**Nazwa przedmiotu:**

Numeryczne modelowanie przepływów w silnikach turbinowych i rakietowych

**Koordynator przedmiotu:**

dr hab. inż. Janusz Piechna, prof. PW

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Lotnictwo i Kosmonautyka

**Grupa przedmiotów:**

Specjalnościowe

**Kod przedmiotu:**

ML.NS639

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2017/2018

**Liczba punktów ECTS:**

2

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

Liczba godzin kontaktowych: 35, w tym:
 a) wykład – 15 godz.,
 b) laboratorium – 15 godz.,
 c) konsultacje – 5 godz.
Praca własna studenta – 18 godzin, w tym:
a) 8 godz. – przygotowywanie się do laboratoriów i wykładów,
b) 10 godz. – opracowanie sprawozdania z laboratorium.

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

1,4 punktu ECTS - liczba godzin kontaktowych: 35, w tym:
a) wykład – 15 godz.;
b) laboratorium – 15 godz;
c) konsultacje – 5 godz.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

1,2 punktu ECTS - 30 godzin pracy studenta, w tym:
a) udział w ćwiczeniach laboratoryjnych - 15 godzin;
b) przygotowywanie się do laboratorium i wykonanie sprawozdania - 15 godzin.

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

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 15h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 15h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Wiedza i umiejętności z zakresu mechaniki płynów i metod numerycznych.

**Limit liczby studentów:**

Grupy laboratoryjne max 12 osób, ogółem max 48 osób.

**Cel przedmiotu:**

Po zaliczeniu przedmiotu studenci posiadają praktyczną umiejętność wykorzystywania programów CFD do analizy przepływów w silnikach turbinowych i rakietowych..

**Treści kształcenia:**

1. Modele przepływów stacjonarnych i przepływów nieustalonych płynu ściśliwego.
2. Dyskretyzacja obszaru obliczeniowego: siatki stałe, ruchome siatki i siatki deformowalne.
3. Warunki brzegowe: stałe, ruchome i periodyczne.
4. Podstawowe metody numerycznego rozwiązywania zdyskretyzowanych równań Eulera i Naviera-Stokesa.
5. Modelowanie turbulencji: modele RANS jedno i dwu - równaniowe.
6. Przepływy ze źródłami ciepła- przepływy przez komory spalania.
7. Przepływ z wymianę ciepła przez ścianki – chłodzenie łopatek turbin.
8. Przepływy przez materiały porowate – chłodzenie łopatek turbin.
9. Zasady tworzenia procedur definiowanych przez użytkownika.
10. Współoddziaływanie przepływu z obiektami ruchomymi- sterowanie wektorem ciągu.
11. Modelowanie hałasu przepływowego.

**Metody oceny:**

2 sprawdziany z teorii, punktowy system oceny pracy i postępów studenta na zajęciach laboratoryjnych, podczas których studenci powinni zaprojektować model fizyczny analizowanego zjawiska, zbudować jego model numeryczny, wykonać obliczenia w programie CFD oraz przedstawić wyniki w postaci graficznej.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

1. Ferziger, Perić, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer.
2. Versteeg, Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics, Pearson, Prentice Hall,
3. Fluent 6.3 Help.
Dodatkowa literatura:
- materiały na stronie http://www.desktopaero.com/appliedaero/preface/welcome.html, http://www.cfd-online.com/Links/onlinedocs.html;
- Tu J., Yeoh G.H., Liu C., Computational Fluid Dynamics- A Practical Approach, BH;
- materiały dostarczone przez wykładowcę.

**Witryna www przedmiotu:**

**Uwagi:**

-

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka ML.NS639\_W1:**

 Zna podstawowe modele płynu i typy przepływu.

Weryfikacja:

 Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W2:**

 Zna podstawowe metody rozwiązywania zdyskretyzowanych równań Eulera i Naviera-Stokesa.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W3:**

 Zna podstawowe warunki brzegowe i zasady ich stosowania.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W3:**

 Zna podstawowe warunki brzegowe i zasady ich stosowania.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W4:**

 Zna podstawowe modele turbulencji.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W4:**

 Zna podstawowe modele turbulencji.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W5:**

 Zna techniki stosowane w modelowaniu ruchomych elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W5:**

 Zna techniki stosowane w modelowaniu ruchomych elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W5:**

 Zna techniki stosowane w modelowaniu ruchomych elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W6:**

 Zna modele przejmowania ciepła i podstawowe modele spalania.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W6:**

 Zna modele przejmowania ciepła i podstawowe modele spalania.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W16

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W6:**

 Zna modele przejmowania ciepła i podstawowe modele spalania.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W6:**

 Zna modele przejmowania ciepła i podstawowe modele spalania.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W7:**

 Zna podstawowe zasady tworzenia kształtu dyszy zbieżno-rozbieżnej i jej własności przy zmiennym ciśnieniu otoczenia.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W7:**

 Zna podstawowe zasady tworzenia kształtu dyszy zbieżno-rozbieżnej i jej własności przy zmiennym ciśnieniu otoczenia.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_W7:**

 Zna podstawowe zasady tworzenia kształtu dyszy zbieżno-rozbieżnej i jej własności przy zmiennym ciśnieniu otoczenia.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_W16

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka ML.NS639\_U1:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model płynu i przepływu w typowych modelach elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U1:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model płynu i przepływu w typowych modelach elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U1:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model płynu i przepływu w typowych modelach elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U1:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model płynu i przepływu w typowych modelach elementów maszyn przepływowych.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U2:**

 Potrafi zastosować właściwą metodę rozwiązywania równań dostosowaną do modelu płynu wykorzystanego w rozwiązaniu zadania technicznego.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U2:**

 Potrafi zastosować właściwą metodę rozwiązywania równań dostosowaną do modelu płynu wykorzystanego w rozwiązaniu zadania technicznego.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U11

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U3:**

 Umie zastosować odpowiednie do zadania warunki brzegowe i odpowiedni model turbulencji.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U3:**

 Umie zastosować odpowiednie do zadania warunki brzegowe i odpowiedni model turbulencji.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U3:**

 Umie zastosować odpowiednie do zadania warunki brzegowe i odpowiedni model turbulencji.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U4:**

 Potrafi zastosować techniki modelowania ruchomych elementów w budowie modelu maszyny przepływowej.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U4:**

 Potrafi zastosować techniki modelowania ruchomych elementów w budowie modelu maszyny przepływowej.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U09

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U5:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model przejmowania ciepła i odpowiedni model spalania dopasowany do problemu technicznego.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U5:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model przejmowania ciepła i odpowiedni model spalania dopasowany do problemu technicznego.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U16

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U5:**

 Potrafi zastosować odpowiedni model przejmowania ciepła i odpowiedni model spalania dopasowany do problemu technicznego.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U17

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U6:**

 Potrafi dopasować kształt dyszy do pracy przy zmiennym ciśnieniu otoczenia.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS639\_U6:**

 Potrafi dopasować kształt dyszy do pracy przy zmiennym ciśnieniu otoczenia.

Weryfikacja:

Testy na zajęciach, sprawozdania z laboratorium, testy podczas laboratorium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** LiK2\_U16

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**