

PROJEKT, BADANIA I WYKONANIE POLSKIEGO BEZZAŁOGOWEGO ŚMIGŁOWCA ILX-27

PAWEŁ GUŁA, TOMASZ GORECKI

Institut Lotnictwa

Streszczenie

Poniżej zaprezentowane zostały zagadnienia dotyczące budowy bezzałogowych platform w oparciu o doświadczenia nabyte podczas realizacji projektu „Bezzałogowy śmigłowiec – robot do zadań specjalnych”. Przedstawione zostały również obecne trendy, technologie, badania oraz założenia jakie zostały przyjęte przy projektowaniu bezzałogowego śmigłowca ILX-27.

Publikacja zawiera opis podstawowych parametrów śmigłowca oraz przegląd zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, sposób wykonania struktury kompozytowej kadłuba, technologię kratownicy śmigłowca. Przedstawione zostaną również wyniki zrealizowanych prób naziemnych ze szczególnym uwzględnieniem prób w rotundzie oraz pierwszych prób w locie. Na podstawie wniosków wynikających z realizacji projektu zostaną omówione sposoby wykorzystania bezzałogowego śmigłowca ILX-27.

1. WSTĘP

Realizacja projektu opierała się na podzieleniu prac w ramach konsorcjum polskich jednostek badawczo naukowych oraz zakładów przemysłowych. Odpowiedzialnym za opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej oraz badania został Instytut Lotnictwa (lider projektu), za system i poprawne działanie układu sterowania oraz próby w locie Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych natomiast Zakłady Lotnicze nr 1 S.A. w Łodzi za wykonanie prototypów.

Przeznaczeniem bezzałogowego śmigłowca jest wsparcie działań wojsk lądowych, marynarki wojennej, straży granicznej i służb specjalnych w operacjach prowadzonych na trudnym terenie: góry, obszary zabudowane lub zagrożone ostrzałem przeciwnika. Sposób wykorzystania bezzałogowego śmigłowca uzależniony jest od rodzaju zabudowanych urządzeń i wyposażenia specjalistycznego.

1.1. Wykorzystanie bezzałogowego śmigłowca:

- Obiekt rozpoznania powietrznego.
- Obiekt transportu zaopatrzenia.
- Nosiciel precyzyjnego uzbrojenia.

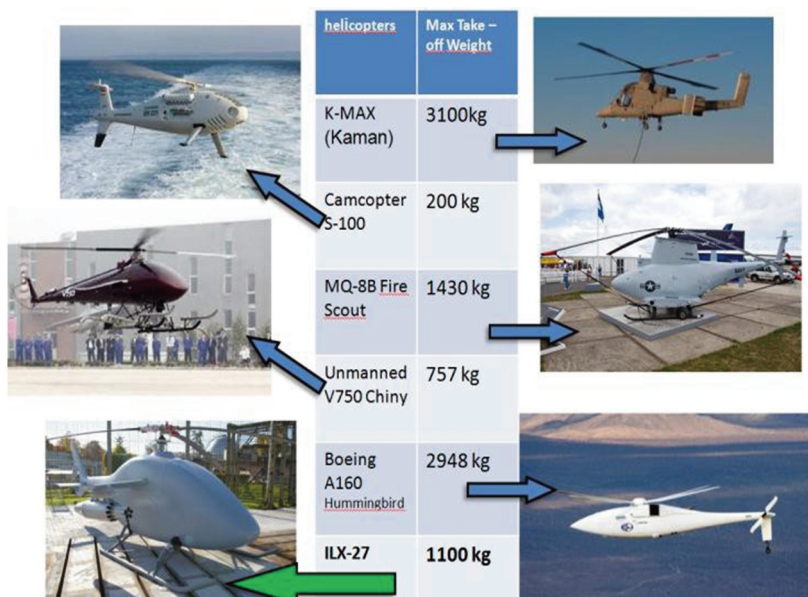
1.2. Zastosowania cywilne ILX-27:

- Operowanie w rejonie klęsk żywiołowych i katastrof ekologicznych.
- Monitoring obiektów, mostów, węzłów kolejowych, komunikacyjnych oraz obszarów leśnych.

