

# POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

## KARTA PRZEDMIOTU

obowiązuje studentów rozpoczynających studia w roku akademickim 2019/2020

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Kierunek studiów: Energetyka

Profil: Ogólnoakademicki

Forma studiów: niestacjonarne

Kod kierunku: 11

Stopień studiów: II

Specjalności: Systemy i urządzenia energetyczne

### 1 INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

NAZWA PRZEDMIOTU	Modelowanie CFD
NAZWA PRZEDMIOTU W JĘZYKU ANGIELSKIM	Computational Fluid Dynamics
KOD PRZEDMIOTU	WIŚIE EN oIIN C6 19/20
KATEGORIA PRZEDMIOTU	Przedmioty kierunkowe
LICZBA PUNKTÓW ECTS	2.00
SEMESTRY	1

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

SEMESTR	WYKŁAD	CWICZENIA	LABORATORIA	LABORATORIA KOMPUTERO- WE	PROJEKT	SEMINARIUM
1	0	0	18	0	0	0

### 3 CELE PRZEDMIOTU

**Cel 1** Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z podstawami CFD. Studenci mają rozumieć w jaki sposób pracują programy do modelowania numerycznego przepływu. Po zakończonym kursie student ma rozumieć w jaki sposób dzieli się geometrie na objętości kontrolne, jak przeprowadza się dyskretyzację oraz umieć zinterpretować wyniki analizowanego obiektu.

**Cel 2** W stopniu podstawowym student ma opanować jeden ze współczesnych programów do obliczeń CFD

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

- 1 Wymaganie 1 Znajomość podstaw mechaniki płynów
- 2 Wymaganie 2 Znajomość podstaw termodynamiki
- 3 Wymaganie 3 Znajomość podstaw metod numerycznych

## 5 EFEKTY KSZTAŁCENIA

**EK1 Wiedza** Efekt kształcenia 1 Zapoznanie się z równaniami Naviera-Stokesa.

**EK2 Umiejętności** Efekt kształcenia 2 Umiejętność zapisywania równań różniczkowych ciągłości, przejmowania ciepła i ruchu płynu dla objętości kontrolnych.

**EK3 Umiejętności** Efekt kształcenia 3 Techniczne opanowanie programu komputerowego do obliczeń CFD w celu przygotowania geometrii obliczeniowej i nałożenia siatki obliczeniowej.

**EK4 Umiejętności** Efekt kształcenia 4 Techniczne opanowanie programu komputerowego do obliczeń CFD w celu zadawania warunków brzegowych, przeprowadzania obliczeń oraz analizy wyników.

## 6 TREŚCI PROGRAMOWE

LABORATORIA		
LP	TEMATYKA ZAJĘĆ OPIS SZCZEGÓŁOWY BLOKÓW TEMATYCZNYCH	LICZBA GODZIN
L1	Przedstawienie wstępnych powtórkowych materiałów dla studentów. Powtórka zagadnień z termodynamiki wymiany ciepła i mechaniki płynów.	2
L2	Przedstawienie zagadnień równania Naviera Stokes, podziału elementu na objętości kontrolne, dyskretyzacja, stabilność i zbieżność obliczeń.	3
L3	Projekt 1 -rozwiązywanie zagadnienia nieustalonego jedno wymiarowego. Obliczenia ręczne.	2
L4	Projekt 1 -rozwiązywanie zagadnienia nieustalonego jedno wymiarowego. Tworzenie własnego programu komputerowego do rozwiązania problemu zdefiniowanego w projekcie 1.	3
L5	Projekt 1 -rozwiązywanie zagadnienia nieustalonego jednowymiarowego. Tworzenie modelu w jednym z komercyjnych programów do obliczeń CFD	3
L6	Projekt 2- rozwiązywanie zagadnienia ustalonego trójwymiarowego. Tworzenie modelu geometrii modelu	2
L7	Projekt 2- rozwiązywanie zagadnienia ustalonego trójwymiarowego. Tworzenie modelu geometrii modelu	3

