



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Technika cieplna z miernictwem

### Przedmiot

Kierunek studiów

Inżynieria Środowiska II stopień

Studia w zakresie (specjalność)

Zaopatrzenie w ciepło, klimatyzacja i ochrona powietrza

Poziom studiów

drugiego stopnia

Forma studiów

niestacjonarne

Rok/semestr

1 /1

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obligatoryjny

### Liczba godzin

Wykład

20

Laboratoria

16

Inne (np. online)

Ćwiczenia

10

Projekty/seminaria

### Liczba punktów ECTS

5

### 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 na poziomie, termodynamika - podstawy

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



### 3. Kompetencje społeczne

Świadomość konieczności ciągłego aktualizowania i uzupełniania wiedzy i umiejętności

#### Cel przedmiotu

Poszerzenie i pogłębienie wiedzy, umiejętności z zakresu techniki cieplnej i miernictwa cieplnego niezbędnych do rozwiązywania złożonych problemów cieplnych i przepływowych oraz bilansu energii w urządzeniach i systemach występujących w 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]
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]
3. Student posiada wiedzę na temat szczegółowych zasad sporządzania bilansów energii, obliczania wydajności cieplnej i strat ciepła oraz sprawności cieplnej urządzeń występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_W01; KIS2\_W03]
4. Student posiada zaawansowaną wiedzę o trendach rozwojowych i nowych osiągnięciach dotyczących procesów i urządzeń cieplnych występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_W01; KIS2\_W03]

##### Umiejętności

1. Student potrafi znaleźć i poprawnie stosować odpowiednie zależności opisujące analizowane procesy cieplne i potrafi ustalać dokładność i wykonać analizę uzyskanych wyników obliczeń i pomiarów (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach audytoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]
2. Student potrafi rozpoznawać i rozwiązywać złożone problemy projektowe oraz eksploatacyjne występujące w urządzeniach cieplnych oraz krytycznie ocenić rozwiązania projektowe i wykrywać zagrożenia występujące na etapie projektowania i eksploatacji urządzeń cieplnych (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach audytoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]
3. Student potrafi planować i przeprowadzać badania eksploatacyjne i badania prototypów urządzeń występujących w inżynierii środowiska (uzyskane na wykładach i ćwiczeniach laboratoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]
4. Student potrafi krytycznie interpretować uzyskane wyniki obliczeń i pomiarów cieplnych, przeprowadzać ich analizę oraz wyciągać wnioski oraz potrafi ustalać dokładność i wykonać analizę



uzyskanych wyników obliczeń i pomiarów (uzyskane na wykładach, ćwiczeniach audytoryjnych i laboratoryjnych) - [KIS2\_U03; KIS2\_U04]

5. Student potrafi opracować szczegółowy bilans cieplny, obliczyć wydajność cieplną oraz straty ciepła i sprawność użytkową analizowanych procesów i urządzeń cieplnych (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 ważności i ograniczeń stosowanych zależności i metod obliczeń oraz wartości 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 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 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):

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

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



Ćwiczenia laboratoryjne:

Krótki 15-minutowy sprawdzian - każdorazowo przed rozpoczęciem realizacji ćwiczeń laboratoryjnych.  
Sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.

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

Parametry i funkcje termodynamiczne. Równania stanu termicznego gazów. Zasada zachowania substancji i energii. Przykłady mieszanin gazów: spaliny, powietrze (skład standardowy: udział objętościowy i masowy tlenu). Energia układu, energia wewnętrzna. Energia strumienia masy, entalpia. Model gazu półdoskonałego. I zasada termodynamiki. Przemiany termodynamiczne. Ciepło i praca przemiany. Bilans energii maszyny przepływowej. II zasada termodynamiki, entropia. Obliczanie przyrostów entropii gazu doskonałego i półdoskonałego. Wykres ciepła (T-s). Porównanie izentropy sprężania gazu doskonałego i półdoskonałego. Dławienie izentalpowe. Para wodna, wykres przemian fazowych. Właściwości i parametry pary nasyconej i mokrej, przemiany pary wodnej, tablice i wykresy pary wodnej. Pomiar stopnia suchości pary mokrej.

Gaz wilgotny, izobaryczne nawilżanie gazu (spalin, powietrza). Parametry gazu wilgotnego. Wykres (h-X) powietrza wilgotnego. Przemiany powietrza wilgotnego, mieszanie dwu strumieni powietrza wilgotnego. Suszenie materiałów wilgotnych. Pomiar wilgotności powietrza wilgotnego.

