



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Wymiana ciepła i masy

### Przedmiot

Kierunek studiów

Inżynieria Środowiska II stopień

Studia w zakresie (specjalność)

Zaopatrzenie w ciepło, klimatyzacja i ochrona powietrza

Poziom studiów

drugiego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

1/ 1

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obligatoryjny

### Liczba godzin

Wykład

30

Laboratoria

30

Inne (np. online)

Ćwiczenia

30

Projekty/seminaria

### Liczba punktów ECTS

6

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

prof.dr hab.inż. Janusz Wojtkowiak

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

email: janusz.wojtkowiak@put.poznan.pl

tel. (61) 6652442

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Berdychowo 4, 61-131 Poznań

### Wymagania wstępne

1.Wiedza:

Matematyka: rachunek różniczkowy i całkowy, równania różniczkowe zwyczajne i cząstkowe, Fizyka, termodynamika , mechanika płynów

2.Umiejętności:

Zastosowanie rachunku różniczkowego i całkowego do opisu zjawisk fizycznych, rozwiązywanie równań różniczkowych zwyczajnych, przekształcanie równań różniczkowych cząstkowych. Termodynamika: rozwiązywanie zadań i wykonywanie pomiarów na poziomie 6 PRK



### 3. Kompetencje społeczne:

Świadomość konieczności ciągłego aktualizowania i uzupełniania wiedzy i umiejętności.

#### Cel przedmiotu

Poszerzenie i pogłębienie wiedzy oraz umiejętności z zakresu wymiany ciepła i masy oraz miernictwa strumieni ciepła niezbędnych do rozwiązywania złożonych problemów cieplnych i przepływowych oraz sporządzania bilansu energii w urządzeniach i systemach inżynierii środowiska zarówno zabudowanego jak i niezabudowanego

#### Przedmiotowe efekty uczenia się

##### Wiedza

1. Student posiada poszerzoną i pogłębioną wiedzę z zakresu techniki cieplnej i miernictwa cieplnego (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_W01; KIS2\_W03; KIS2\_W04]
2. Student zna podstawowe metody potrzebne do rozwiązywania problemów praktycznych, teoretycznych i projektowych obejmujących procesy i urządzenia cieplne występujące w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_W01; KIS2\_W03; KIS2\_W04]
3. Student posiada wiedzę na temat szczegółowych zasad obliczania wymiany ciepła i masy oraz wymienników ciepła i miernictwa strumieni ciepła występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_W01; KIS2\_W03; KIS2\_W04]
4. Student posiada zaawansowaną wiedzę o trendach rozwojowych i nowych osiągnięciach dotyczących procesów i urządzeń cieplnych występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach audytoryjnych) - [KIS2\_W01; KIS2\_W03; KIS2\_W04]

##### Umiejętności

1. Student potrafi pozyskiwać i oceniać informacje dostępne w literaturze, internecie i katalogach nt technologii i urządzeń występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach audytoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]
2. Student potrafi znaleźć odpowiednie zależności opisujące analizowane procesy cieplne i wie jak ustalić właściwości termodynamiczne niezbędne do wykonania obliczeń
3. Student potrafi rozpoznawać i rozwiązywać złożone problemy projektowe oraz eksploatacyjne dotyczące wymiany ciepła i masy występujące w urządzeniach cieplnych (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach audytoryjnych) i krytycznie ocenić rozwiązania projektowe i wykrywać zagrożenia budowanych i eksploatowanych urządzeń cieplnych - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]
4. Student potrafi planować i przeprowadzać badania cieplne urządzeń występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach laboratoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]



5. Student potrafi ustalić dokładność i wykonać analizę uzyskanych wyników obliczeń i pomiarów oraz interpretować krytycznie uzyskane wyniki obliczeń i pomiarów cieplnych oraz wyciągać wnioski (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]

#### Kompetencje społeczne

1. Student rozumie potrzebę pracy zespołowej w rozwiązywaniu problemów teoretycznych i praktycznych (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_K03]
2. Student ma świadomość zakresów i ograniczeń stosowanych zależności i metod obliczeń oraz wartość posiadanej wiedzy teoretycznej i praktycznej (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_K03]
3. Student rozumie konieczność sprawdzania i weryfikacji wyników stosowanych metod, obliczeń i pomiarów (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_K03]
4. Student ma świadomość konieczności myślenia i działania innowacyjnego (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_K03]

#### **Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny**

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Wykłady:

Dwuczęściowy egzamin pisemny w terminie podanym na początku semestru.

