

# POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

## KARTA PRZEDMIOTU

obowiązuje studentów rozpoczynających studia w roku akademickim 2024/2025

Wydział Mechaniczny

Kierunek studiów: Środki Transportu i Logistyka

Profil: Ogólnoakademicki

Forma studiów: stacjonarne

Kod kierunku: T

Stopień studiów: II

Specjalności: Automatyzacja logistycznych systemów transportowych

### 1 INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

|                                         |                                                  |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| NAZWA PRZEDMIOTU                        | Modelowanie CFD współczesnych środków transportu |
| NAZWA PRZEDMIOTU<br>W JĘZYKU ANGIELSKIM |                                                  |
| KOD PRZEDMIOTU                          | WM ŚTIL oIIS B11 24/25                           |
| KATEGORIA PRZEDMIOTU                    | Przedmioty kierunkowe                            |
| LICZBA PUNKTÓW ECTS                     | 2.00                                             |
| SEMESTRY                                | 2                                                |

### 2 RODZAJ ZAJĘĆ, LICZBA GODZIN W PLANIE STUDIÓW

| SEMESTR | WYKŁAD | ĆWICZENIA | LABORATORIUM | LABORATORIUM<br>KOMPUTERO-<br>WE | PROJEKT | SEMINARIUM |
|---------|--------|-----------|--------------|----------------------------------|---------|------------|
| 2       | 15     | 0         | 0            | 0                                | 15      | 0          |

### 3 CELE PRZEDMIOTU

**Cel 1** Zdobyć podstawowej wiedzy teoretycznej niezbędnej przy numerycznym modelowaniu przepływu płynów.

**Cel 2** Zdobyć umiejętności modelowania zjawisk przepływowych oraz przygotowania danych wejściowych do symulacji CFD współczesnych środków transportu

## 4 WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

1 Znajomość Mechaniki Płynów i Aerodynamiki Pojazdu w zakresie inżynierskich studiów pierwszego stopnia.

## 5 EFEKTY KSZTAŁCENIA

**EK1 Wiedza** Student ma uporządkowaną wiedzę z zakresu modelowania przepływu płynów, metod numerycznych stosowanych do symulacji przepływu płynu.

**EK2 Wiedza** Student ma podstawową wiedzę w zakresie adaptacji siatek do rozważanego problemu mechaniki płynów i aeromechaniki pojazdu, przygotowania siatki obliczeniowej, dyskretyzacji geometrii obszaru, dyskretyzacji równań modelu ciągłego i nałożenia na siatkę obliczeniową odpowiednich warunków brzegowych oraz warunków początkowych.

**EK3 Umiejętności** Student potrafi zamodelować przepływ płynu z wykorzystaniem komercyjnych programów komputerowych, przedstawić i przeprowadzić analizę otrzymanych wyników obliczeń

**EK4 Umiejętności** Student potrafi dokonać oceny wiarygodności wyników symulacji komputerowej oraz ich interpretacji.

**EK5 Kompetencje społeczne** Student, który zaliczył przedmiot potrafi uzyskać niezbędne dane wejściowe do prawidłowego wykonania symulacji CFD oraz uzasadnić w zespole wybór modeli obliczeniowych.

**EK6 Kompetencje społeczne** Student posiada umiejętność prezentowania wyników przeprowadzonej analizy wobec grupy oraz praca w zespole.

## 6 TREŚCI PROGRAMOWE

| WYKŁAD    |                                                                                                                                                                                                                                       |                  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| LP        | TEMATYKA ZAJĘĆ<br>OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH                                                                                                                                                                                | LICZBA<br>GODZIN |
| <b>W1</b> | Numeryczna mechanika płynów. Numeryczne modelowanie przepływu cieczy i gazów. Dyskretyzacja numeryczna zmiennych, rodzaje solverów, stabilność i zbieżność rozwiązania. Przegląd oprogramowania do komputerowej symulacji przepływów. | 9                |
| <b>W2</b> | Przepływy turbulentne. Modele turbulencji.                                                                                                                                                                                            | 6                |

