**Nazwa przedmiotu:**

Wytrzymałość silników lotniczych

**Koordynator przedmiotu:**

prof. dr hab. inż. Marek Żochowski

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Lotnictwo i Kosmonautyka

**Grupa przedmiotów:**

Specjalnościowe

**Kod przedmiotu:**

ML.NS650

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2017/2018

**Liczba punktów ECTS:**

4

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

1. Liczba godzin kontaktowych - 35, w tym:
a) wykład - 30 godz.,
b) konsultacje - 5 godz.,
2. Praca własna studenta - 65 godz., w tym:
a) prace domowe - 20 godz.,
b) studiowanie literatury - 25 godz.,
c) przygotowanie się do kolokwium zaliczeniowego - 20 godz.
Łącznie -. 100 godzin.

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

1,5 punktu ECTS - liczba godzin kontaktowych - 35, w tym:
a) wykład - 30 godz.,
b) konsultacje - 5 godz.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

**Limit liczby studentów:**

min. 15 studentów

**Cel przedmiotu:**

Student powinien potrafić przeprowadzić podstawowe analizy wytrzymałościowe głównych elementów silników turbinowych.

**Treści kształcenia:**

Silniki turbinowe i tłokowe. Podstawowe elementy silników turbinowych: łopatki, tarcze wirujące, płyty kołowe, powłoki walcowe, kuliste, stożkowe.
Podstawowe obciążenia: siły masowe od wirowania, ciśnienie czynnika gazowego, zmiany temperatury.
Klasyfikacja: tarcze o stałej skokowo zmiennej, zmiennej w sposób ciągły grubości, nieogrzane, słabo ogrzane, silnie ogrzane. Przemieszczenia, odkształcenia, naprężenia w tarczach (płaskie zadanie Wytrzymałości Konstrukcji) wyznaczane metodami analitycznymi. Dla tarcz o zmiennej w sposób ciągły grubości, silnie ogrzanych (zmiana stałych sprężystych materiału) tarcz sprężarek odśrodkowych: tarcz pracujących powyżej granicy plastyczności materiału, zastosowanie metody elementów skończonych (system Ansys) do analizy.
Płyty kołowe osiowo-symetrycznie obciążone – rozwiązanie analityczne.
Powłoki walcowe, kuliste: określenie sił wewnętrznych, odkształceń i przemieszczeń metodami analitycznymi. Analiza konstrukcji złożonych z tarcz, płyt i powłok obciążonych siłami zewnętrznymi i termicznie.

**Metody oceny:**

Ocena zadań domowych, kolokwium zaliczeniowe.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

1. Bijak-Żochowski M., Jaworski A., Krzesiński G., Zagrajek T.: Mechanika Materiałów i Konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
2. Lipka J.: Wytrzymałość Maszyn Wirnikowych, Wyd. Naukowo- Techniczne 1967.
Dodatkowe literatura:
1. Brzoska Z.: Wytrzymałość Materiałów, PWN, Warszawa, 1979.

**Witryna www przedmiotu:**

-

**Uwagi:**

-

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka ML.NS650\_W1:**

 Zna budowę i sposób modelowania podstawowych elementów konstrukcyjnych lotniczego silnika turbinowego.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W1:**

 Zna budowę i sposób modelowania podstawowych elementów konstrukcyjnych lotniczego silnika turbinowego.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W2:**

 Zna podstawowe obciążenie elementów silnika (siły masowe, obciążenia ciśnieniem, obciążenia termiczne).

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W2:**

 Zna podstawowe obciążenie elementów silnika (siły masowe, obciążenia ciśnieniem, obciążenia termiczne).

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W3:**

 Zna metody analityczne i metody przybliżone (MES) do obliczenia naprężeń, przemieszczeń i odkształceń w tarczach wirujących.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W3:**

 Zna metody analityczne i metody przybliżone (MES) do obliczenia naprężeń, przemieszczeń i odkształceń w tarczach wirujących.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W4:**

 Zna analityczne metody określania sił wewnętrznych odkształceń i przemieszczeń w płytach kołowych, powłokach walcowych i kulistych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W4:**

 Zna analityczne metody określania sił wewnętrznych odkształceń i przemieszczeń w płytach kołowych, powłokach walcowych i kulistych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W5:**

 Zna sposoby modelowania i wytrzymałościowej analizy złożonych ustrojów osiowo-symetrycznych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_W5:**

 Zna sposoby modelowania i wytrzymałościowej analizy złożonych ustrojów osiowo-symetrycznych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U1:**

 Potrafi zastosować proste modele matematyczne do analizy elementów silników turbinowych.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U2:**

 Umie wyznaczyć metodami analitycznymi przemieszczenia, naprężenia, odkształcenia w tarczach poddanych różnego typu obciążeniom.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U3:**

 Umie analizować pracę wytrzymałościową płyt kołowych i powłok cylindrycznych i kulistych metodami analitycznymi.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U4 :**

 Potrafi modelować i obliczać złożone konstrukcje, gdzie współpracują ze sobą tarcze, płyty i powłoki.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS650\_U5:**

 Potrafi stosować przybliżone metody numeryczne (MES) do obliczania np. tarcz o zmiennej grubości, silnie nagrzanych, pracujących poza granicami plastyczności pól.

Weryfikacja:

Weryfikacja na podstawie zadań domowych i kolokwium zaliczeniowego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**