## 7 NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

N1 Ćwiczenia projektowe

N2 Konsultacje

## 8 OBCIĄŻENIE PRACĄ STUDENTA

FORMA AKTYWNOŚCI	ŚREDNIA LICZBA GODZIN NA ZREALIZOWANIE AKTYWNOŚCI
<b>Godziny kontaktowe z nauczycielem akademickim, w tym:</b>	
Godziny wynikające z planu studiów	18
Konsultacje przedmiotowe	5
Egzaminy i zaliczenia w sesji	1
<b>Godziny bez udziału nauczyciela akademickiego wynikające z nakładu pracy studenta, w tym:</b>	
Przygotowanie się do zajęć, w tym studiowanie zalecanej literatury	10
Opracowanie wyników	8
Przygotowanie raportu, projektu, prezentacji, dyskusji	8
<b>SUMARYCZNA LICZBA GODZIN DLA PRZEDMIOTU WYNIKAJĄCA Z CAŁEGO NAKŁADU PRACY STUDENTA</b>	<b>50</b>
SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS DLA PRZEDMIOTU	2.00

## 9 SPOSOBY OCENY

Projekt indywidualny

### OCENA FORMUJĄCA

F1 Projekt indywidualny

### OCENA PODSUMOWUJĄCA

P1 Projekt

### WARUNKI ZALICZENIA PRZEDMIOTU

**W1** Ocena końcowa jest średnią arytmetyczną wszystkich ocen z projektów. Aby uzyskać pozytywną ocenę z przedmiotu student musi zaliczyć na ocenę przynajmniej dostateczną wszystkie efekty kształcenia.

### KRYTERIA OCENY

EFEKT KSZTAŁCENIA 1	
NA OCENĘ 2.0	Brak znajomości równań Naviera-Stokes.

NA OCENĘ 3.0	-Poprawne zapisanie równania Naviera-Stokesa i zdefiniowanie wielkości w nim występujących
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi podać ogólną formę równań Naviera-Stokes'a dla zasady zachowania pędu. Student potrafi zapisać równania Naviera-Stokesa i zdefiniowanie wielkości w nich występujących.
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi podać ogólną formę równań Naviera-Stokes'a dla zasady zachowania pędu. Student potrafi zapisać równania Naviera-Stokesa i zdefiniowanie wielkości w nich występujących. Dla geometrii 2D potrafi zapisać odpowiednie równania dla jednej z wybranych objętości kontrolnych. Mogą występować drobne błędy w zapisie równań.
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi podać ogólną formę równań Naviera-Stokes'a dla zasady zachowania pędu. Student potrafi zapisać równania Naviera-Stokesa i zdefiniowanie wielkości w nich występujących. Dla geometrii 2D potrafi zapisać odpowiednie równania dla jednej z wybranych objętości kontrolnych.
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi podać ogólną formę równań Naviera-Stokes'a dla zasady zachowania pędu. Student potrafi zapisać równania Naviera-Stokesa i zdefiniowanie wielkości w nich występujących. Dla geometrii 2D potrafi zapisać odpowiednie równania dla jednej z objętości kontrolnej. Potrafi wymienić rozwiązania analityczne równań opisujących najczęstsze technicznie przypadki ruchu cieczy newtonowskiej.
EFEKT KSZTAŁCENIA 2	
NA OCENĘ 2.0	rak znajomości równań różniczkowych przejmowania ciepła i/ ruchu płynu
NA OCENĘ 3.0	Poprawne zapisywanie równań różniczkowych ciągłości, przejmowania ciepła i ruchu płynu dla wskazanej objętości kontrolnej
NA OCENĘ 3.5	Poprawne zapisywanie równań różniczkowych przejmowania ciepła i/ ruchu płynu dla wskazanej objętości kontrolnej. Poprawnie dzieli domenę 1D na objętości kontrolne.
NA OCENĘ 4.0	Poprawne zapisywanie równań różniczkowych ciągłości, przejmowania ciepła i/lub ruchu płynu dla wskazanej objętości kontrolnej. Potrafi podzielić domenę 1D na objętości kontrolne i zapisać równania przejmowania ciepła dla wskazanych warunków brzegowych. Mogą występować drobne błędy w zapisie równań.
NA OCENĘ 4.5	Poprawne zapisywanie równań różniczkowych ciągłości, przejmowania ciepła i/lub ruchu płynu dla wskazanej objętości kontrolnej. Potrafi podzielić domenę 1D na objętości kontrolne i zapisać równania przejmowania ciepła dla wskazanych warunków brzegowych.
NA OCENĘ 5.0	Poprawne zapisywanie równań różniczkowych ciągłości, przejmowania ciepła i/lub ruchu płynu dla wskazanej objętości kontrolnej. Potrafi podzielić domenę 1D na objętości kontrolne i zapisać równania przejmowania ciepła dla kilku warunków brzegowych. Potrafi uprościć zapis ze względu na symetrię zagadnienia.
EFEKT KSZTAŁCENIA 3	