2. BEZZAŁOGOWE ŚMIGŁOWCE NA ŚWIECIE

Dynamiczny rozwój platform bezzałogowych na świecie skutkuje ich szerokim zastosowaniem zarówno do celów militarnych jak i cywilnych. Bezzałogowe obiekty sprawdzają się tam gdzie istnieje duże zagrożenie dla zdrowia lub życia ludzkiego. Dlatego też coraz więcej krajów prowadzi własne programy rozwojowe wspierające technologie bezzałogowe.

Realizowane prace w większości dotyczą projektowania oraz rozwoju małych platform używanych jako nośniki systemów elektryczno – optycznych drugą mniejszą grupę stanowią bezzałogowe statki powietrzne wykorzystywane jako platformy militarne i transportowe. Przekrój przez wszystkie grupy bezzałogowych wiroplątów pokazuje poniższe zdjęcie (bezzałogowe platformy podzielone zostały ze względu na maksymalną masę startową).



Rys. 1. Bezzałogowe śmigłowce na świecie

Założenia które zostały zrealizowane w projekcie bezzałogowego śmigłowca to:

- Wykorzystanie krajowego potencjału zarówno w obszarze projektowania jak i technologii.
- Bezpieczeństwo i niskie koszty eksploatacji.
- Wykorzystanie do szerokiego zakresu misji.
- Prosta obsługa, nie wymagająca wykwalifikowanej kadry.
- Możliwości rozwoju (wielowariantowość).

3. PROJEKT

Celem projektu było zbudowanie demonstratora technologii, wykonanie badań i analiza jego możliwości. Opracowane założenia stały się w pierwszym etapie podstawą do prac projektowych. Do projektowania wykorzystano nowoczesne narzędzia CAD/CAM oraz

przygotowano się do wykorzystania nowych materiałów, które posłużyły do budowy struktury demonstratora. Cele które zdefiniowały etap projektowania to:

- Wykonanie bezzałogowego demonstratora technologii.
- Konstrukcja modułowa.
- Użycie nowych technologii (kompozyty szklane i węglowe).
- Zastosowanie otunelowanego śmigła ogonowego oraz trójłopatowego wirnika nośnego.

3.1. ILX-27 – Prace projektowe

Podczas procesu projektowania śmigłowca uwzględniono grupę potencjalnych odbiorców i użytkowników oraz szeroki zakres wykorzystania konstrukcji.

Projektowanie odbywało się w programie CATIA v5 natomiast obliczenia i analizy w programach ANSYS i NASTRAN. Systemy graficzne 3D pozwoliły wykonać pełną dokumentację modelową oraz rysunki konstrukcyjne. Modelowanie 3D dało możliwość szybkiego wprowadzania zmian oraz umożliwiła przygotowanie odpowiedniej wersji dla danego zakresu misji. Kolejnym atutem użycia programów CAD była wizualizacja elementów konstrukcji, weryfikacja problemów i uzyskanie przestrzennego modelu śmigłowca.

Bezzałogowy śmigłowiec ILX-27 w celu poprawy warunków obsługowych i szybkiej wymiany podzespołów został podzielony na moduły:

- pół-skorupową część przednią,
- kratownicę w części środkowej zakrytą owiewkami,
- pół-skorupową belkę tylną wraz ze statecznikiem pionowym,
- statecznik poziomy,
- elementy podwieszenia.

Każdy moduł stanowi osobną strukturę z okuciami – umożliwiającymi szybki montaż na płatowcu uwzględniając wyposażenie odpowiednie do realizowanego zadania.



