

Krzysztof SZAFRAN, Ireneusz KRAMARSKI, Zbigniew PAŁOWSKI

## BADANIA SYMULACYJNE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH MODUŁOWEGO NAPĘDU PLATFORMY BADAWCZEJ NA PODUSZCE POWIETRZNEJ

### Streszczenie

*W artykule omówiony został proces przeprowadzenia badań symulacyjnych elementów modułu zespołu napędowego do platformy na poduszce powietrznej. W badaniach wykorzystano oprogramowanie komputerowe Ansys Fluent a także pakiet programowy firmy Multi Wing. Autorzy także proponują zastosowanie takiego sposobu przeprowadzenia symulacji do badań napędów aerodynamicznych do samolotów lekkich, bezzałogowców i innych urządzeń wykorzystujących zespoły wentylatorów osłonięte pierścieniem aerodynamicznym. W trakcie prac zaprojektowano i przebadano nowy profil aerodynamiczny o symbolu ILot-HR przeznaczony dla pierścieni osłaniających wentylator lub śmigło. Rezultaty badań przedstawiono na wykresach.*

### WSTĘP

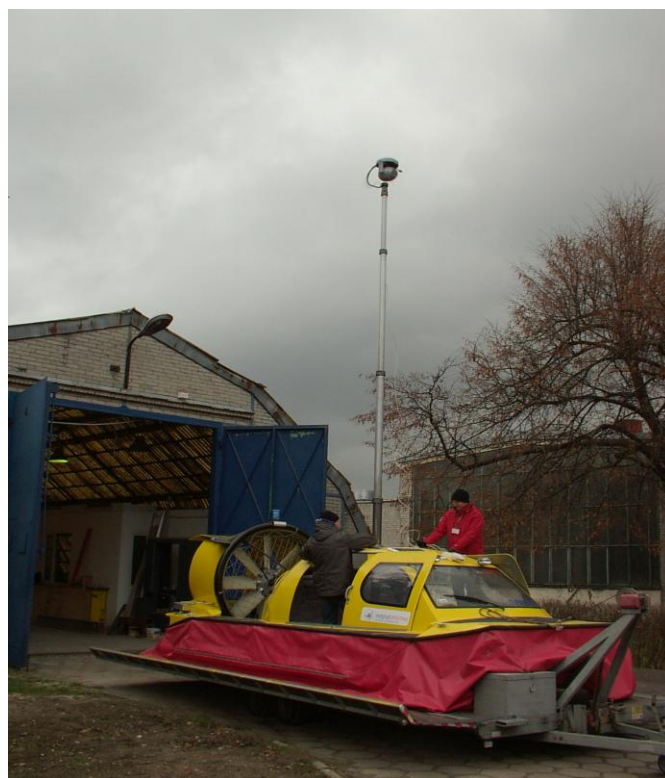
Od lat w Instytucie Lotnictwa prowadzone były prace i badania eksperymentalne związane z modułem napędowym do nowych środków transportowych, takich jak samoloty lekkie, poduszkowce, napędy do sterowców i wiroplątów.[12][13] Doświadczenia zdobyte w kilkunastoletniej eksploatacji środków transportu na poduszce powietrznej – poduszkowców serii PRP-560 i PRC-600 konstrukcji Instytutu Lotnictwa (poduszkowce ratowniczo – patrolowe przeznaczone dla służb ratownictwa wodnego), skłaniały do kontynuowania prac nad udoskonaleniem rozwiązań konstrukcyjnych. [2][3] ) W kontekście narastającego problemu migracyjnego i ochroną śródlądowej wodnej granicy Unii Europejskiej (rzeka Bug, Zalew Wiślany) oraz wewnątrz unijnej śródlądowej wodnej granicy państwowej (Zalew Szczeciński oraz rzeki Odra i Nysa Łużycka) Instytut Lotnictwa wykonał z firmą „Hornet” także wstępne badania związane z integracją głowicy obserwacyjnej na maszcie teleskopowym z platformą na poduszce powietrznej.