NA OCENĘ 2.0	Model 3D niedostosowany do budowy modelu CFD. Siatka obliczeniowa niepoprawna. Obliczenia nie mogą być wykonane ze względu na błędy geometrii lub siatki lub nieprawidłowo zadanych warunków brzegowych.
NA OCENĘ 3.0	Student potrafi zbudować geometrię 3D i dostosować ją do modelu przepływowego. Poprawnie została budowana siatka obliczeniowa. Student umie zagęści siatkę w miejscach wskazanych przez prowadzącego.
NA OCENĘ 3.5	Student potrafi zbudować geometrię 3D oraz uprościć geometrię oraz umie dostosować ją do modelu przepływowego. Student poprawnie buduje siatkę obliczeniową. Siatka obliczeniowa została zagęszczona w miejscach występowania gradientów analizowanych wielkości.
NA OCENĘ 4.0	Student potrafi zbudować geometrię 3D i dostosować ją do modelu przepływowego, oraz potrafi zmodyfikować geometrię domeny obliczeniowej zmienić jej wymiary w celu otrzymania wyników porównawczych. Student poprawnie buduje siatkę obliczeniową z odpowiednim jej zagęszczeniem i zagęszcza siatkę obliczeniową w miejscach spodziewanych dużych gradientów analizowanych wielkości. Student dobrze buduje siatkę w celu odtworzenia warstwy przyściennej w odpowiednich miejscach. Rozróżnia domenę symetryczną, osiowo-symetryczną oraz periodyczną.
NA OCENĘ 4.5	Student potrafi zbudować geometrię 3D i dostosować ją do modelu przepływowego oraz potrafi zmodyfikować geometrię domeny obliczeniowej, zmienić jej wymiary w celu otrzymania wyników porównawczych. Student bardzo dobrze tworzy siatkę obliczeniową z odpowiednim jej zagęszczeniem. Zagęszczono siatkę obliczeniową w miejscach spodziewanych dużych gradientów analizowanych wielkości. Student bardzo dobrze buduje siatkę w celu odtworzenia warstwy przyściennej w odpowiednich miejscach. Student rozróżnia domenę symetryczną, osiowo-symetryczną oraz periodyczną. Potrafi dla takiej domeny zbudować odpowiednią siatkę obliczeniową.
NA OCENĘ 5.0	Student potrafi zbudować geometrię 3D i dostosować ją do modelu przepływowego oraz potrafi zmodyfikować geometrię domeny obliczeniowej, zmienić jej wymiary w celu otrzymania wyników porównawczych. Potrafi sparametryzować część geometrii domeny do obliczeń optymalizacyjnych. Student bardzo dobrze tworzy siatkę obliczeniową z odpowiednim jej zagęszczeniem. Zagęszczono siatkę obliczeniową w miejscach spodziewanych dużych gradientów analizowanych wielkości. Student bardzo dobrze buduje siatkę w celu odtworzenia warstwy przyściennej w odpowiednich miejscach. Rozróżnia domenę symetryczną, osiowo-symetryczną oraz periodyczną. Potrafi dla takiej domeny zbudować odpowiednią siatkę obliczeniową tetragonalną jak i heksagonalną.
EFEKT KSZTAŁCENIA 4	
NA OCENĘ 2.0	Brak wyników obliczeń. Błędy w warunkach brzegowych uniemożliwiający wykonanie obliczeń lub warunki brzegowe nie odpowiadają warunkom zadania.
NA OCENĘ 3.0	Student poprawnie zadaje warunki brzegowe w programie. Przeprowadzone są obliczenia tak aby spełnione zostały kryteria niskich wartości residuów. Wyniki zostały dostatecznie zinterpretowane. Wyniki przedstawione w postaci map graficznych. Student przedstawia wnioski z obliczeń zgodne z otrzymanymi wynikami.