Rys. 2. Podział bezzałogowego śmigłowca

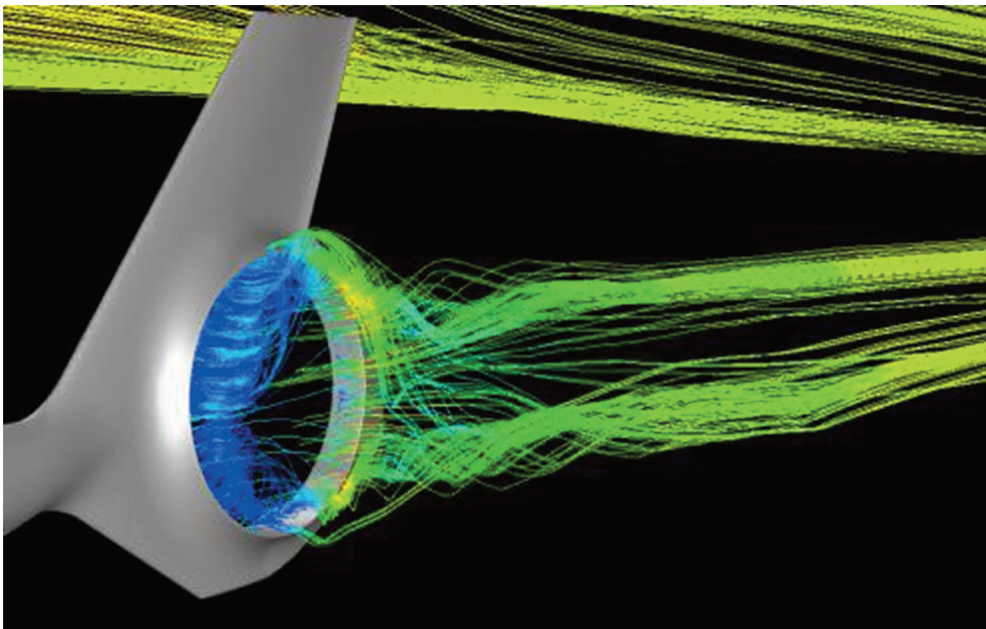
W konstrukcji śmigłowca zastosowano:

- Moduł centralny- kratownica. Zawiera on wszystkie kluczowe element śmigłowca (silnik, przekładnie, układ przeniesienia napędu, układ sterowania, podwozie).
- Łopaty wirnika nośnego wykonane z kompozytów węglowych. Dokumentacja oraz technologia wykonana została w oparciu o badania tunelowe i wytrzymałościowe wykonane w Instytucie Lotnictwa.
- 3 łopatowy wirnik nośny o niskiej prędkości końca łopaty.

- Podwozie płozowe spełniające podwyższone wymagania absorpcji energii.
- Jednostka napędowa do bezzałogowego śmigłowca to 6 cylindrowy silnik Lycoming 540 chłodzony powietrzem oraz wykorzystujący wtrysk paliwa.
- Hydrauliczny układ sterowania śmigłowcem – wyposażony w pompę zainstalowaną na silniku i układ siłowników.

3.2. Belka ogonowa – konstrukcja

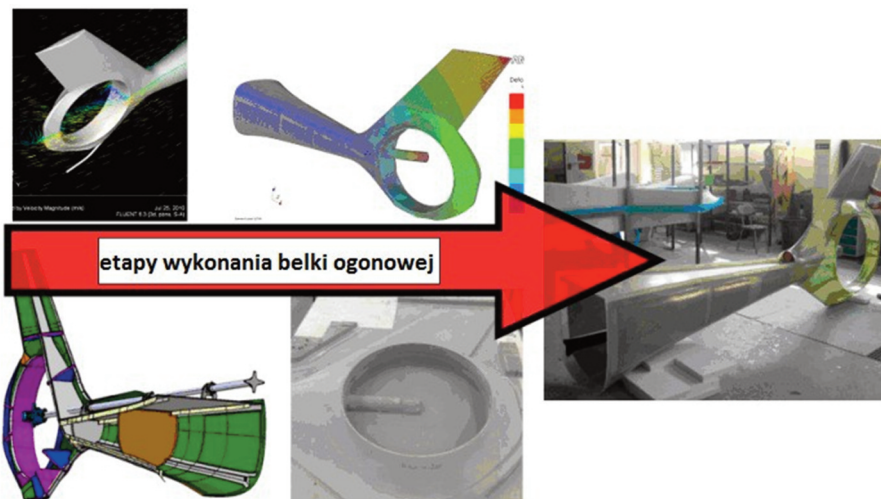
Na przykładzie belki ogonowej zaprezentowane zostaną najważniejsze etapy od projektowania do gotowego elementu. Założenia projektowe zawierały także wykorzystanie otunelowanego wirnika ogonowego co skutkowało zaprojektowaniem nowego układu w oparciu o analizy obecnie stosowanych rozwiązań.