W przedłożonym opracowaniu pokazano tylko jedną z możliwości udoskonalenia modułów zespołów napędowych przeznaczonych dla pojazdów na poduszce powietrznej, szczególną uwagę poświęcając doborowi profilu obudowy wentylatora napędowego. Niektóre rezultaty prac nad nowymi, bardziej efektywnymi modułami napędowymi opisano w publikacjach naukowych [4], [6]. Opracowano koncepcję i projekt wstępny jednostki napędowej przeznaczonej dla projektowanego poduszkowca PRI-750, [6]. Projekt przewidywał modułową konstrukcję, co jest pewną nowością w tego typu pojazdach transportowych, umożliwiającą przebrojenie platformy w konfigurację transportową do szybkiego przewozu towarów lub zastosowanie w transporcie turystycznym.

Najbardziej złożonym modułem konstrukcyjnym platformy na poduszce powietrznej jest moduł zespołu napędowego. W skład jego wchodzi: wentylator z łopatomy o stałym skoku wytwarzający siłę ciągu niezbędną do nadania ruchu postępowego platformy na poduszce powietrznej, silnik, osprzęt związany z poprawną pracą silnika, instalacje chłodzące i wentylujące, instalacja paliwowa, instalacje zasilania elektrycznego i układy sterowania odległościowego.

We wstępnych pracach badawczych, opierając się na metodach symulacji komputerowej podjęto próbę zoptymalizowania zespołu pierścienia aerodynamicznego osłaniającego śmi-

gło/wentylator. Niektóre wyniki badań zaprezentowano w publikacjach naukowych Instytutu Lotnictwa [7].



**Rys. 1.** Poduszkowiec PRC-600 z głowicą obserwacyjną (Szafran ILot)

Materialnym efektem prac symulacyjnych wykonanych w oparciu o pakiet programowy FLUENT jest opracowanie nowego profilu pierścienia aerodynamicznego. Na profil ten, jako wzór użytkowy uzyskano ochronę Urzędu Patentowego RP [8]. Profil ILot-HR został zaprojektowany w Instytucie Lotnictwa jako przekrój wzdłużny dyszy wentylatora do nowo projektowanego poduszkowca ratowniczo interwencyjnego serii PRI-750. Profil został zoptymalizowany pod kątem współpracy dyszy z wentylatorem napędowym firmy Multi-Wing, które to wentylatory są powszechnie stosowane do napędu

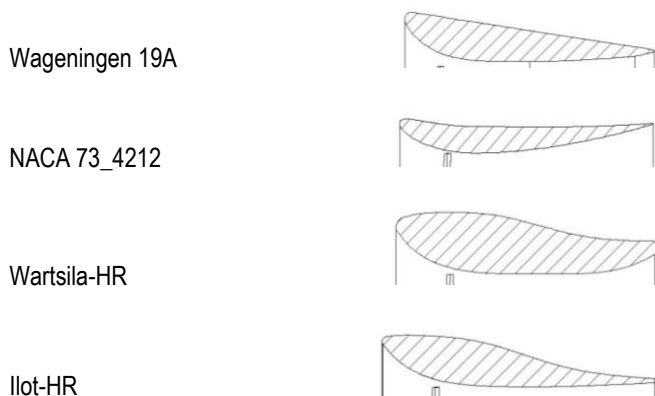
małych i średnich poduszkowców używanych przez służby ratownicze, firmy transportowe i prywatnych użytkowników. W publikacji [9] wykazano, iż pierścien aerodynamiczny wokół śmigła poprawia osiągi obiektu latającego dla małych i średnich prędkości.

