

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Analiza charakterystyk aero-hydrodynamicznych platformy bezzałogowej wykorzystującej efekt przypowierzchniowy z zastosowaniem zaawansowanych narzędzi numerycznej mechaniki płynów

Ewelina Ciba, Mirosław K. Gerigk

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska
email: ewelina.ciba@pg.edu.pl, mger@pg.edu.pl

STRESZCZENIE: Przedstawiono wyniki badań związanych z analizą charakterystyk aero-hydrodynamicznych bezzałogowej platformy wykorzystującej efekt przypowierzchniowy, wspierającej działania logistyczne wojsk na akwenach morskich, z zastosowaniem zaawansowanych narzędzi numerycznej mechaniki płynów (RANSE-CFD). Wykonano zaawansowane symulacje startu platformy z powierzchni wody, jej lotu oraz wodowania na swobodnej powierzchni wodu. Wyniki symulacji pozwoliły na ocenę kształtu konstrukcji kadłuba oraz stanowią podstawę do analizy konstrukcyjno-wytrzymałościowej platformy. Badanie trajektorii ruchu platformy w zależności od zadanej siły ciągu oraz siły generowanej pod wpływem działania steru wysokości pozwoliło między innymi na wstępne oszacowanie możliwości kontroli ruchu i sterowania platformą.

SŁOWA KLUCZOWE: platforma bezzałogowa, efekt przypowierzchniowy, RANSE-CFD, DFBI

1. Cel i zakres badań

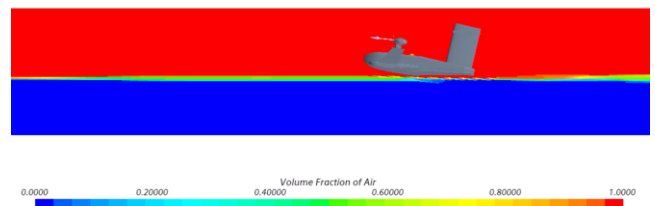
Celem prowadzonych przez Politechnikę Gdańską, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych oraz Wojskową Akademię Techniczną prac badawczych jest opracowanie koncepcji bezzałogowej platformy wykorzystującej efekt przypowierzchniowy, wspierającej działania logistyczne wojsk na akwenach morskich. Do podstawowych funkcjonalności platformy zaliczono jej masę, ładowność, prędkość oraz zasięg działania, które zostaną zweryfikowane podczas badań demonstratora w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Przedmiotem badań stanowi platforma o długości kadłuba i rozpiętości skrzydeł powyżej 2 metrów. Kadłub platformy podzielono na zintegrowane ze sobą części: aerodynamiczną i hydrodynamiczną. Część aerodynamiczna kadłuba platformy obejmuje skrzydła (płaty nośne), zintegrowane z górną częścią kadłuba głównego, płaty boczne (winglety) zamontowane na kadłubach bocznych platformy oraz stery kierunku: pionowy i poziomy. Część hydrodynamiczna kadłuba platformy obejmuje dolną (podwodną) część kadłuba głównego wraz z redanem poprzecznym, dolnymi (podwodnymi) częściami kadłubów bocznych oraz elementy dodatkowe, obejmujące osłonięcia kadłuba hydrodynamicznego.

2. Założenia wstępne

Opracowanie koncepcji platformy na etapie projektowania wymagało przeprowadzenia czasochłonnej analizy ruchu platformy w celu określenia charakterystyk aero-hydrodynamicznych platformy dla trzech faz ruchu: startu, lotu i wodowania. Analiza fazy startu wymagała oszacowania charakterystyk pływalności, stateczności oraz

właściwości aero-hydrodynamicznych platformy dla zakresu prędkości, od prędkości początkowej-startowej do prędkości przy której następuje oderwanie kadłuba platformy od swobodnej powierzchni wody. Faza ta charakteryzuje się dużą zmiennością oporu kadłuba platformy, sił nośnych kadłuba aerodynamicznego oraz sił hydrodynamicznych zanurzonej części kadłuba wraz ze wzrostem prędkości. Po oderwaniu się od swobodnej powierzchni wody platforma przechodzi do drugiej fazy ruchu, lotu.