Rys. 3. Analizy aerodynamiczne otunelowanego śmigła ogonowego [1]

Przeprowadzono również prace mające na celu ocenę możliwości poprawy własności kadłuba bezzałogowego śmigłowca ILX-27. W założeniu modyfikacje kadłuba miały na celu zarówno poprawę własności aerodynamicznych oraz umożliwienie lepszego wyważenia masowego śmigłowca.

Pozytywne wyniki analiz aerodynamicznych pozwoliły na rozpoczęcie kolejnego etapu czyli przygotowania dokumentacji struktury belki ogonowej. W wykorzystywanym programie graficzny CATIA powstała pełna dokumentacja modelowa struktury kompozytowej oraz podzespołów metalowych. Opracowanie dokumentacji wiązało się również z uwzględnieniem elementów współpracujących lub zainstalowanych na belce ogonowej takich jak przekładnia i wał napędowy śmigła ogonowego. Zakończenie etapu konstrukcyjnego rozpoczęło prace nad przygotowaniem oprzyrządowania do wykonania foremników a następnie gotowego elementu.



Rys. 4. Etapy wykonania belki ogonowej

Kolejnym istotnym elementem struktury kadłuba jest kratownica. Przedstawiony schemat prac był bardzo zbliżony do projektu belki ogonowej inna była natomiast technologia wykonania. Spawanie kratownicy odbywało się w specjalnie zaprojektowanym i przygotowanym przyrządzie. Każda z rurek była pasowana i spawana przy pomocy technologii TIG. Okucia, mocowania, wsporniki, wykonane zostały przy pomocy obróbki CNC. Gwarantowało to powtarzalność oraz jakość gotowej części.



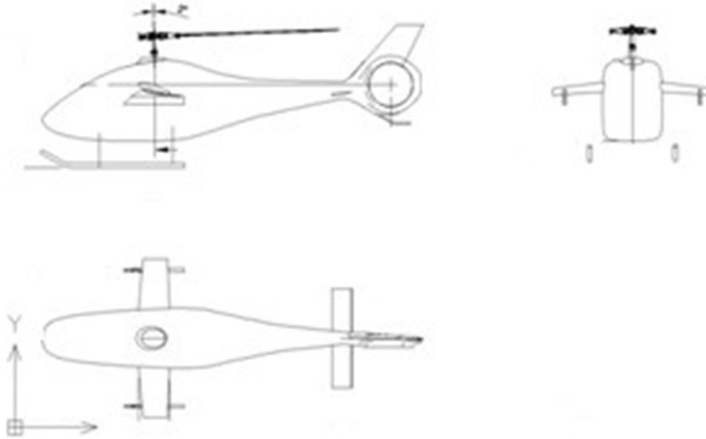
Rys. 5. Element układu sterowania

3.3. Osiągi ILX-27

W trakcie projektowanie przeprowadzone zostały również obliczenia osiągowie bezzałogowego śmigłowca ILX-27. Weryfikacja osiągowość odbywała się podczas prób na stanowisku laboratoryjnym „rotunda” oraz prób w locie. Bezzałogowy śmigłowiec wyposażony został w zestaw czujników i rejestratorów które pozwoliły na bezpieczne kontynuowanie prób oraz rejestrowanie wyników.

Podstawowe osiągi śmigłowca to:

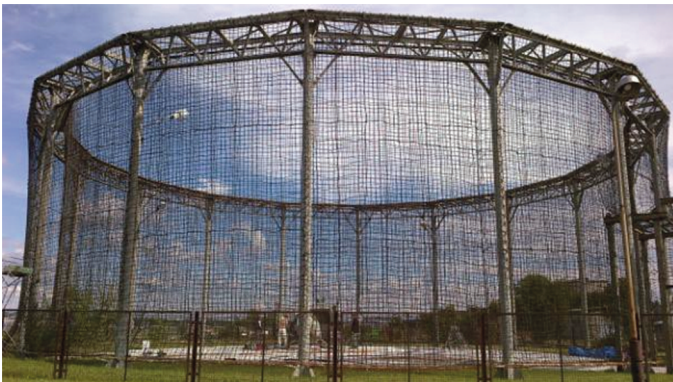
- Maksymalna masa startowa 1100 [kg]
- Masa użyteczna 300 [kg]
- Prędkość maksymalna 215 [km/h]
- Prędkość wznoszenia 10 [m/s]
- Pułap 4 [km]
- Zasięg 440 [km]
- Silnik Lycoming IO-540 260 [KM]