Platformy transportowe użytkowane w naszych warunkach klimatycznych, w swoim działaniu muszą uwzględniać operowanie w trudnych warunkach, w tym być odporne na zanieczyszczenia takie jak piasek i żwir, błoto, roślinność (trawa, liście, gałęzie), lód w postaci kry i stałej, śnieg. Niebezpiecznym zjawiskiem jest również oblodzenie elementów ruchomych, takich jak śmigła, łopaty wentylatorów, osłony aerodynamiczne i stery. Warunki te powinny być uwzględniane już na początku powstawania projektu i prowadzonych badań modelowych. Jednemu z elementów konstrukcji modułu napędowego poświęcona jest niniejsza praca ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa użytkowania i prostoty eksploatacji.

## 1. KONCEPCJA I PRZEDMIOT BADAŃ

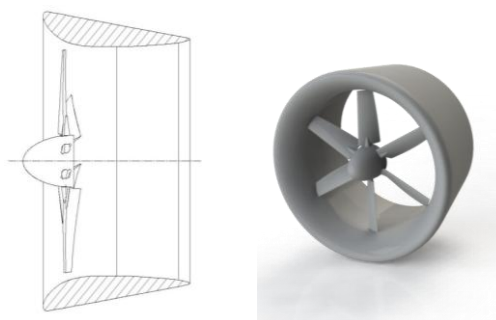
Przyjmując wstępne założenia eksploatacyjne opracowane dla poduszkowca ratowniczo- interwencyjnego PRI-750, określono wstępne warunki techniczne dla symulacji modułu napędowego, a w szczególności pierścienia aerodynamicznego. W warunkach przyjęto maksymalne wartości parametrów takich, jak: moc zespołu napędowego, obroty silnika i wentylatora, niezbędna minimalna siła ciągu wentylatora.

W pracy przedstawiono następujące wyniki badań profili: Wageningen 19A - konwencjonalny profil napędów strugowodnych, profil NACA 73\_4212 - zaproponowany w geometrii przez [4], profil Wartsila-HR – o wysokiej wydajności ciągu, profil Ilot-HR - zaprojektowany w Instytucie Lotnictwa (Rys. 2).



Rys. 2. Kształty profili pierścieni aerodynamicznych. [4]

Wszystkie pierścienie aerodynamiczne wyposażono w ten sam wentylator produkowany przez firmę Multi-Wing. Średnica wentylatora wynosi 1600 mm, a długość pierścienia aerodynamicznego 1200 mm (Rys. 3). Wentylator umieszczono w 20% cięciwy od krawędzi natarcia. Wynikało to z warunków projektu platformy na poduszce powietrznej, który przewiduje zainstalowanie systemu odwracacza ciągu. Obliczenia przeprowadzono dla stałej prędkości obrotowej wentylatora  $n=1400$  rpm i zmiennej prędkości przemieszczania napływu powietrza  $V=4\div 36$  m/s (odwzorowującej typowe prędkości postępowe platformy na poduszce powietrznej).

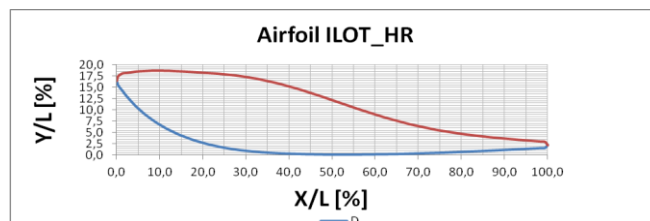


Rys. 3. Pierścien i wentylator modułu napędowego wg[12]