Część 1 ma na celu sprawdzenie wiedzy i polega na udzieleniu pisemnej odpowiedzi na kilka pytań.

Część 2 ma na celu sprawdzenie umiejętności praktycznych i polega na rozwiązaniu 2 z 3 zadań rachunkowych.

W przypadkach wątpliwych egzamin rozszerzany jest o część ustną.

Na każdym wykładzie sprawdzana jest wrywkowo aktywność studentów.

Szczegółowe kryteria punktowe i skala ocen podawane są na pierwszych zajęciach w semestrze i przed egzaminem.

Ćwiczenia rachunkowe (audytoryjne):

60-minutowe pisemne kolokwium zaliczeniowe w ostatnim tygodniu semestru. Kolokwium polega na rozwiązaniu kilku (maksymalnie 3) zadań.

Sprawdzanie i ocenianie wrywkowo poprawności samodzielnych rozwiązań zadań (tj. pracy własnej studenta). Ocenianie wrywkowe aktywności na każdych zajęciach (premiowanie aktywności).

Ćwiczenia laboratoryjne

Krótki 15-minutowy sprawdzian - każdorazowo przed rozpoczęciem realizacji ćwiczeń laboratoryjnych.



Warunkiem zdania każdej z dwóch części egzaminu oraz uzyskania zaliczenia z ćwiczeń audytoryjnych jest zdobycie minimum 50% z maksymalnej liczby punktów wynoszącej 20. Warunkiem zdania egzaminu jest uzyskanie pozytywnej oceny zarówno z cz. 1 jak i z cz. 2. Poprawiana jest tylko ta część egzaminu, która została niezdana.

Skala ocen:

0-9 pkt = 2,0

10-12 pkt = 3,0

13-14 pkt = 3,5

15-16 pkt = 4,0

17-18 pkt = 4,5

19-20 pkt = 5,0

### Treści programowe

Pole temperatury. Strumień ciepła. Mechanizmy przepływu ciepła. Prawo Fouriera, przewodność cieplna. Równanie przewodnictwa ciepła. Ustalone przewodzenie ciepła przez ściankę płaską i cylindryczną. Przenikanie ciepła przez ściankę płaską i uźebrowaną. Metody numeryczne obliczania 1 i 2-wymiarowego pola temperatury. Nieustalone przewodzenie ciepła. Pole temperatury gruntu. Stygnięcie brył.

Analiza wymiarowa, liczby podobieństwa cieplnego, metody badań konwekcji ciepła. Równanie ciągłości, ruchu i energii. Hydrotermiczna i termiczna warstwa przyścienna. Laminarna i turbulenta konwekcja ciepła przy opływie ciał, równania kryterialne. Konwekcja ciepła w powietrzu atmosferycznym. Konwekcja ciepła w przepływach wewnętrznych, strumień ciepła, równania kryterialne.

Konwekcja swobodna ciepła na płaskich powierzchniach pionowych i poziomych, na poziomych i pionowych powierzchniach cylindrycznych (rurach), równania kryterialne.

Konwekcja ciepła przy wrzeniu i skraplaniu.

Promieniowanie cieplne, prawa promieniowania cieplnego, wzór Stefana-Boltzmana, emisja, absorpcja i transmisyjność. Promieniowanie w złożonych układach geometrycznych, stosunki konfiguracji. Promieniowanie cieplne w prostych układach geometrycznych.

Promieniowanie słoneczne, stała słoneczna, solarymetr. Bezpośrednie i dyfuzyjne promieniowanie słoneczne. Obliczanie strat promieniowania cieplnego do nieboskłonu. Relacja pomiędzy pozorną temperaturą nieboskłonu i pozorną emisyjnością nieboskłonu. Bilans cieplny kolektora słonecznego i stawu chłodzącego.

