

**Program studiów**

# **Silniki lotnicze podyplomowe**

## 1. Podstawowe informacje o studiach podyplomowych

Nazwa studiów	<b>Silniki lotnicze</b>
Poziom studiów	<b>podyplomowe</b>
Liczba semestrów	studia niestacjonarne: <b>2</b>
Liczba punktów ECTS wymagana do ukończenia studiów	<b>40</b>
Łączna liczba godzin zajęć	<b>275</b>

## 2. Cel studiów podyplomowych

Celem studiów podyplomowych Silniki lotnicze jest pogłębianie wiedzy i podnoszenie kompetencji zawodowych w obszarze lotniczych silników turbinowych.

## 3. Adresaci studiów podyplomowych

Adresatami studiów podyplomowych silniki lotnicze są absolwenci studiów inżynierskich o specjalności innej niż silniki lotnicze, którzy chcą poszerzyć swoją wiedzę i umiejętności i kompetencje o dodatkowy obszar jakim są turbinowe silniki lotnicze. Szczególnie jest to adresowane do osób pracujących w przemyśle lotniczym lub starających się o pracę w zakładach branży lotniczej.

## 4. Sylwetka absolwenta, możliwości zatrudnienia

Podstawowym celem studiów jest kształcenie i przygotowanie kadry inżynierskiej do pracy na stanowiskach konstruktorów zespołów lotniczych silników turbinowych, a w tym poznanie zasad opracowania poprawnej konstrukcji. Starannie wybrany program studiów zapewnia wykształcenie odpowiadające potrzebom i wymaganiom współczesnego przemysłu lotniczego oraz innych gałęzi przemysłu o wysokim nasyceniu nowoczesną technologią. Absolwent studiów uzyskuje współczesną wiedzę z zakresu lotniczych silników turbinowych, niezbędnych w ośrodkach zajmujących się badaniami, projektowaniem i konstruowaniem takich silników.

## 5. Zasady rekrutacji

Rekrutacja na podstawie zgłoszeń przy spełnieniu wszystkich wymogów formalnych. W przypadku dużej liczby zgłoszeń zastrzega się wprowadzenie rekrutacji wg kolejności zgłoszeń.

## 6. Efekty uczenia się

Symbol	Treść	Odniesienia do PRK
K_W01	Wykazuje wiedzę teoretyczną dotyczącą działania silnika lotniczego na poziomie zaawansowanym	<b>P6S_WG</b>
K_W02	Posiada pogłębioną wiedzę na temat budowy i zasad działania zespołów lotniczego silnika turbinowego	<b>P7S_WG</b>
K_W03	Posiada pogłębioną wiedzę na temat badań eksperymentalnych i nieniszczących lotniczych silników turbinowych	<b>P7S_WG</b>
K_U01	posiada umiejętność prowadzenia obliczeń wytrzymałościowych elementów maszyn wirnikowych	<b>P6S_UW</b>
K_U02	posiada umiejętność stosowania zasad prawidłowego konstruowania zespołów silnika lotniczego	<b>P6S_UW</b>
K_K01	wykazuje krytyczne zrozumienie wyników własnej działalności	<b>P6S_KK</b>
K_K02	ma świadomość ciągłego doskonalenia i samokształcenia	<b>P6S_KO</b>

Opis efektów uczenia się zawiera efekty uczenia się, o których mowa w ustawie z dnia 22 grudnia 2015 r. o Zintegrowanym Systemie Kwalifikacji i uwzględnienia uniwersalne charakterystyki pierwszego stopnia określone w tej ustawie oraz charakterystyki drugiego stopnia określone w przepisach wydanych na podstawie art. 7 ust. 3 tej ustawy.