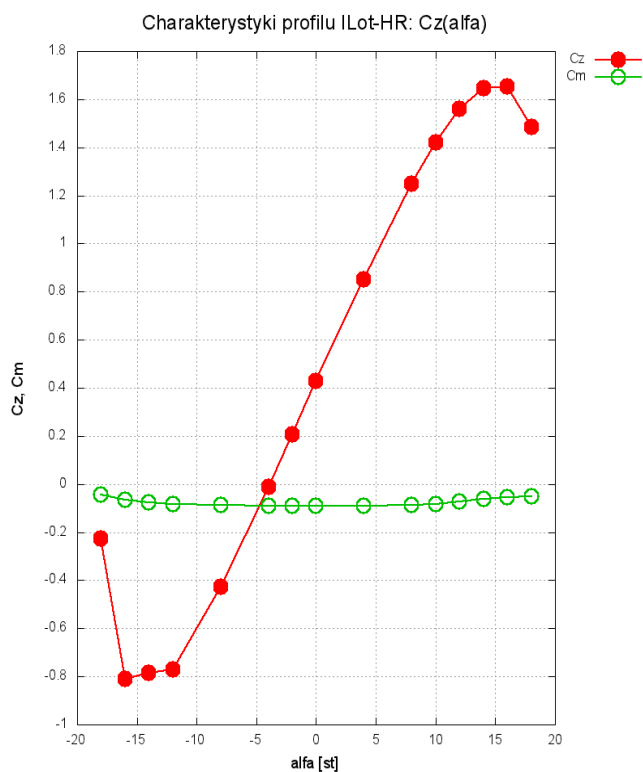
Z badań poprzedników, a także własnych, [10] wiadomo, że pierścien aerodynamiczny daje znaczne korzyści przy zwiększeniu ciągu dochodzące do 25% wartości nominalnych. Badania nad pierścieniem i kształtem profilu zostały wykonane wcześniej w oparciu o konwencjonalną dyszę Wageningen 19A, która jest zwykle stosowana do obudów śmigła [4]. Są to jednak profile oryginalnie zaprojektowane do wymagań przemysłu morskiego – pędniki strugowodne w jednostkach pływających. Profile te nie w pełni spełniają wymagania w warunkach operowania nowo projektowanych pojazdów na poduszce powietrznej. W związku z tym porównano za pomocą oprogramowania komputerowego CFD, różne kształty profili aerodynamicznych, które są wykorzystywane w poduszkowcach i samolotach lekkich projektowanych w Instytucie Lotnictwa. W trakcie prac wyselekcjonowano profile pierścieni aerodynamicznych, które poddano badaniom porównawczym. Kształty przedstawiono na rysunku 3.

## 2. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK AERODYNAMICZNYCH PROFILU ILOT-HR

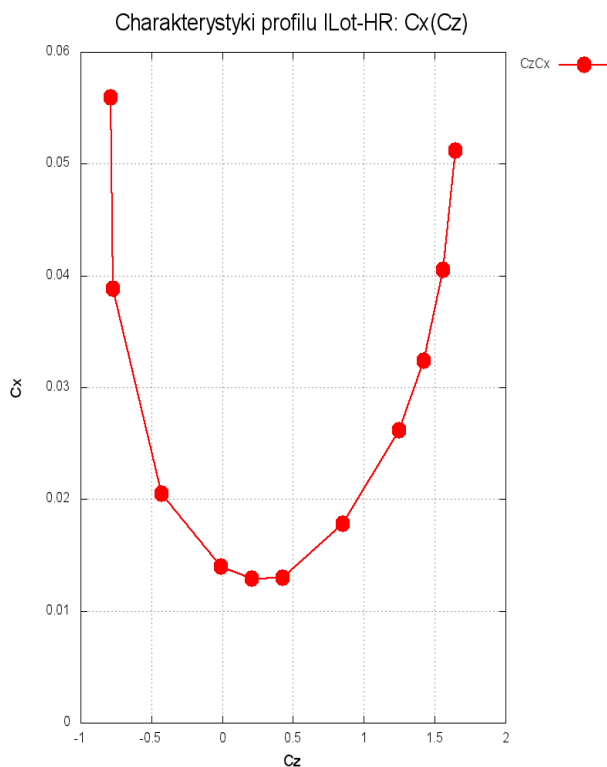
Szkic geometryczny profilu zaprojektowanego w Instytucie Lotnictwa pokazano na rysunku 4. Dla tak zaprojektowanego profilu obliczono wstępne charakterystyki aerodynamiczne metodami modelowania numerycznego. Przeprowadzono obliczenia współczynników aerodynamicznych w funkcji kąta natarcia, a mianowicie  $C_x(\alpha)$ ,  $C_z(\alpha)$ ,  $C_m(\alpha)$ , przy założonej liczbie Reynoldsa  $Re = 3 \times 10^6$ . Wstępne obliczenia numeryczne współczynników aerodynamicznych wykonano metodą objętości skończonych za pomocą programu Ansys Fluent, metodą RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) przy użyciu modelu turbulencji Realizable k- $\epsilon$ . Wyniki przedstawiono na wykresach (rys.5, 6).