Rys. 6. ILX-27 w 3 rzutach

4. BADANIA

Podczas procesu projektowania nowej konstrukcji konieczne było sprawdzenie wprowadzonych oraz proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych. W przypadku śmigłowców, które charakteryzują się dużą aktywnością wibroakustyczną należało zwrócić uwagę na drgania występujące w strukturze konstrukcji, które mogą doprowadzić do jej zniszczenia. Dlatego też istotne podczas projektowania ILX-27 było przeanalizowanie najlepszego dostrójenia konstrukcji śmigłowca przed pierwszymi próbami w locie. Badania prowadzono pod względem zapewnienia dużej trwałości zmęczeniowej elementów oraz zapewnienie małej uciążliwości dla otoczenia z powodu generowanego hałasu [5].



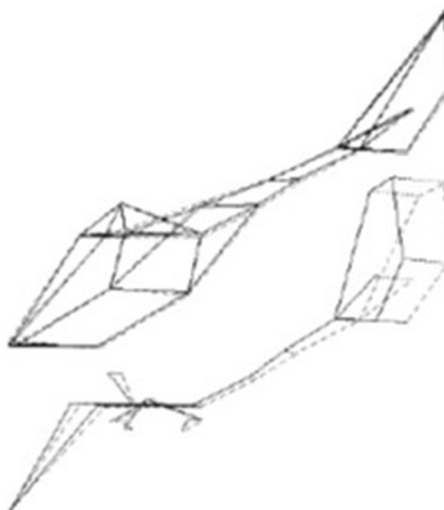
Rys. 7. Laboratorium do badań naziemnych śmigłowców – rotunda

Równoległe do badań struktury śmigłowca wykonano szereg analiz służących weryfikacji wprowadzanych rozwiązań. Pierwszym etapem było wyznaczanie częstotliwości drgań własnych konstrukcji poprzez zastosowanie metody elementów skończonych. Do tego celu wykorzystano odwzorowujący śmigłowca model przygotowany w oprogramowaniu Ansys [2, 3, 4, 6, 7]. Analiza ta miała na celu wspomaganie badań rezonansowych, które odbywały się równoległe na konstrukcji. Badania rezonansowe śmigłowca odbywały się poprzez zastosowanie wzbudnika elektrodynamicznego typu EDSW 2000 przy pomocy którego wzbudzano drgania konstrukcji wzdłuż oraz w poprzek kadłuba poprzez wał wirnika nośnego oraz belkę ogonową. Przykładana była zmienna siła harmoniczna o wielkości 200 N.

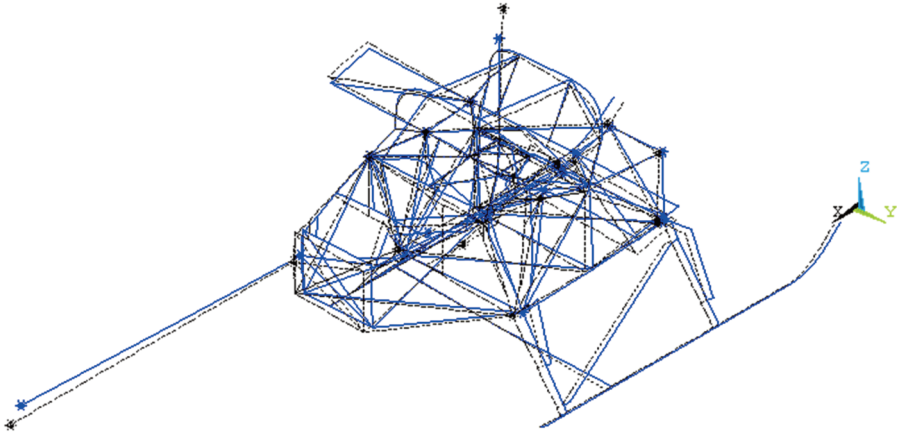


Rys. 8. Śmigłowiec podczas testów rezonansowych

W trakcie badań dokonywano zmiany obciążenia śmigłowca od pozycji naziemnej i kolejno 50%, 75%, 90%, aż do symulacji zawisu w powietrzu. Badania objęły również dociążenie śmigłowca dodatkową masą utwierdzoną do kratownicy śmigłowca w celu realizacji próby maksymalnych wymuszeń od układu sterowania.