Rys. 1. Przykład przejścia platformy-wersja-A do drugiej fazy ruchu, lotu, po jej oderwaniu się od swobodnej powierzchni wody.

Lot platformy powinien przebiegać na wysokości około 3 metrów nad poziomem wody, także na wodzie szfalananej. Analiza tej fazy ruchu obejmuje między innymi wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych platformy przy zachowaniu stałej odległości platformy od swobodnej powierzchni wody oraz przy zmianie tej odległości, na skutek oddziaływań zewnętrznych (wiatr, falowanie). Rozważono także zachowanie się platformy pod wpływem zmian trajektorii lotu spowodowanych bliskością lądu w strefie przybrzeżnej lub z powodu obecności obiektów nawodnych. Zasięg lotu platformy oszacowano na poziomie kilku do kilkunastu kilometrów. Trzecia faza ruchu platformy dotyczy jej wodowania na swobodnej

powierzchni wody. Przewiduje się możliwość zastosowania platformy w warunkach operacyjnych przy stanie morza poniżej 2oB. Możliwość użycia platformy przy wyższych stanach morza będzie wymagało nieznacznych zmian konstrukcji platformy w szczególności, jeśli chodzi o układ napędowy platformy. Analizę ruchu platformy na etapie projektowania prowadzono przy założeniu, że maksymalna prędkość lotu platformy nie przekracza 100 km/h (27,7 m/s), masa platformy wraz z ładunkiem wynosi do 250 kg. Na etapie budowy demonstratora platforma zostanie wyposażona w śmigłowy spalinowy układ napędowy oraz w zdalny system sterowania, nawigacji i komunikacji. Docelowo platforma powinna pracować w trybie programowalnym, pół-autonomicznym lub docelowo autonomicznym.

3. Obliczenia CFD

Symulacje numeryczne ruchu platformy przeprowadzono w programie STAR CCM+ wykorzystując zaawansowane moduły obliczeniowe.

Platforma została zamodelowana jako bryła sztywna o sześciu stopniach swobody. Modelowana jest jego masa, położenie środka ciężkości oraz momenty bezwładności. Siłę ciągu zadano jako wektor zaczepiony do konstrukcji w punkcie zamocowania pędnika, którego kierunek zmienia się wraz z ruchem pojazdu, a wartość jest stała lub zależy od wybranych zmiennych. Działanie steru wysokości zamodelowano jako dodatkową siłę przyłożoną na płacie poziomym, której wartość podano jako funkcję prędkości i położenia pojazdu, co pozwala modelować ruch pojazdu w podstawowych fazach (start, lot, wodowania).

Modelowanie ruchu platformy możliwe było dzięki zastosowaniu modelu Dynamic Fluid Body Interaction (DFBI) oraz zastosowaniu ruchomych siatek nakładanych (ang. overset mesh). Dwufazowe środowisko zamodelowane zostało za pomocą modelu Volume of Fluid rozszerzonego o modele falowania.

4. Podsumowanie

Zakończono pierwszy 14 miesięczny etap badań. Całość prac badawczych, projektowych i wykonawczych obejmuje okres 36 miesięcy.

Do zasadniczych problemów związanych z projektowaniem demonstratora platformy należy zaliczyć opracowanie zintegrowanego aero-hydrodynamicznego kształtu platformy, konstrukcji platformy, w tym szczegółowych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych oraz budowę demonstratora platformy. Do kluczowych problemów z punktu widzenia osiągnięć i dynamiki platformy należy zaliczyć pływalność i stateczność platformy oraz jej właściwości aero-hydrodynamiczne we wszystkich fazach ruchu, pod wpływem wymuszeń od działania wiatru lub/i falowania. Zwieńczeniem zaplanowanych prac będzie testowanie platformy w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

Metoda badawcza została oparta na analizie misji platformy składających się z określonych scenariuszy zdarzeń, analizie osiągnięć i dynamiki platformy dla zdefiniowanych misji oraz analizie ryzyka i bezpieczeństwa platformy dla danych operacyjnych misji. Powyższa metoda stanowi podstawę do opracowania systemu

sterowania oraz procedury sterowania platformą podczas misji.