Rys. 4. Szkic geometryczny profilu pierścienia aerodynamicznego.



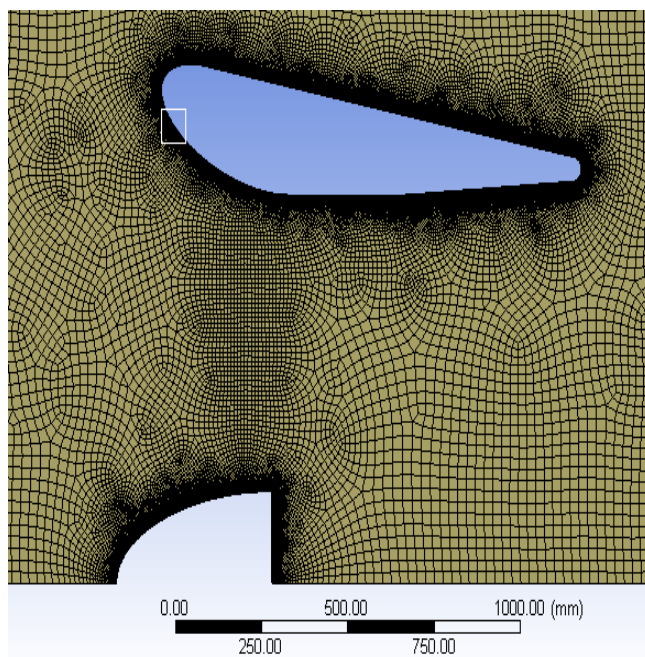
Rys. 5. Charakterystyki wyizolowanego profilu ILot-HR. [8]



Rys. 6. Charakterystyki wyizolowanego profilu ILot-HR. [8]

### 3. OBLICZENIA PRZEPLYWOWE PIERŚCIENIA AERODYNAMICZNEGO

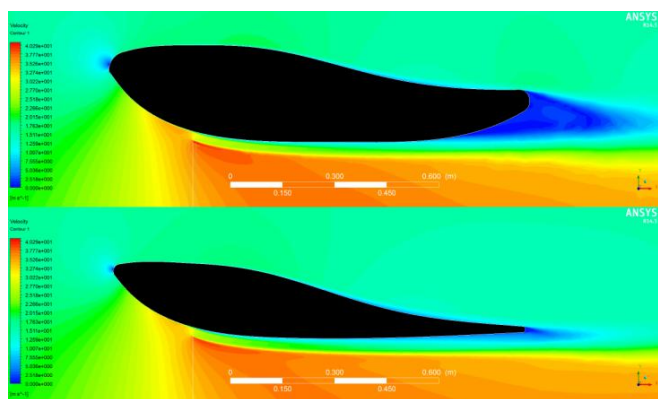
Obliczenia przepływowe zostały wykonane z wykorzystaniem CFD pakietu Ansys Fluent. Warunki brzegowe zostały określone w sprawozdaniu wewnętrznym Instytutu Lotnictwa [7]. Badania nie objęły wpływu opływu łopatek wentylatora na pierścien aerodynamiczny, a tylko efektywność geometrii profilu. Pozwoliło to zmniejszyć problemy związane z przepływem osiowosymetrycznym. Charakterystyki wentylatora obliczono w programie MultiWing Optimizer 7. Obliczenia zostały wykonane w domenie o kształcie cylindrycznym. Zastosowanie modelu  $k-\omega$  SST turbulencji [10] w obliczeniach pozwala na stosowanie pojedynczej siatki obliczeniowej dla całego zakresu prędkości obliczeniowych. Model siatki obliczeniowej przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Siatka obliczeniowa dla modułu napędowego wg [9]