NA OCENĘ 3.5	Student poprawnie zadaje warunku brzegowe w programie. Przeprowadzono obliczenia tak aby spełnione zostały kryteria niskich wartości residuów oraz monitoruje co najmniej jedna wielkość fizyczne. Student przeprowadził obliczenia wpływu jakości siatki obliczeniowej na wyniki. Wyniki zostały dobrze zinterpretowane. Wyniki przedstawione są w postaci map graficznych, tabel. Student przedstawił wnioski z obliczeń zgodne z otrzymanymi wynikami. Dopuszcza się drobne błędy w interpretacji wyników ich przedstawieniu.
NA OCENĘ 4.0	Student poprawnie zadaje warunku brzegowe w programie. Przeprowadzono obliczenia tak aby spełnione zostały kryteria niskich wartości residuów oraz monitoruje co najmniej jedna wielkość fizyczne. Student przeprowadził obliczenia wpływu jakości siatki obliczeniowej na wyniki. Wyniki zostały dobrze zinterpretowane. Wyniki przedstawione są w postaci map graficznych, tabel, wykresów. Student przedstawił wnioski z obliczeń zgodne z otrzymanymi wynikami. Dopuszcza się drobne błędy w interpretacji wyników ich przedstawieniu.
NA OCENĘ 4.5	Student poprawnie zadaje warunku brzegowe w programie. Przeprowadza obliczenia tak aby spełnione zostały kryteria niskich wartości residuów oraz monitoruje co najmniej jedna wielkość fizyczne. Przeprowadzono obliczenia wpływu jakości siatki obliczeniowej na wyniki. Potrafi dobrze zinterpretować wyniki, oraz przeprowadzić obróbkę wyników tak aby zaprezentować je w przejrzystej formie. Prezentuje wyniki z odpowiednio dobraną legendą/zakresem prezentowanej wielkości. Wyniki przedstawione w postaci map graficznych, tabel, wykresów. Przedstawiono wnioski z obliczeń zgodne z otrzymanymi wynikami.
NA OCENĘ 5.0	Student poprawnie zadaje warunku brzegowe w programie oraz potrafi zadać warunki brzegowe w postaci funkcji i tabeli. Przeprowadzono obliczenia, tak aby spełnione zostały kryteria niskich wartości residuów oraz monitoruje co najmniej dwie wielkość fizyczną. Wykazana jest niezmiennosc monitorowanej wielkości. Przeprowadzono obliczenia wpływu jakości siatki obliczeniowej na wyniki. Student umie prawidłowo zinterpretować wyniki, oraz przeprowadzić obróbkę wyników tak aby zaprezentować je w przejrzystej formie. Zaprezentowano wyniki z odpowiednio dobraną legendą/zakresem prezentowanej wielkości. Wyniki przedstawione są w postaci map graficznych, tabel, wykresów. Student przedstawia wnioski z obliczeń zgodne z otrzymanymi wynikami.

## 10 MACIERZ REALIZACJI PRZEDMIOTU

EFEKT KSZTAŁCENIA	ODNIESIENIE DANEGO EFEKTU DO SZCZEGÓŁOWYCH EFEKTÓW ZDEFINIOWANYCH DLA PROGRAMU	CELE PRZEDMIOTU	TREŚCI PROGRAMOWE	NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE	SPOSOBY OCENY
EK1	K2_W04 K2_W07 K2_W08 K2_U12	Cel 1	L1 L2 L3 L4	N1	F1 P1
EK2	K2_W14 K2_W23 K2_U14	Cel 1	L4 L5 L6 L7	N1 N2	F1 P1
EK3	K2_W01 K2_W22 K2_U14	Cel 2	L1 L2 L3 L4 L5 L6 L7	N1 N2	F1 P1
EK4	K2_U12	Cel 2	L5 L6 L7	N1 N2	F1 P1

## 11 WYKAZ LITERATURY

### LITERATURA PODSTAWOWA

[1 ] **Date A.W.** — *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, New Yorl, 2005, CUP

### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

[1 ] **Anderson J.D.** — *Computational fluids dynamics the basics with applications*, New York, 1995, McDraw-Hill

[2 ] **AutorKotake Susumu, Kunio Hijikata** — *Numerical Simulations of heat Transfer and fluid flow on a personal Computer*, Tokyo, 1993, Elsevier

## 12 INFORMACJE O NAUCZYCIELACH AKADEMICKICH

### OSOBA ODPOWIEDZIALNA ZA KARTĘ

dr hab. inż. Artur Cebula (kontakt: [acebula@pk.edu.pl](mailto:acebula@pk.edu.pl))

### OSOBY PROWADZĄCE PRZEDMIOT

1 dr hab. inż. Artur Cebula (kontakt: [acebula@pk.edu.pl](mailto:acebula@pk.edu.pl))

## 13 ZATWIERDZENIE KARTY PRZEDMIOTU DO REALIZACJI

(miejsowość, data)

(odpowiedzialny za przedmiot)

(dziekan)



**PRZYJMUJĘ DO REALIZACJI** (data i podpisy osób prowadzących przedmiot)

.....