Spalanie. Podstawy termodynamiki chemicznej. Standardowy stan substancji, reakcja standardowa, entalpia tworzenia. Entalpia i entropia reakcji standardowej, ciepło reakcji standardowej, ciepło spalania. Obliczanie ciepła spalania. Paliwa stałe, ciekłe, gazowe. Pomiar ciepła spalania paliw stałych, ciekłych i gazowych. Równania stechiometryczne spalania paliw, zapotrzebowanie powietrza, współczynnik nadmiaru powietrza. Skład i ilość spalin, objętość właściwa spalin. Wyznaczanie



temperatury punktu rosy spalin. Temperatura adiabatyczna spalin. Bilans i sprawność komory spalania. Pomiar składu spalin: analizator Orsata, analizatory elektryczne. Kontrola jakości spalania paliw. Palniki, kotły kondensacyjne.

Termodynamiczne obiegi porównawcze (odwracalne): silników tłokowych i turbin gazowych. Siłownie parowe, techniki poprawy sprawności siłowni parowych. Obiegi tzw. ORC (Organic Rankine Cycle), perspektywy wykorzystania niskotemperaturowej energii odpadowej w układach ORC. Kogeneracja. Urządzenia chłodnicze, ziębiarka gazowa, pompy ciepła: sprężarkowe, absorpcyjne i termoelektryczne. Tendencje rozwojowe pomp ciepła. Rurka Ranque'a. Metody bezpośredniego przetwarzania ciepła w energię elektryczną.

Adiabatyczne dławienie izentalpowe, efekt Joulea-Thomsona. interpretacja fizyczna, współczynnik Joulea-Thomsona, zastosowanie uogólnionego wykresu entalpii do wyznaczenia współczynnika J-T. Efekt J-T w stacjach redukcyjno-pomiarowych gazu opałowego. Dławienie izentalpowe w zwężkach pomiarowych. Praca maksymalna, egzergia: Przyczyny nieodwracalności procesów, źródła przyrostów entropii.

Praca maksymalna przemiany w układzie zamkniętym i w układzie otwartym. Strata pracy maksymalnej, prawo Gouya-Stodoli. Definicja egzergii. Składniki egzergii. Strata egzergii przemiany adiabatycznej (z tarciami). Obliczanie egzergii. Zastosowanie egzergii. Obliczanie egzergii strumienia substancji, zmiana egzergii w układzie otwartym, jednostkowa egzergia fizyczna, jednostkowa egzergia chemiczna. Przyrost egzergii źródła ciepła. Egzergia układu zamkniętego. Bilans egzergii, straty egzergii, wykresy Sankeya egzergii. Sprawność egzergetyczna. Straty egzergii w procesach nieodwracalnych. Zastosowanie egzergii.

Wybrane zagadnienia z termodynamiki przepływów: przepływ płynu nieściśliwego przez dyszę, równanie energii, pomiar prędkości i strumienia przepływu, współczynnik prędkości i sprawność dyszy. Przepływ płynu ściśliwego przez przewody, wpływ tarcia. Zastosowanie I zasady termodynamiki do obliczenia straty ciśnienia przy przepływie przez tzw. rurę krótką i długą. Temperatura adiabatycznego zahamowania, entalpia i temperatura całkowita i statyczna. Pomiar temperatury gazu o dużej prędkości. Prędkość dźwięku. Kształt kanału: dysza de Laval, dysza Bendemanna. Dysza, dyfuzor. Zastosowanie dyszy dźwiękowej do pomiaru strumienia przepływu gazu: przykłady

### 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. SZARGUT J., Termodynamika techniczna. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000



2. KALINOWSKI E., Termodynamika. Skrypt Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1994
3. SMUDSZ R., WILK J., WOLAŃCZYK F., Termodynamika. Repetytorium. Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Wyd. III, stron 115, Rzeszów, 2009 (cena 12 zł)
4. WIŚNIEWSKI S., Termodynamika techniczna. WNT, Warszawa 1993 (463 strony)
5. OCHEŃDUSZKO St., Termodynamika stosowana. WNT, Warszawa, 1964
6. Pomiary cieplne, T. 1 i T. 2, Praca zb. (red. T.R. Fodemski), WNT, Warszawa, 2001
7. SZARGUT J., GUZIK A., GÓRNIAK H.: Zadania z termodynamiki technicznej, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2008
8. OLEŚKOWICZ-POPIEL C., WOJTKOWIAK J., Właściwości termofizyczne powietrza i wody ? przeznaczone do obliczeń przepływów i wymiany ciepła. Wyd. Polit. Poznańskiej, Poznań, 2010
9. OLEŚKOWICZ-POPIEL C., AMANOWICZ Ł., Eksperymenty w technice cieplnej Wyd. Polit. Poznańskiej, Poznań, 2016

Uzupełniająca

1. RUBIK M., Pompy ciepła, Wyd. II, Ośrodek Informacji, