwymiarowy model przestrzenny. Tego typu forma projektowania zapewnia uzyskanie analizy dokładnej masowej oraz pozwala na optymalizację konstrukcji. Posiadając modele trójwymiarowe poszczególnych detali, zespołów możemy poddać je dokładnym analizom używając technik MES. Rysunki 6÷9 przedstawiają najważniejsze detale śmigła natomiast rysunek 10 przedstawia wstępny wariant układu zmiany skoku łopat (układ dźwigni).



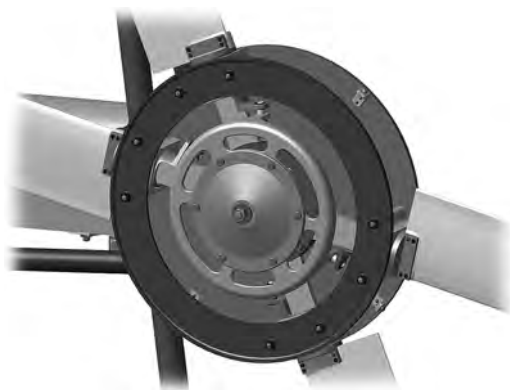
Rys. 6. Śmigłowiec IS-2 z nowym śmigłem ogonowym



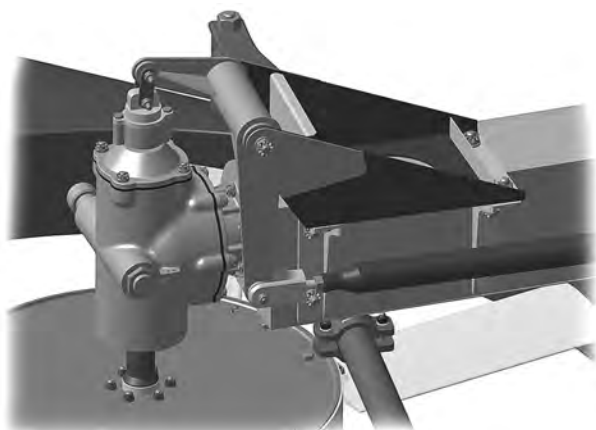
Rys. 7. Śmigło ogonowe oraz usterzenie pionowe



Rys. 8. Widok na głowicę śmigła ogonowego



Rys. 9. Widok na głowicę śmigła ogonowego (bez pokrywy)



Rys. 10. Widok układu sterowania śmigła ogonowego

5. PODSUMOWANIE

Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne łączy w sobie cechy nowoczesnego śmigła ogonowego zgodnie z obowiązującymi tendencjami w rozwoju śmigłowców. W tym celu poddano przeanalizowaniu rozwiązania dotyczące konstrukcji śmigieł ogonowych oraz posłużono się nabytymi doświadczeniami ze wcześniejszych rozwiązań dotyczących śmigła ogonowego IS-2.

Przeprowadzono analizy osiągow, drgań łopat, oraz sterowności śmigłowca [2, 3]. Wykonano wstępne obliczenia wytrzymałościowe elementów głowicy śmigła ogonowego z wykorzystaniem nowoczesnych technik obliczeniowych [2]. Zebrane obliczenia mają stanowić podstawę do optymalizacji konstrukcji. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że zaproponowana konstrukcja może być realizowana w projekcie śmigłowca. Konstrukcja ta składająca się z modułów dwułopatowych i może być wykorzystana do rozwojowej wersji śmigłowca IS-2 jako sześciułopatowa.

Zastosowanie nożycowego rozstawu łopat w wersji podstawowej 4-łopatowej śmigła powinno wpłynąć na zmniejszenie emisji hałasu, to samo dotyczy wersji 6-łopatowej dla wersji rozwojowej śmigłowca zachowując nierównomierny rozstaw łopat.

Wady proponowanej konstrukcji łopat wiążą się koniecznością stosowania parzystej liczby łopat. Głowica śmigła ogonowego odbiega wyglądem i konstrukcją od klasycznych rozwiązań. Przy opracowywaniu wstępnej konstrukcji wzorowano się na nowoczesnym rozwiązaniu typu Fenestron i Fantail. Moduły w swojej budowie posiadają przegub osiowy i element sprężysty (torsjon kompozytowy), są łatwe i tanie w produkcji. Moduł ten można łatwo wymienić w przypadku uszkodzenia. Brak informacji na temat łożysk kompozytowych wymusza stosowanie klasycznych łożysk ślizgowych oraz metalowej tulei przegubu osiowego łopaty. Proponowane rozwiązanie „integralnej” łopaty z elementem bezsmarnym oraz łożysk kompozytowych zmniejszy masę oraz uprości technologię wykonania, zmniejszy liczbę elementów i jest to rozwiązanie nowoczesne, trudnością może okazać się diagnostyka takiego układu-modułu. Nowoczesny profil aerodynamiczny zastosowany na łopatach śmigła jest konkurencyjny w stosunku do powszechnie stosowanych i wykazuje bardzo dobre właściwości aerodynamiczne.

Charakterystyki użytkowe śmigła w wersji podstawowej oraz rozwojowej dają zadowalające wyniki. Założone kryteria zostały spełnione nawet z dużym zapasem.

Obudowa śmigła będąca jednocześnie otunelowaniem oraz częścią statecznika pionowego poprawia charakterystyki pracy śmigła i bezpieczeństwo użytkownika. Statecznik pionowy w swojej konstrukcji ze względu na zastosowany profil aerodynamiczny i kąt zaklinowania, generuje siła nośna odciążającą śmigło ogonowe w locie poziomym.

Niektóre parametry takie jak przesunięcie płaszczyzny śmigła ogonowego wewnątrz tunelowania oraz profil tunelu należy uściślić na drodze badań prototypowych. Na podstawie badań ustalono, że przesunięcie wpływa istotnie na cechy użytkowe śmigła (zmniejszenie pobieranej mocy, wzrost ciągu).

BIBLIOGRAFIA

- [1] **K. Szabelski, Jancelewicz B., Łucjanek W.:** *Wstęp do konstrukcji śmigłowców*. WKiŁ. Warszawa 1995.
- [2] **Piłat M. B.:** *Analiza możliwości zastosowania wielołopatowego śmigła ogonowego do śmigła ogonowego do śmigłowca klasy IS-2*. Praca dyplomowa. Politechnika Lubelska 2006.
- [3] **Lynn R. R., Robinson F. D., Batra N. N., Duhon J. M.:** *Tail Rotor Design Part I: Aerodynamics*. Journal of the American Helicopter Society 1970, vol. 15, No. 4.
- [4] **Łucjanek W.:** *Oslonięte wirniki ogonowe śmigłowców*. Prace Instytutu Lotnictwa 1998, nr 153-154.
- [5] **Szumański K.:** *Projekt i badania bezłożyskowego śmigła ogonowego*. Prace Instytutu Lotnictwa 2002, nr 168-169.
- [6] **Kania W., Stalewski W., Godlewski J.:** *Projektowanie i badanie numeryczne nowoczesnego profilu łopaty śmigła ogonowego o wysokich własnościach aerodynamicznych*. Prace Instytutu Lotnictwa 2000, nr 160.
- [7] **Kania W., Stalewski W., Zwierchanowska B.:** *Designing the modern family of helicopters airfoils*. Transaction of the Institute of Aviation 2007, No. 4(197).

M. B. Piłat

MODERN MULTIBLADE TAIL ROTOR

Summary

In this paper the concept of the modern multi blade tail rotor of IS-2 light helicopter is presented. The proposed design solution brings together the most important features of the modern tail rotor, which are conforming to common trends. A description of the proposed design, together with the manufacturing framework outline and results of a preliminary analysis is presented.

М. Б. Пилат

СОВРЕМЕННЫЙ МНОГОЛОПАСТНЫЙ ВИНТ ДЛЯ УЛЬТРА-ЛЁГКОГО ВЕРТОЛЁТА

Резюме

В статье представлена концепция современного, многолопастного хвостового винта для лёгкого вертолётa IS-2. Представленное конструкционное решение включает в себя самые главные свойства современного хвостового винта, согласно повсеместно принятым тенденциям. Представлено описание предлагаемой конструкции, вместе с рамовым технологическим очертанием, а также результаты предварительных расчётных анализов.