**Nazwa przedmiotu:**

Modelowanie komputerowe przepływów turbulentnych

**Koordynator przedmiotu:**

dr inż. Sławomir Kubacki

**Status przedmiotu:**

Fakultatywny ograniczonego wyboru

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Mechanika i Projektowanie Maszyn

**Grupa przedmiotów:**

Obieralne

**Kod przedmiotu:**

ML.NS747

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2023/2024

**Liczba punktów ECTS:**

3

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

1. Liczba godzin kontaktowych: 50, w tym:
a) wykład – 30 godz.
b) ćwiczenia laboratoryjne – 15 godz.
c) konsultacje – 5 godz.

2. Praca własna studenta: 25 godziny, w tym
a) 2 godz. – przygotowanie sprawozdań z wybranych zajęć laboratoryjnych,
b) 15 godz. – realizacja indywidualnego zadania badawczego dotyczącego modelowania przepływów turbulentnych i przygotowanie raportu,
c) 8 godz. – przygotowanie się studenta do kolokwium z wykładu.

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

1,5 punktów ECTS – 35 godz., w tym
a) uczestnictwo w wykładach – 30 godz.,
b) konsultacje – 5 godz.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

1.5 punktów ECTS – 40 godz., w tym
a) udział w ćwiczeniach laboratoryjnych – 15 godz.,
b) przygotowanie sprawozdań z wybranych zajęć laboratoryjnych – 2 godz.,
c) realizacja indywidualnego zadania badawczego i przygotowanie raportu - 15 godz.,
d) przygotowanie się do kolokwium z wykładu – 8 godz.

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

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 15h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Dobra znajomość równań opisujących ruch ośrodka ciągłego oraz równań opisujących proces wymiany ciepła, znajomość podstawowych schematów dyskretyzacji równań, podstaw algebry liniowej oraz znajomość zasad programowania w języku C w zakresie kursów prowadzonych na studiach pierwszego stopnia uczelni technicznych.

**Limit liczby studentów:**

150

**Cel przedmiotu:**

Nauczenie podstawowych technik uśredniania równań zachowania masy i pędu (uśrednianie w przestrzeni i uśrednianie Reynoldsa); nauczenie podstawowych technik modelowania zjawisk podsiatkowych w symulacjach przepływów turbulentnych; przekazanie wiedzy w zakresie modelowania zjawisk turbulentnych i modelowania procesu wymiany ciepła oraz domknięcia nieznanych składników równań dla metod opartych na uśrednianiu w czasie; nauczenie poprawnej interpretacji i analizy wyników symulacji numerycznych oraz poprawnego sporządzania raportów z wykonanych zadań.

**Treści kształcenia:**

1. Podstawowe techniki modelowania przepływów turbulentnych.
2. Uśrednianie równań zachowania masy i pędu w przestrzeni.
3. Widmowa gęstość energii, kaskadowy proces transportu energii (koncepcja Richardsona), skale dyssypatywne Kołmogorowa i całkowa skala długości turbulentnej.
4. Podstawowe modele podsiatkowe stosowane w symulacji przepływów turbulentnych (metoda Symulacji Wielkich Wirów).
5. Wymagania dotyczące rozdzielczości siatki obliczeniowej w symulacjach przepływów turbulentnych.
6. Uśrednienie równań zachowania masy pędu i energii w czasie dla płynów nieściśliwych i uśrednianie Favre dla płynów ściśliwych.
7. Równania transportu składowych tensora naprężeń turbulentnych, równanie transportu energii kinetycznej turbulencji i prędkości dyssypacji i sposoby domknięcia nieznanych składników tych równań.
8. Hipoteza Boussinesq, definicja lepkości wirowej, podstawowe modele turbulencji i zakres stosowalności tych modeli.
9. Modelowanie procesu turbulentnej wymiany pędu w pobliżu ściany.
10. Uogólnione momenty centralne i równanie transportu uogólnionych momentów centralnych.
11. Podstawowe techniki hybrydyzacji metody Symulacji Wielkich Wirów i metod opartych na uśrednianiu w czasie oraz koszt symulacji przepływów turbulentnych z wykorzystaniem metod hybrydowych.
12. Metody dyskretyzacji członów konwekcyjnych w równaniach pędu.
13. Sposoby generacji syntetycznej turbulencji na wlotach do obszarów obliczeniowych dla metody symulacji wielkich wirów.
14. Nadprodukcja naprężeń turbulentnych w punktach stagnacji i sposoby jej ograniczenia.