| PROJEKT   |                                                                                                                                                         |                  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| LP        | TEMATYKA ZAJĘĆ<br>OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH                                                                                                  | LICZBA<br>GODZIN |
| <b>P1</b> | Rozwiązania analityczne i analiza eksperymentalne problemu spadków ciśnienia przy przepływie cieczy przez zawór kulowy.                                 | 1                |
| <b>P2</b> | Symulacje CFD przepływu wewnętrznego przez zawór. Porównanie wartości spadku ciśnienia na instalacji dla różnych parametrów płynu i modeli turbulencji. | 4                |
| <b>P3</b> | Rozwiązania analityczne i eksperymentalne opływu ciała stałego płynem rzeczywistym. Opływ cylindra przez powietrze.                                     | 1                |

| PROJEKT   |                                                                                                                                                                            |                  |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| LP        | TEMATYKA ZAJĘĆ<br>OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH                                                                                                                     | LICZBA<br>GODZIN |
| <b>P4</b> | Symulacje CDF stacjonarne opływów ciała stałego przez powietrze. Ocena wpływu siatki, modeli turbulencji oraz dyskretyzacji numerycznej zmiennych na osiągnięte rezultaty. | 4                |
| <b>P5</b> | Modelowanie numeryczne CFD opływu samochodu osobowego w 3D.                                                                                                                | 5                |

## 7 NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

**N1** Wykłady

**N2** Prezentacje multimedialne

**N3** Ćwiczenia projektowe

**N4** Ćwiczenia laboratoryjne

**N5** Konsultacje

## 8 OBCIĄŻENIE PRACĄ STUDENTA

| FORMA AKTYWNOŚCI                                                                                 | ŚREDNIA LICZBA GODZIN<br>NA ZREALIZOWANIE<br>AKTYWNOŚCI |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim, w tym:</b>                                     |                                                         |
| Godziny wynikające z planu studiów                                                               | 30                                                      |
| Konsultacje przedmiotowe                                                                         | 2                                                       |
| Egzaminy i zaliczenia w sesji                                                                    | 0                                                       |
| <b>Godziny bez udziału nauczyciela akademickiego wynikające z nakładu pracy studenta, w tym:</b> |                                                         |
| Przygotowanie się do zajęć, w tym studiowanie zalecanej literatury                               | 28                                                      |
| Opracowanie wyników                                                                              | 0                                                       |
| Przygotowanie raportu, projektu, prezentacji, dyskusji                                           | 0                                                       |
| <b>SUMARYCZNA LICZBA GODZIN DLA PRZEDMIOTU WYNIKAJĄCA Z<br/>CAŁEGO NAKŁADU PRACY STUDENTA</b>    | <b>60</b>                                               |
| SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS DLA PRZEDMIOTU                                                    | 2.00                                                    |

## 9 SPOSOBY OCENY

**OCENA FORMUJĄCA**

**F1** Projekt indywidualny

**F2** Kolokwium**OCENA PODSUMOWUJĄCA****P1** Średnia ważona ocen formujących**WARUNKI ZALICZENIA PRZEDMIOTU****W1** Obecność na ćwiczeniach projektowych**KRYTERIA OCENY**