## 7. Wykaz zajęć, parametry programu studiów, metody weryfikacji efektów uczenia się oraz treści programowe

### 7.1 Wykaz zajęć

Semestr	Jedn.	Nazwa zajęć	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Laboratorium	Projekt/ Seminarium	Suma godzin	Punkty ECTS	Egzamin	Oblig.	Typ
1	ML	Badania eksperymentalne lotniczych silników turbinowych	24	0	6	0	30	3	N		A
1	ML	Mechanika płynów	10	0	5	0	15	3	N		A
1	MI	Oprzęt i sterowanie lotniczych silników turbinowych	30	0	0	0	30	3	N		A
1	ML	Teoria maszyn przepływowych 1	25	5	0	0	30	4	T		A
1	ML	Teoria silników lotniczych	20	10	0	0	30	5	T		A
1	MD	Termodynamika	10	0	5	0	15	3	N		A
<b>Sumy za semestr: 1</b>			<b>119</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>150</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
2	MG	Badania nieniszczące	15	0	15	0	30	5	N		A
2	ML	Konstrukcja silników lotniczych	30	0	15	0	45	6	T		A
2	ML	Teoria maszyn przepływowych 2	20	10	0	0	30	5	T		A

2	ML	Wytrzymałość maszyn wirnikowych	20	0	0	0	20	3	N		A
<b>Sumy za semestr: 2</b>			<b>85</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>125</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
<b>SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:</b>			<b>204</b>	<b>25</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>275</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	

Legenda typy zajęć:

- A - obowiązkowy dla programu
- B - obowiązkowy dla programu z możliwością wyboru
- C - wybierany dla programu
- D - obowiązkowy dla specjalności
- E - wybierany dla specjalności
- F - fakultatywny

## 7.2 Parametry programu studiów i metody weryfikacji efektów uczenia się

### Parametry programu studiów

Łączna liczba punktów ECTS, którą student musi uzyskać w ramach zajęć prowadzonych z bezpośrednim udziałem nauczycieli akademickich lub innych osób prowadzących zajęcia.	11 ECTS
Łączna liczba punktów ECTS przyporządkowana zajęciom związanym z prowadzoną w uczelni działalnością naukową w dyscyplinie lub dyscyplinach, do których przyporządkowany jest kierunek studiów.	31 ECTS
Łączna liczba punktów ECTS, jaką student musi uzyskać w ramach zajęć z dziedziny nauk humanistycznych lub nauk społecznych w przypadku kierunków studiów przyporządkowanych do dyscyplin w ramach dziedzin innych niż odpowiednio nauki humanistyczne lub nauki społeczne.	--
Łączna liczba punktów ECTS przyporządkowana przedmiotom do wyboru.	0 ECTS
Liczba godzin zajęć z wychowania fizycznego.	--

### Metody weryfikacji efektów uczenia się

Szczegółowe zasady oraz metody weryfikacji i oceny efektów uczenia się pozwalające na sprawdzenie i ocenę wszystkich efektów uczenia się są opisane w kartach zajęć. W ramach programu weryfikacja osiągniętych efektów uczenia się jest realizowana w szczególności przy pomocy następujących metod: egzamin cz. pisemna, egzamin cz. praktyczna, egzamin cz. ustna, zaliczenie cz. pisemna, zaliczenie cz. praktyczna, zaliczenie cz. ustna, esej, kolokwium, sprawdzian pisemny, obserwacja wykonawstwa, prezentacja dokonań (portfolio), prezentacja projektu, raport pisemny, referat pisemny, referat ustny, sprawozdanie z projektu, test pisemny. Szczegółowe informacje na temat weryfikacji osiągniętych przez studentów efektów uczenia się znajdują się w kartach zajęć opublikowanych na stronie internetowej wydziału. Parametry wybranych metod weryfikacji efektów uczenia się znajdują się w tabeli poniżej.

Liczba zajęć, w których wymagany jest egzamin	4
Liczba zajęć, w których wymagany jest egzamin w formie pisemnej	4
Liczba zajęć, w których wymagany jest egzamin w formie ustnej	1
Liczba godzin przeznaczona na egzamin w formie pisemnej	7
Liczba godzin przeznaczona na egzamin w formie ustnej	1
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do egzaminów i zaliczeń	65
Liczba zajęć, które kończą się zaliczeniem bez egzaminu	6
Liczba godzin przeznaczona na zaliczenie w formie pisemnej	6
Liczba godzin przeznaczona na zaliczenie w formie ustnej	0
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do zaliczeń w trakcie semestrów na zajęciach ćwiczeniowych (bez zaliczeń końcowych)	5
Liczba zajęć, w których weryfikacja osiągniętych efektów uczenia się realizowana jest na podstawie obserwacji wykonawstwa (laboratoria)	5
Liczba laboratoriów, w których osiągnięte efekty uczenia się sprawdzane są na podstawie sprawdzianów w trakcie semestru	3
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do sprawdzianów realizowanych na zajęciach laboratoryjnych	15
Liczba zajęć projektowych, w których osiągnięte efekty uczenia się sprawdzane są na podstawie prezentacji projektu, raportu pisemnego, referatu pisemnego, referatu ustnego lub sprawozdania z projektu	0
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na wykonanie projektu/dokumentacji/raportu oraz przygotowanie do prezentacji	0
Liczba zajęć wykładowych, które wymagają odrębnego zaliczenia w formie pisemnej lub ustnej niezależnie od wymagań innych form zajęć tego modułu	6
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do sprawdzianów realizowanych na zajęciach wykładowych	23

### 7.3 Treści programowe

Badania eksperymentalne lotniczych silników turbinowych	K_W03, K_K01, K_K02
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pojęcia podstawowe; istota i filozofia metrologii, sygnały pomiarowe klasyfikacja i ich właściwości, tory pomiarowe i ich właściwości, niepewności pomiarowe. Klasyfikacja badań. Naukowe badania stosowane. Badania doświadczalne. Badania zakładowe.</li> <li>• Przetworniki wielkości fizycznych, klasyfikacja. Przetworniki parametryczne, rezystancyjne, pojemnościowe, termometryczne. Przetworniki indukcyjne, optoelektroniczne, mikromechaniczne, piezoelektryczne, piezorezystywne, termoanemometryczne, ultradźwiękowe, wirowe.</li> <li>• Podstawowe układy pomiarowe, układy wzmacniania i formowania</li> </ul>	