Rys. 9. Amplitudy odchyśleń dla częstotliwości 7 Hz. Kołysanie względem osi OX oraz zginanie kadłuba



Rys. 10. Postać dla częstotliwości 7,45 Hz

Kolejnym etapem badań były próby wirnika nośnego w rotundzie. Dotyczyły one między innymi:

- osiągnięcia obrotów nominalnych układu bez zamontowanych łopat WN oraz śmigła ogonowego,
- próba osiągnięcia obrotów nominalnych układu z masami zastępczymi łopat WN,
- próby osiągnięcia obrotów nominalnych układu przy zmienianym skoku łopat śmigła ogonowego,
- próby osiągnięcia obrotów nominalnych układu z zamontowanymi łopatami i sterowaniem tarczą sterującą WN i ŚO,
- próby osiągnięcia dużych wartości ciągu wirnika przy startowym poziomie mocy napędu.

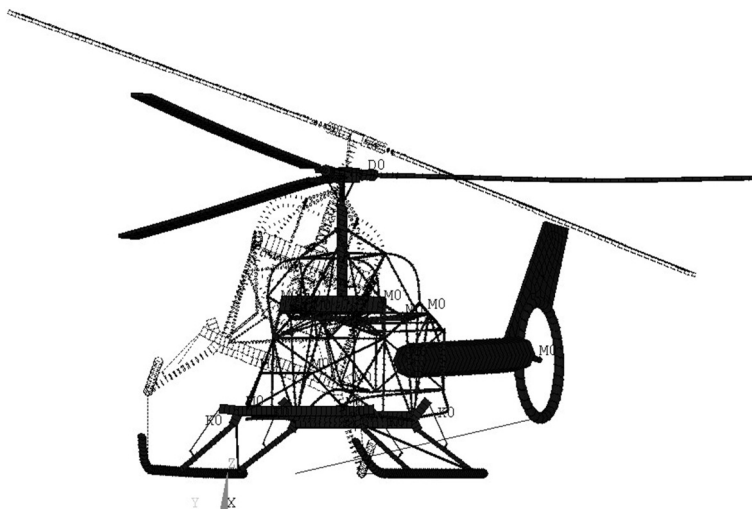


Rys. 11. Śmigłowiec podczas testów w rotundzie

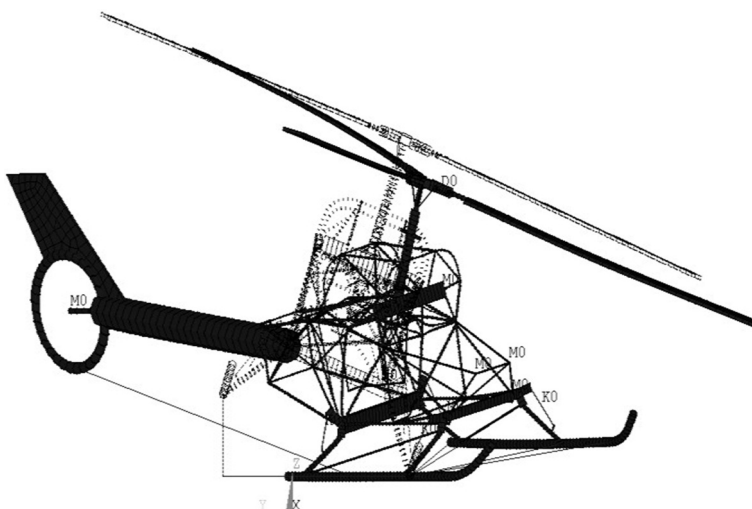
W trakcie ostatniego etapu prób konstrukcji w „rotundzie” równolegle prowadzono testy sterowana drogą radiową. Próby osiągnięcia dużych wartości ciągu wirnika przy startowym poziomie mocy napędu, ze względu na ślizganie się konstrukcji po ziemi były bardzo niebezpieczne ze względu na możliwość wystąpienia zjawiska rezonansu naziemnego. Dlatego też na

potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa podczas testowania śmigłowca przeprowadzono szereg symulacji mających na celu odwzorowanie zachowania konstrukcji podczas odrywania się płóz podwozia od ziemi.