**Metody oceny:**

1) Raporty z wybranych ćwiczeń laboratoryjnych sprawdzające poprawność interpretacji uzyskanych wyników symulacji numerycznych oraz poprawność formułowania wniosków.
2) Raport z zadania badawczego (projekt) dotyczącego modelowania wybranego typu przepływu turbulentnego.
3) Kolokwium z wykładu obejmujące całość wyłożonego materiału dotyczącego modelowania przepływów turbulentnych.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

Zalecana literatura:

1. Materiały dostarczone przez wykładowcę (slajdy opracowane w programie Power Point) i instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych.
2. D.C. Wilcox, Turbulence Modelling for CFD. DCW Industries, Inc. 2006.
3. S.B. Pope, Turbulent Flows, Cambridge University Press, 2000.
4. P.A. Durbin I B.A. Pettersson Reif, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England,2003.
5. L. Davidson, Using isotropic synthetic fluctuations as inlet boundary conditions for unsteady simulations. Advances and Applications in Fluid Mechanics, 1(1):1–35, 2007.
6. S.S. Girimaji, Partially-Averaged Navier-Stokes model for turbulence: a Reynolds-Averaged Navier-Stokes to Direct Numerical Simulation bridging method, Journal of Applied Mechanics, Vol. 73, pp. 413-421, 2006.
7. F.R. Menter, Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA J., 32(8):1598-1605, 1994.

**Witryna www przedmiotu:**

strona internetowa Zakładu Aerodynamiki, Wydziału MEiL, Politechniki Warszawskiej.

**Uwagi:**

-

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka ML.NS747\_W1:**

 Zna techniki uśredniania równań zachowania masy i pędu.

Weryfikacja:

Kolokwium z wykładu.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_W03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS747\_W2:**

 Ma podstawową wiedzę w zakresie modelowania turbulentnej wymiany pędu i procesu wymiany ciepła stosując klasyczne modele turbulencji.

Weryfikacja:

Kolokwium z wykładu.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS747\_W3:**

 Ma podstawą wiedzę w zakresie modelowania zjawisk podsiatkowych w obliczeniach przepływów turbulentnych stosując metodę symulacji wielkich wirów.

Weryfikacja:

Kolokwium z wykładu.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_W01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka ML.NS747\_U1:**

 Potrafi zastosować odpowiedni sposób domknięcia uśrednionych równań zachowania pędu i równań transportu wybranych wielkości turbulentnych stosując klasyczne techniki modelowania turbulencji.

Weryfikacja:

Kolokwium z wykładu.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_U10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS747\_U2:**

 Potrafi interpretować i analizować uzyskane wyniki symulacji numerycznej przepływu turbulentnego, poprzez ich porównanie z wynikami publikowanymi w czasopismach naukowych lub w bazach danych.

Weryfikacja:

Raport z zadania badawczego.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_U01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS747\_U3:**

 Potrafi sporządzić dobrze udokumentowany raport z wykonanych zadań badawczych dotyczących modelowania przepływu turbulentnego.

Weryfikacja:

Raport z zadania badawczego, raporty z ćwiczeń laboratoryjnych.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_U03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS747\_U4:**

 Potrafi ocenić jakość wykorzystywanych metod modelowania zjawisk turbulentnych i jakość zastosowanych procedur domknięcia wybranych składników równań różniczkowych poprzez porównanie uzyskanych wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi.

Weryfikacja:

Raport z zadania badawczego, raporty z ćwiczeń laboratoryjnych.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_U22

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ML.NS747\_U5:**

 Potrafi na podstawie przedłożonych wytycznych w sposób poprawny zrealizować symulacje numeryczne przepływu turbulentnego stosując klasyczne techniki modelowania zjawiska turbulencji.

Weryfikacja:

Raporty z zajęć laboratoryjnych.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** MiBM2\_U13

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**