sygnałów pomiarowych. Wybrane zagadnienia komputerowych systemów pomiarowych. Programowanie w środowisku DasyLab • Zaliczenie pisemne • Badanie pola prędkości w dyfuzorze metodą ciśnieniową . • Pomiar sił metodami tensometrycznymi, badanie charakterystyk profilowych w tunelu aerodynamicznym metodą wagową • Pomiar turbulencji w kanale.	
Badania nieniszczące	K_W03, K_K01, K_K02
• Badania wizualne. Badania penetracyjne. • Badania magnetyczno-proszkowe. Badania siły termoelektrycznej. • Metoda prądów wirowych. Badania powłok i udziału ferrytu. • Badania ultradźwiękowe. Badania radiograficzne. • Ocena jakości złączy spawanych na podstawie badań nieniszczących według norm europejskich. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących. • Badania wizualne i penetracyjne. • Badania magnetyczno-proszkowe. • Badania prądami wirowymi. Badania powłok i udziału ferrytu. • Badania radiograficzne. • Badania ultradźwiękowe.	
Konstrukcja silników lotniczych	K_W02, K_U01, K_U02, K_K01, K_K02
• Przegląd silników turbinowych • Przepisy budowy silników turbinowych - CSE • Systemowe podejście w konstrukcji i projektowaniu silników turbinowych • Źródła obciążeń turbinowego silnika lotniczego • Ustroje nośne wirników i korpusów silników turbinowych • Łożyskowanie silników turbinowych • Podpory silników turbinowych • Wloty silników turbinowych • Sprężarki silników turbinowych • Komory spalania silników turbinowych • Turbiny osiowe • Układy wyprowadzania spalin z silnika • Funkcjonowanie systemów i instalacji osprzętu silnikowego • Charakterystyczne usterki silników turbinowych i ich symptomy • Wybrane zagadnienia z zakresu konstrukcji silników turbinowych • Egzamin końcowy • Topologia silników turbinowych - identyfikacja komponentów i ich zapis graficzny • Praktyczna identyfikacja komponentów zespołu wirnikowego • Identyfikacja warunków pracy silnika turbinowego • Uproszczony projekt modułu sprężarki promieniowej • Uproszczony projekt modułu turbiny osiowej	
Mechanika płynów	K_W01, K_K01, K_K02
• Pojęcia podstawowe Mechaniki płynów: linia prądu i tor elementu płynu, powierzchnia prądu, rurka prądu. Lepkość i ściślność ośrodka płynnego. Zasada zachowania masy: równanie ciągłości, wydatek masowy i objętościowy płynu. Zasada zachowania energii: Równanie Bernoulliego dla przepływu cieczy i gazu. Zastosowania równania ciągłości do wyznaczania prędkości i wydatku płynu. Prędkość dźwięku w gazach, liczba Macha i Lavalala. • 1. Podstawowe właściwości płynów 2. Hydrostatyka 3. Równanie Bernoulliego dla przepływów płynu idealnego 4. Równanie Bernoulliego dla przepływów płynów rzeczywistych	
Oprzęt i sterowanie lotniczych silników turbinowych	K_W02, K_K01, K_K02
• Przegląd metod sterowania i projektowania układów sterowania. Śmigło lotnicze jako obiekt sterowania. Silnik odrzutowy jako obiekt sterowania: charakterystyka procesu roboczego silnika, równania dynamiki silnika odrzutowego. Układ regulacji prędkości obrotowej, regulatory temperatury i mocy. Sterowanie silników dwuwirnikowych. Sterowanie turbinowych silników śmigłowych. Równania dynamiki turbinowych silników śmigłowych. Prawa sterowania na podstawowych zakresach pracy. Regulatory prędkości obrotowej turbinowych silników śmigłowych. Regulatory temperatury spalin. Korektory i ograniczniki. Sterowanie wirników nośnych śmigłowców i śmigieł. Ograniczenia w sterowaniu śmigłowców. Sterowanie turbinowych silników dwuprzepływowych. Specyfika sterowania i automatycznej regulacji silników dwuprzepływowych. Dwuprzepływowy silnik odrzutowy jako obiekt regulacji. Układy sterowania i automatycznej regulacji silników dwuprzepływowych. Zasady projektowania układów sterowania lotniczych zespołów napędowych. Tendencje i perspektywy rozwoju układów sterowania lotniczych zespołów napędowych.	
Teoria maszyn przepływowych 1	K_W01, K_K01, K_K02
• Maszyny wirnikowe - podział, działanie, definicje. Równania analizy termoaerodynamicznej. Parametry strumienia jako funkcje gazodynamiczne. Sprężarki typu osiowego i promieniowego - cechy konstrukcyjne, zasady działania i zastosowanie. Charakterystyczne prace i sprawności, spręż statyczny i spiętrzenia sprężarki. Schemat, działanie i podstawowe parametry stopnia promieniowego. Kanały wlotowe sprężarki. Analiza pracy wirnika i dyfuzorów sprężarki odśrodkowej. Rotalpia, parametry stanu w przepływie względnym i reakcyjność stopnia. Płaska palisada profili i trójkąty prędkości strumienia w stopniu osiowym. Podstawowe zależności aerodynamiczne dla palisady. Analiza strat w osiowym stopniu sprężającym. Charakterystyki sprężarek. Przyczyny i skutki zjawiska oderwania wirującego i pompażu. • Siły oddziaływania ścianek dyfuzora na strumień. Wyznaczenie parametrów na wejściu na wejściu sprężarki i wyjściu za pomocą funkcji gazodynamicznych. Parametry strumienia na wylocie wirnika, dyfuzora bezłopatkowego, łopatkowego i kolektora sprężarki promieniowej.	