Ostatnim etapem prac nad projektem były próby startu śmigłowca. Z uwagi na niebezpieczeństwo utraty kontroli nad śmigłowcem oraz zapewnienie bezpieczeństwa osobom odpowiedzialnym za testy użyto do tego celu specjalnej mobilnej stacji kontrolnej. Ze względu na brak danych o podatności śmigłowca na sygnały wysyłane przez pilota przeprowadzono dodatkowe symulacje niekontrolowanego niesymetrycznego lądowania śmigłowca. Symulacje takie potwierdziły słuszność wprowadzonych rozwiązań konstrukcyjnych (podparcie masztu wału wirnika nośnego).



Rys. 12. Widok modelu śmigłowca na początku analizy (kolor czarny przerywany) oraz na końcu (kolor czarny)



Rys. 13. Widok modelu śmigłowca na początku analizy (kolor czarny przerywany) oraz na końcu (kolor czarny)



Rys. 14. Próby w locie śmigłowca ILX-27

5. WNIOSKI

W trakcie realizacji projektu „Bezzałogowy śmigłowiec – robot do zadań specjalnych” wzorowano się na obecnie istniejących konstrukcjach śmigłowców kategorii UAV. Na tej podstawie opracowano metodologię, dobrano sposób projektowania oraz nowoczesne materiały konstrukcyjne. Zrealizowane próby zweryfikowały szereg założeń stawianych podczas wcześniejszych etapów. Pozytywne wyniki prób naziemnych pozwoliły na rozpoczęcie badań w locie. Bezzałogowy śmigłowiec poprawnie realizuje złożone zadania i stanowi platformę, która w przyszłości może stanowić obiekt do komercyjnego wykorzystania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dziubiński, A., Grzegorzczak, K. (2012). Analiza obliczeniowa kształtu otunelowania dla śmigła ogonowego śmigłowca ILX-27. 5/BAA2/13/P.
- [2] Bramwell, A., R., S., Done, G., Blamford, D. (2001). *Bramwell's Helicopter Dynamics*. Butterworth-Heinemann.
- [3] Gorecki, T. (2013). Symulacja niesymetrycznego lądowania śmigłowca jako źródło potencjalnego zagrożenia rezonansem naziemnym. *Modelowanie Inżynierskie*.
- [4] Gorecki, T. (2012). Model dynamiczny mes struktury śmigłowca do badań rezonansu naziemnego z uwzględnieniem warunków kontaktowych podwozie – podłoże. *Modelowanie w mechanice*.
- [5] Szabelski, K. (1995). *Wstęp do konstrukcji śmigłowców*. WKiŁ.
- [6] Szrajer, M. (1989). Badanie symulacyjne rezonansu naziemnego. *Prace Instytutu Lotnictwa*, 4/1989 (119), s. 48-67.
- [7] Żerek, L. (1989). Rezonans naziemny śmigłowca o doskonałej i przybliżonej symetrii z uwzględnieniem drgań łopat w płaszczyźnie ciągu. *Prace Instytutu Lotnictwa*, 4/1989 (119), s. 68-98.

PAWEŁ GUŁA, TOMASZ GORECKI

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A POLISH UNMANNED ROTORCRAFT ILX-27

Abstract

The presentation contains a description of the basic parameters of the helicopter and an overview of the design solutions, way of making the structure of a composite fuselage, helicopter lattice technology. It will present the results of tests carried out with particular emphasis on ground-based tests in the special cage (rotunda) and the first flight test. Basing on the conclusions of the presentation we will discuss ways to use an unmanned helicopter ILX-27.