Rodzaje wymienników ciepła. Równanie bilansu energii i równanie przenikania ciepła wymiennika ciepła. Teoria przeponowego wymiennika ciepła, średnia różnica temperatury. Efektywność wymiennika ciepła,



wskaźnik NTU. Metody obliczania przepływowych wymienników ciepła. Wpływ zanieczyszczeń na wydajność wymienników ciepła. Rekuperatory. Straty ciśnienia. Wymienniki ciepła z wypełnieniem, złoża nieruchome, rekuperator obrotowy. Rura cieplna, zastosowanie.

Wymiana masy. Prawo Ficka, dyfuzja. Konwekcja masy, liczba Sherwooda i liczba Schmidta. Analogia wymiany masy i ciepła. Zastosowanie konwekcji masy do analizy wskazań termometru suchego i mokrego w psychrometrach. Parowanie wody w powietrzu atmosferycznym

### Metody dydaktyczne

Wykład informacyjny z elementami wykładu konwersacyjnego. Prezentacja multimedialna, ilustrowana przykładami podawanymi na tablicy

Ćwiczenia audytoryjne: metoda problemowa, rozwiązywanie zadań.

Ćwiczenia laboratoryjne: metoda eksperymentu, wykonanie zadań podanych przez prowadzącego - ćwiczenia praktyczne

### Literatura

Podstawowa

1. Wiśniewski St., Wiśniewski T.S., Wymiana ciepła. WNT, Warszawa 2000
2. Kostowski E., Przepływ ciepła. Wyd. Polit. Śląskiej, Gliwice, 1986
3. Madejski J., Teoria wymiany ciepła. Wyd. Ucz. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1998
4. Oleśkiewicz-Popiel C., Wojtkowiak J., Eksperymenty w wymianie ciepła. Wyd. II rozszerzone, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007
5. Oleśkiewicz-Popiel C., Wojtkowiak J., Właściwości termofizyczne powietrza i wody, przeznaczone do obliczeń przepływu i wymiany ciepła. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015
6. Staniszewski B., Wymiana ciepła. Podstawy teoretyczne. PWN, Warszawa 1979, 1980
7. Pomiary cieplne, T. 1 i T. 2, Praca zb. (red. T.R. Fodemski), WNT, Warszawa 2001
8. Hobler T., Ruch ciepła i wymienniki. WNT, Warszawa 1979
9. Kalinowski E., Przekazywanie ciepła i wymienniki. Skrypt Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1995
10. Zbiór zadań z przepływu ciepła. Pod red. E. Kostowskiego, Wyd. Polit. Śląskiej, Gliwice 2001
11. Oleśkiewicz-Popiel C., Czujniki strumieni ciepła. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1986
12. Pogorzelski J.A., Fizyka cieplna budowli, PWN, Warszawa 1976
13. Modelowanie numeryczne pól temperatury. Pod red. J. Szarguta. WNT, Warszawa 1992



14. Taler J., Duda P., Rozwiązywanie prostych i odwrotnych zagadnień przewodzenia ciepła. WNT, Warszawa, 2003

15. Zarzycki R., Wymiana ciepła i ruch masy w inżynierii środowiska. WNT, Warszawa 2005

Uzupełniająca

1. Incropera F.P., De Witt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S., Introduction to Heat and Mass Transfer. 5th Ed., John Wiley and; Sons, 2007

2. Incropera F.P., De Witt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S., Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6th Ed., John Wiley and Sons, 2006

3. Bejan A., Kraus A.D., Heat Transfer Handbook, John Willey and Sons, Inc., 2003

4. Eckert E.R.G., Drake R.M., Analysis of Heat and Mass Transfer. McGraw-Hill Book Co., 1972

5. Holman J.P., Heat Transfer, McGraw Hill, Metric Edition, 2010

6. Kakac S., Liu H., Heat exchangers: Selection, Rating, and Design. CRC Press, 1998

7. Howell J.R., Siegel R., Menguc M.P., Thermal Radiation Heat Transfer. CRC Press and Taylor and Francis Group, New York 2011

**Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta**

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	150	6,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	90	3,5
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu) <sup>1</sup>	60	2,5

<sup>1</sup> niepotrzebne skreślić lub dopisać inne czynności