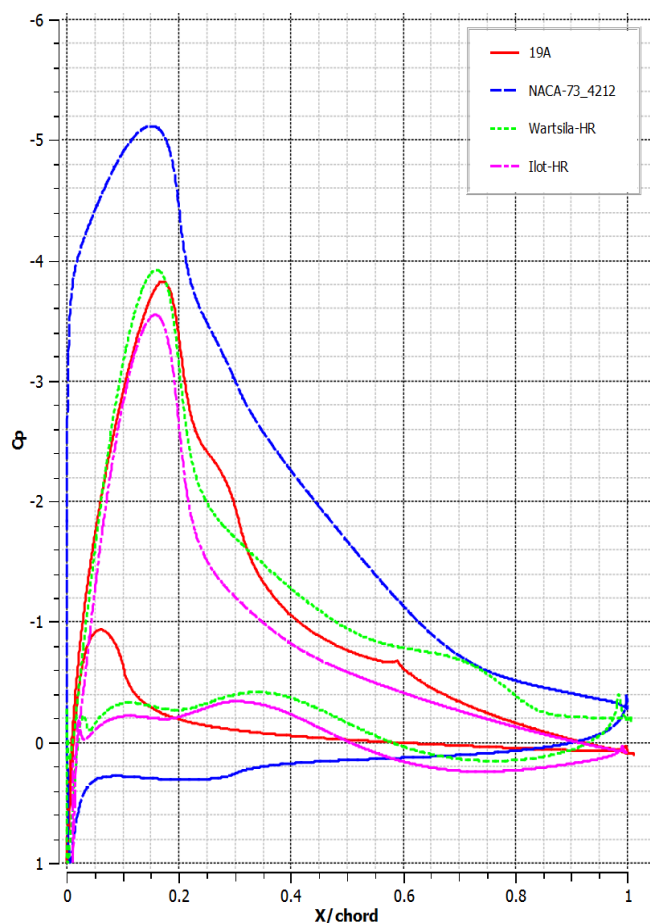
### 4. WYNIKI SYMULACJI PIERŚCIENIA AERODYNAMICZNEGO

W wyniku przeprowadzonych symulacji porównawczych pierścienia aerodynamicznego z różnymi profilami w celu poprawy charakterystyki wentylatora w pierścieniu w warunkach średnich i wysokich prędkości przepływu zostały zaproponowane zmiany. Zaprojektowano profil Ilot-HR będący głęboką modyfikacją profilu Wartsila-HR. Celem modyfikacji było zmniejszenie obszaru zawirów na krawędzi spływu, a także ograniczenie oporu wynikającego ze znacznego pogrubienia profilu. Zmiany te pokazano w jednokowej skali na rysunku 8. Nowa konstrukcja posiada cieńszy profil pierścienia, nieco zwiększający ciąg, ale także znacznie poprawiający warunki pracy wentylatora. Rezultatem jest zwiększenie współczynnika naporu.

