

KARTA PRZEDMIOTU OFEROWANEGO W SZKOLE DOKTORSKIEJ

Kod przedmiotu	4606-PS-000000H-0283	Nazwa przedmiotu	w j. polskim	Aerodynamika Raket		
			w j. angielskim	Missile aerodynamics		
Przynależność do grupy przedmiotów	przedmioty specjalnościowe					
Koordinator przedmiotu	Prof. Jacek Szumbariski, współprowadzący dr inż. Zbigniew Nosal					
Jednostka realizująca	ITLiMS MEiL	Dyscyplina/y naukowa*	Inżyniera mechaniczna			
Poziom kształcenia	Kształcenie doktorantów	Semestr	zimowy/letni			
Język zajęć	polski/angielski					
Forma zaliczenia:	egzamin	Sumaryczna liczba godzin w semestrze	30	Sumaryczna liczba ECTS	2	
Minimalna liczba uczestników	12	Maksymalna liczba uczestników	60	Dostępność dla studentów	Tak	
Typ zajęć		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia projektowe	Laboratorium	Seminarium
SD-Liczba godzin zajęć	tygodniowo	2	0	0	0	0
	łącznie w semestrze	30				

* nie dotyczy warsztatu badacza

1. Wymagania wstępne

Podstawowa wiedza związana z mechaniką płynów, aerodynamiką, termodynamiką i metodami numerycznymi.

2. Cele przedmiotu

Celem przedmiotu jest analiza opływu ciał wysmukłych typu rakiet w pełnym zakresie prędkości: małe prędkości, poddźwiękowe, transoniczne i w szczególności naddźwiękowe i hipersoniczne. Omawiane będą podstawowe metody obliczeniowe, zjawiska przepływowe, oddziaływanie fala uderzeniowa-warstwa przyścienna i charakterystyki aerodynamiczne. Zakres przedmiotu obejmuje także problematykę przepływów wewnętrznych z zastosowaniem do silników raketowych. Słuchacze zostaną przygotowani do stosowania dostępnych komercyjnych pakietów oprogramowania i analizy otrzymanych wyników.

3. Treści programowe (dla każdego typu zajęć oddzielnie)

Wykład

W ramach przedmiotu przedstawione zostaną podstawowe modele matematyczne opisu opływu ciał wysmukłych wraz z głównymi założeniami upraszczającymi i konsekwencjami tych założeń. Omówione zostaną metody i wyniki dynamiki gazów dla opływów ciał i przepływów wewnętrznych w zakresie naddźwiękowym przy założeniach przepływu jednowymiarowego (dysze, fala uderzeniowa), dwuwymiarowego (fala uderzeniowa skośna i prostopadła) i trójwymiarowego (fale uderzeniowe zakrzywione). Obliczenia i charakterystyki opływu stożka i ciał krzywoliniowych. Omówione zostanie zjawisko oddziaływania fala uderzeniowa-warstwa przyścienna, generujące istotną zmianę własności aerodynamicznych i często prowadzące do przepływów niestacjonarnych. W zakresie przepływów hipersonicznych omówione zostaną własności fizyczne powietrza w wysokich temperaturach, wpływ na własności aerodynamiczne, ślad aerodynamiczny i zjawisko blackoutu. W ramach wykładu omawiane będą tunele dużych prędkości, problematyka badań w tym zakresie oraz przykładowe pomiary eksperymentalne w laboratorium (demonstracja).

Laboratorium

4. Efekty uczenia się

Rodzaj efektu	Opis efektu uczenia się	Odniesienie do efektów uczenia się w SD PW	Sposób weryfikacji efektów uczenia*
Wiedza			
W01	Zna podstawowe metody obliczeniowe charakterystyk aerodynamicznych ciał wysmukłych dla dużych prędkości.	SD_W2	egzamin
W02	Ma podstawową wiedzę z wpływu fal uderzeniowych na zjawiska przepływowe (opływy ciał i przepływy wewnętrzne).	SD_W2	egzamin
W03	Zna problematykę hipersonicznych opływów ciał, podstawowe metody obliczeniowe i zjawiska przepływowe w zakresie hipersonicznym.	SD_W2, SD_W3	egzamin
Umiejętności			
U01	Potrafi rozróżnić rodzaje i zastosowania pocisków raketowych.	SD_U1	egzamin
U02	Potrafi uzasadnić dobór kształtu i geometrii rakiety w pełnym zakresie prędkości z uwzględnieniem oddziaływania fala uderzeniowa-warstwa przyścienna oraz zmiana charakterystyk powietrza w zakresie hipersonicznym.	SD_U1, SD_U2	egzamin
U03	Potrafi wymienić i uzasadnić dobór naddźwiękowych wlotów powietrza, występujące w nich zjawiska przepływowe oraz oszacować podstawowe parametry.	SD_U2, SD_U4	egzamin
Kompetencje społeczne			

* dozwolone sposoby weryfikacji efektów uczenia się: egzamin; egzamin ustny; kolokwium pisemne; kolokwium ustne; ocena projektu; ocena sprawozdania; ocena raportu; ocena prezentacji; ocena aktywności w trakcie zajęć; prace domowe; test

5. Kryteria oceny

Obecność na zajęciach obejmujących demonstrację badań laboratoryjnych jest obowiązkowa. Kolokwium w trakcie semestru i koczowy egzamin pisemny – dwuczęściowy (część podstawowa i zaawansowana), zaliczenie prac domowych z wykorzystaniem dostępnych programów obliczeniowych.

6. Literatura

Literatura podstawowa:

- [1] Burakowski T., Sala A.,: *Rakiety i Pociski Kierowane – Część I*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Rakietowej, Warszawa, 1960
- [2] Emanuel G.,: *Gas dynamics: Theory and Applications* – AIAA Education Series, 1984
- [3] Nielsen J.N.,: *Missile Aerodynamics*, AIAA Education Series, 1988
- [4] Mendenhall M.R.,: *Tactical Missile Aerodynamics: Prediction Methodology*, Progress in Astronautics and Aeronautic, AIAA 1992
- [5] Seddon J., Goldsmith E.L.: *Intake Aerodynamics*, Progress in Astronautics and Aeronautic, 1999
- [6] Paul Zarchan, *Tactical and Strategic Missile Guidance*, Progress in Astronautics and Aeronautic, AIAA 2019

- [7] Fleeman E.L.,: Tactical Missile Design, AIAA Education Series, 2001
[8] Anderson J.D. : Hypersonic and High-Temperature Gas Dynamics, Education Series AIAA 2006

Nakład pracy doktoranta niezbędny do osiągnięcia efektów uczenia się**		
Lp.	Opis	Liczba godzin
1	godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim wynikające z planu	30
2	Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim w ramach konsultacji, egzaminów, sprawdzianów itp.	5
3	Godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do zajęć, wykonania prac domowych.	15
4	godziny pracy samodzielnej doktoranta w ramach przygotowania do egzaminu.	10
Sumaryczny nakład pracy doktoranta		60
Liczba punktów ECTS		2

** 1 ECTS pracy = 25-30 godzin nakładu pracy doktoranta (np. 2 ECTS = 60 godzin; 4 ECTS = 110 godzin)