Wyniki dotychczasowych badań stanowią opracowane scenariusze misji. Opracowano zintegrowany aero-hydrodynamicznie kształt kadłuba platformy. Przeprowadzono analizę charakterystyk aero-hydrodynamicznych i dynamiki platformy dla zadanych faz jej ruchu, z uwzględnieniem pracy układu napędowego.

Podczas dotychczasowych prac, w tym dotyczących analizy charakterystyk aero-hydrodynamicznych platformy zastosowano badania parametryczne, metody numerycznej mechaniki płynów CFD, metodę elementów skończonych – podczas analizy konstrukcyjno-wytrzymałościowej, analizę osiągnięć aero-hydrodynamicznych platformy, analizę ryzyka niewykonania misji oraz badania na modelach fizycznych platformy.

Praca została wykonana w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju - Umowa nr DOB SZAFIR/01/B/036/04/2021 pt. „Bezzałogowa platforma nawodno-powietrzna wykorzystująca efekt przypowierzchniowy wspierająca działania Wojsk Specjalnych na akwenach morskich”. Beneficjenci: Politechnika Gdańska - Lider, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych.

Literatura

- [1] Belawin N.I. *Ekranoplany*. Wydawnictwo "Budownictwo okrętowe" (wydano w j. rosyjskim), (Nr) UDK 629.12.011.17:629.7, Leningrad 1977.
- [2] Bettle M.C., Gerber A.G., Watt G.D. *Unsteady analysis of the six DOF motion of a buoyantly rising submarine*. Computers & Fluids, 2008, 38, 1833-1849.
- [3] Fossen T.I. *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. Wiley, UK, 2011.
- [4] Gerigk M.K. *Modelowanie cech hydromechanicznych dwustanowych bezzałogowych obiektów pływających*. Monografia naukowa z okazji 70 rocznicy urodzin Profesora Edmunda Wittbrodta pt. "Od metody elementów skończonych do mechatroniki", Praca zbiorowa pod redakcją Krzysztofa J. Kalińskiego i Krzysztofa Lipińskiego, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2017, ISBN 978-83-7348-709-3, s. 143-154.
- [5] Gerigk M.K. *Modelling of performance of an AUV stealth vehicle. Design for operation*. Proceedings of IMAM 2017, 17th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, Lisbon, Portugal, 9-11 October 2017. Volume 1, @ 2018 Taylor & Francis Group, London. A Balkema Book, ISBN 978-0-8153-7993-5, pp. 365-369.
- [6] Gerigk M.K. *Analiza cech hydro-aerodynamicznych bezzałogowego pojazdu nawodno-powietrznego z wykorzystaniem efektu przypowierzchniowego*. Mechanika w Lotnictwie, ML-XX 2022, 2022, ISBN 978-83-61021-66-7 (oprawa miękka) / isbn 978-83-61021-15-5 (pdf), <https://doi.org/10.15632/ml2022/77-88>, DOI: 10.15632/ml2022/77-88.
- [7] ITTC. *Recommended procedures and guidelines: practical guidelines for ship CFD applications*, 7.5, ITTC, 2011, 1-18.
- [8] Kornev N., Matveev K. *Complex numerical modeling of dynamics and crashes of wing-in-ground vehicles*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA 2003-600, 41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit 6-9 January 2003, Reno, Nevada.
- [9] Lloyd's Register Technical Association, *Development of Rules and Regulations for Wing in Ground Effect*. Craft Paper No. 4, Session 2001-2002.
- [10] Materiały wewnętrzne Konsorcjum PG-WAT-ITWL: Umowa nr DOB SZAFIR/01/B/036/04/2021. *Projekt pt. „Bezzałogowa platforma nawodno-powietrzna wykorzystująca efekt przypowierzchniowy wspierająca działania Wojsk Specjalnych na akwenach morskich”*.
- [11] Matveev K.I. *Aero-hydrodynamic aspects of power-augmented ram wings*. Journal of Ship research, Vol. 57, No. 2, June 2013, pp. 86-97.