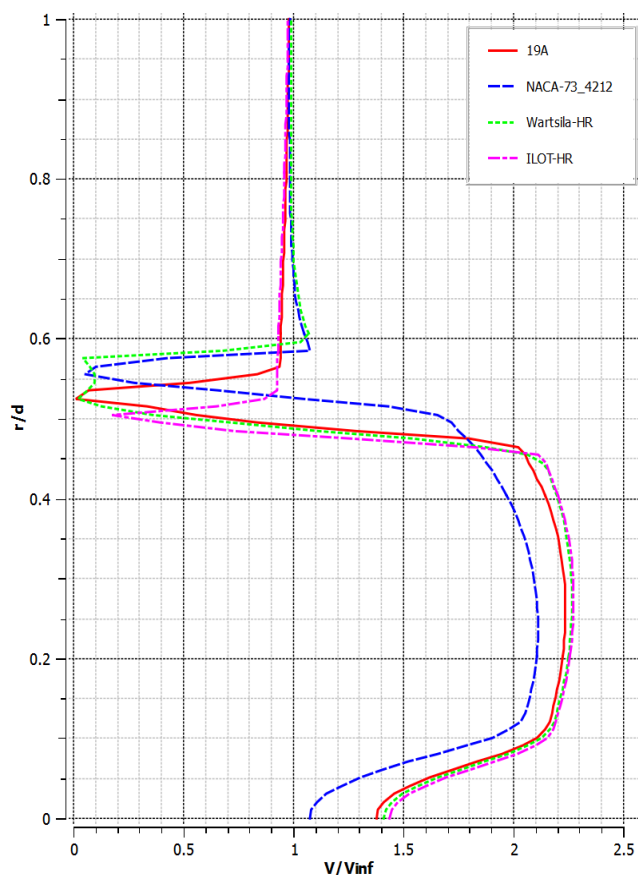


Rys. 8. Wizualizacja dwóch pierścieni aerodynamicznych z różnymi profilami [12]

Wykresy 9 i 10 przedstawiają porównanie współczynników ciśnienia na powierzchni pierścienia aerodynamicznego oraz porównanie bezwymiarowych prędkości na krawędzi spływu.



Rys. 9. Wykresy porównawcze symulacji komputerowych dla wybranych profili aerodynamicznych – rozkład ciśnień na powierzchni profilu [11]



Rys. 10. Wykresy porównawcze symulacji komputerowych dla wybranych profili aerodynamicznych – rozkład prędkości promieniowych[11]

### PODSUMOWANIE

Zdobyte doświadczenie w eksploatacji poduszek serii PRP-560 i PRC-600 pozwoliło na zaprojektowanie dojrzałej technicznie konstrukcji, która powinna być konkurencyjna przy świadczeniu usług na światowych rynkach.[14]

Badania i symulacje komputerowe pokazały, że właściwości aerodynamiczne pierścieni aerodynamicznych stanowiących obudowę wentylatorów napędu poduszek różnią się od pierścieni osłaniających śmigła samolotowe, zwłaszcza dla małych i średnich prędkości poruszania się platformy na poduszce powietrznej.

W ramach prowadzonych prac powstały także inne rozwiązania techniczne związane z platformą na poduszce powietrznej, które zaowocowały zgłoszeniami patentowymi i przyznanymi wzorami użytkowymi. [8].

Konieczne jest prowadzenie dalszych prac w zakresie platform na poduszce powietrznej w zakresie optymalnego doboru zespołu napędowego, ze szczególnym uwzględnieniem m.in. zmiany kąta natarcia i profilu łopaty wentylatora, wpływu rewersu ciągu wentylatora na warunki użytkowania platformy na poduszce powietrznej jak również różnych dynamicznych zjawisk aerodynamicznych związanych z integracją głowicy obserwacyjnej na maszcie teleskopowym z pozostałymi elementami konstrukcji..

Dalsze badania aerodynamiczne powinny uwzględniać zgłaszane inne potrzeby użytkowników, w tym co najmniej możliwość montażu systemów startowych i zintegrowanych z nimi specjalnych mini bezałogowych statków powietrznych w trudnych warunkach użytkowania.