Teoria maszyn przepływowych 2	K_W01, K_K01, K_K02
• Turbiny typu osiowego i promieniowego - cechy konstrukcyjne, zasady działania i zastosowanie. Praca, sprawności i moc turbiny Schemat, działanie i podstawowe parametry stopnia osiowego turbiny. Charakterystyki turbin. • Funkcje gazodynamiczne, obliczenia przepływu w turbinie osiowej	
Teoria silników lotniczych	K_W01, K_K01, K_K02
• Wprowadzenie do przedmiotu, przegląd rozwiązań silników lotniczych • Obieg Braytona, analiza silnika idealnego • Analiza procesów termogazodynamicznych w zespołach silnika turbinowego • Analiza silnika jednoprzepływowego • Analiza silnika z dopalaczem oraz konstrukcji dwuwirnikowej • Analiza silnika dwuprzepływowego • Turbinowy silnik śmigłowy i śmigłowcowy • Wstęp do badań silników i analiza charakterystyk różnych typów silników • Obliczenia termogazodynamiczne procesów w silniku idealnym • Obliczenia procesów termodynamiczno-przepływowych w zespołach silników lotniczych (wlot, sprężarka, wentylator, komora spalania, turbina, dysza wylotowa • Opis i obliczenia przebiegu procesów w różnych typach silników z uwzględnieniem strat oraz wyznaczanie ich osiągnięć	
Termodynamika	K_W01, K_K01, K_K02
• 1. Podstawy termodynamiki fenomenologicznej; pojęcia podstawowe. Zasada Stanu, równania stanu: termiczne i kaloryczne. Działania mechaniczne - praca, obieg. Działania termiczne - ciepło. Zasada Zachowania Energii, I Zasada Termodynamiki. Zerowa Zasada Termodynamiki. II Zasada Termodynamiki. 2. System substancji czystej; fazy i opis ich stanu. Gaz doskonały i rzeczywisty. Równanie stanu. Mieszanie gazów; prawo Daltona – ciśnienie cząstkowe składnika, właściwości mieszaniny, tworzenie mieszanin. 3. Odwracalny obieg Carnota; całka Clausiusa, entropia. Tożsamość termodynamiczna. Zachowanie się entropii systemów odbywających zjawiska rzeczywiste. Prawo wzrostu entropii. 4. Gaz doskonały. Najprostsze przemiany gazowe i ich równania w układzie p-v oraz T-s. Obliczanie ciepła i pracy dla poszczególnych przemian i obiegów. Niektóre prawobieżne obiegi gazowe. • 1. Właściwości substancji i ich mieszanin. 2. Bilans energii, termiczne i kaloryczne równanie stanu 2. Przemiany gazów doskonałych i ich mieszanin. 3. Gazowe obiegi termodynamiczne.	
Wytrzymałość maszyn wirnikowych	K_U01, K_U02, K_K01, K_K02
• Zapoznanie z kartą przedmiotu. Wiadomości wstępne: Rodzaje maszyn wirnikowych. Siła odśrodkowa w maszynach wirnikowych, siła odśrodkowa przypadająca na jednostkę objętości. Rodzaje obliczeń wytrzymałościowych stosowanych w analizie maszyn wirnikowych. Analiza obciążeń działających na maszynę wirnikową. Obciążenia masowe. Obciążenia termiczne. Obciążenia od naporu napływającego czynnika. Obciążenia działające na tarczę turbiny silnika. • Wirujący krążek jako najprostsz model tarczy turbiny. Równanie różniczkowe równowagi dla wirującej tarczy nienagrzonej o zmiennej grubości wzdłuż promienia. Równania opisujące rozkład naprężeń i odkształceń w wirującej tarczy. Rozkłady naprężeń w wirującej tarczy. • Przypadki szczególne wirujących tarcz- tarcza o stałej grubości, tarcza z otworem. Tarcza nagrzana niejednorodnym polem temperatur. Analiza naprężeń i odkształceń. Wirująca tarcza o stałej wytrzymałości • Łopatki turbin silników lotniczych – rodzaje. Obciążenia działające na łopatkę. Rozkład temperatury na powierzchni łopatki. Równania opisujące rozkład naprężeń i odkształceń w wirującej łopatkę. Deformacja promieniowa łopatki. Wymiarowanie łopatek. Wydanie danych do projektu dotyczącego analizy naprężeń i odkształceń łopatki turbiny. Opis	

metodyki obliczeniowej. • Analiza modalna oraz badania zmęczeniowe łopatek sprężarki pracującej w warunkach drgań rezonansowych. Przyczyny uszkodzeń eksploatacyjnych podzespołów silników lotniczych.- studium przypadków. • Wybrane zagadnienia z zakresu mechaniki pękania