| EFEKT KSZTAŁCENIA 1 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie spełnia wymagań na ocenę 3,0                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| NA OCENĘ 3.0        | Student uzyskał 60 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 3.5        | Student uzyskał 70 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 4.0        | Student uzyskał 80 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 4.5        | Student uzyskał 90 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 5.0        | Student ma uporządkowaną wiedzę z zakresu modelowania przepływu płynów, metod numerycznych stosowanych do symulacji przepływu płynu.                                                                                                                                                                                                 |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie spełnia wymagań na ocenę 3,0                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| NA OCENĘ 3.0        | Student uzyskał 60 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 3.5        | Student uzyskał 70 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 4.0        | Student uzyskał 80 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 4.5        | Student uzyskał 90 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 5.0        | Student ma podstawową wiedzę w zakresie adaptacji siatek do rozważanego problemu mechaniki płynów i aeromechaniki pojazdu, przygotowania siatki obliczeniowej, dyskretyzacji geometrii obszaru, dyskretyzacji równań modelu ciągłego i nałożenia na siatkę obliczeniową odpowiednich warunków brzegowych oraz warunków początkowych. |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 3 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie spełnia wymagań na ocenę 3,0                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| NA OCENĘ 3.0        | Student uzyskał 60 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 3.5        | Student uzyskał 70 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NA OCENĘ 4.0        | Student uzyskał 80 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                     |                                                                                                                                                                          |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NA OCENĘ 4.5        | Student uzyskał 90 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 5.0        | Student potrafi zamodelować przepływ płynu z wykorzystaniem komercyjnych programów komputerowych, przedstawić i przeprowadzić analizę otrzymanych wyników obliczeń       |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 4 |                                                                                                                                                                          |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie spełnia wymagań na ocenę 3,0                                                                                                                                 |
| NA OCENĘ 3.0        | Student uzyskał 60 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 3.5        | Student uzyskał 70 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.0        | Student uzyskał 80 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.5        | Student uzyskał 90 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 5.0        | Student potrafi dokonać oceny wiarygodności wyników symulacji komputerowej oraz ich interpretacji.                                                                       |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 5 |                                                                                                                                                                          |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie spełnia wymagań na ocenę 3,0                                                                                                                                 |
| NA OCENĘ 3.0        | Student uzyskał 60 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 3.5        | Student uzyskał 70 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.0        | Student uzyskał 80 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.5        | Student uzyskał 90 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 5.0        | Student, który zaliczył przedmiot potrafi uzyskać niezbędne dane wejściowe do prawidłowego wykonania symulacji CFD oraz uzasadnić w zespole wybór modeli obliczeniowych. |
| EFEKT KSZTAŁCENIA 6 |                                                                                                                                                                          |
| NA OCENĘ 2.0        | Student nie spełnia wymagań na ocenę 3,0                                                                                                                                 |
| NA OCENĘ 3.0        | Student uzyskał 60 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 3.5        | Student uzyskał 70 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.0        | Student uzyskał 80 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 4.5        | Student uzyskał 90 % punktów wymaganych na ocenę 5,0.                                                                                                                    |
| NA OCENĘ 5.0        | Student merytorycznie i profesjonalnie prezentuje wyników przeprowadzonej analizy wobec grupy oraz uczestniczy aktywnie w pracy w zespole.                               |

## 10 MACIERZ REALIZACJI PRZEDMIOTU

| EFEKT KSZTAŁCENIA | ODNIESIENIE DANEGO EFEKTU DO SZCZEGÓŁOWYCH EFEKTÓW ZDEFINIOWANYCH DLA PROGRAMU | CELE PRZEDMIOTU | TREŚCI PROGRAMOWE    | NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE | SPOSOBY OCENY |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| EK1               |                                                                                | Cel 1           | W1 W2                | N1 N2 N5              | F2            |
| EK2               |                                                                                | Cel 1 Cel 2     | W1 W2                | N1 N2 N5              | F2            |
| EK3               |                                                                                | Cel 1 Cel 2     | P1 P2 P3 P4 P5       | N3 N4 N5              | F1 F2         |
| EK4               |                                                                                | Cel 1 Cel 2     | P1 P2 P3 P4 P5       | N2 N3 N4              | F1 F2 P1      |
| EK5               |                                                                                | Cel 1 Cel 2     | P1 P2 P3 P4 P5       | N3 N4 N5              | F1            |
| EK6               |                                                                                | Cel 1 Cel 2     | W1 W2 P1 P2 P3 P4 P5 | N1 N2 N3 N4 N5        | F1 F2         |

## 11 WYKAZ LITERATURY

### LITERATURA PODSTAWOWA

- [1] | **J.H. Ferziger and M. Peric** — *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Berlin, 2002, Springer
- [2] | **Z. Jaworski** — *Numeryczna mech. płynów w inżynierii chemicznej i procesowej*, Warszawa, 2005, Exit
- [3] | **In J. Anthoine and L. Löfdal, editors** — *Road Vehicle Aerodynamics, Lecture Series 2005*, Rhode Saint Gense, 2005, von Karman Institute for Fluid Dynamics
- [3] | **J. D. Anderson** — *Fundamentals of Aerodynamics*, , 2007, Mc Graw-Hill

### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- [1] | **S. B. Pope** — *Turbulent flows*, New York, 2000, Cambridge University Press
- [2] | **ANSYS** — *ANSYS FLUENT Documentation*, , 2019, ANSYS

## 12 INFORMACJE O NAUCZYCIELACH AKADEMICKICH

### OSOBA ODPOWIEDZIALNA ZA KARTĘ

dr inż. Bartosz, Krzysztof Kopiczak (kontakt: bartosz.kopiczak@pk.edu.pl)

## 13 ZATWIERDZENIE KARTY PRZEDMIOTU DO REALIZACJI

(miejscowość, data)

(odpowiedzialny za przedmiot)

(dziekan)