## BIBLIOGRAFIA

1. Gornicz T., K. J. (2013). The Assessment of the Application of CFD Package OpenFOAM to Simulation Flow Around the Propeller. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation
2. Milczarczyk J., Szafran K. - Zastosowanie MES w projektowaniu a bezpieczeństwo konstrukcji na przykładzie analizy ramy silnika poduszkowca IL PRI – 760. Monografia. Bezpieczeństwo na lądzie, morzu i w powietrzu w XXI wieku.- Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwpowozarowej. - Józefów. - 2014. – s. 279 – 286.
3. Pagowski Z.T. , Szafran K. The Ecological Hovercraft, Dream or Reality!. *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: Maritime Transport and Shipping*, ISBN:978-1-138-00105-3; 44-48.
4. Serdar Yilmaz, D. E. (2013). 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. Effects of Duct Shape on a Ducted Propeller Performance
5. Szafran K. - Modułowy napęd platformy badawczej na poduszce powietrznej – zalety eksploatacyjne. *Logistyka, Nauka.* -2014. – Vol. 6 – s. 86 – 90.
6. Szafran K. Ejmocki D. – Studium geometrii zewnętrznej poduszkowca PRI 760. Opracowanie wew. Instytutu Lotnictwa TTE8/S/3/2014
7. Szafran K., Shcherbonos O., Ejmocki D. - EFFECTS OF DUCT SHAPE ON DUCTED PROPELLER THRUST PERFORMANCE. *Prace Instytutu Lotnictwa. Nr 4(237) – 2014. s.84-91.*
8. Szafran K., Shcherbonos O., Ejmocki D. Profil pierścienia kołowego do zastosowań w napędach lotniczych: A.c. Nr.W.122937. Urząd Patentowy Rzeczpospolitej Polski. zgłoszenie 24.03.2014; opublikowany 31.03.2014.
9. Szafran K. The non-pilot airplane safety fly in turbulence / Szafran K. // The Second World Congress "Aviation in the XXI-st Century" "Safety in Aviation", 19–21 Sept. 2005: тези доп. – K., 2005. – с. 65–69.
10. Szafran K. The unmaned platform as a carrier of systems of equipment to research/study UAV / SAUAV – 2010: 4th International Conference on scientific Aspects of Unmanned Aerial Vehicle: – 2010. – s. 85.
11. Szafran K., Sherbonos O., Ejmocki D. - DUCT SHAPE ON DUCTED PROPELLER THRUST PERFORMANCE. Sprawozdanie wewnętrzne Instytutu Lotnictwa nr PRI76/0029/TTE8/2014.
12. Wilcox, D. C. 1994. Turbulence Modeling for CFD. DCW Industries.
13. Witold Wiśniowski Specjalizacje Instytutu Lotnictwa przegląd i wnioski, *Prace Instytutu Lotnictwa Nr 2(235)*, s. 7-16, Warszawa 2014 eISSN 2300-5408
14. Witold Wiśniowski Badania i świadczenie usług na światowym rynku badań, *Marketing instytucji naukowych i badawczych nr1/7 2013 s.3-12* Wydawnictwa Naukowe Instytutu Lotnictwa

## SIMULATION STUDIES OF MODULAR CONSTRUCTION ELEMENTS FOR HOVERCRAFT PLATFORM

*Abstract*

*Paper presented a process simulation testing powertrain components within the module to the platform on a cushion of air. The study used the software porrowe Ansys Fluent and software package of Multi Wing. The authors also propose the use of this method to simulate aerodynamic testing drives for light aircraft, drones and other devices with fan assemblies covered aerodynamic ring ( fan). During the works are designed and tested a new aerodynamic profile symbol Ilot-HR designed for protecting the Rings for fan or propeller. The results are shown in graphs.*

Autorzy:

dr inż. Krzysztof **SZAFRAN** – Instytut Lotnictwa, [Krzysztof.Szafran@ilot.edu.pl](mailto:Krzysztof.Szafran@ilot.edu.pl) .

mgr inż. **Ireneusz KRAMARSKI** – Hornet. [irek@kramarski.com.pl](mailto:irek@kramarski.com.pl)

dr inż. **Zbigniew PAĞOWSKI** - Instytut Lotnictwa [Zbigniew.Pagowski@ilot.edu.pl](mailto:Zbigniew.Pagowski@ilot.edu.pl)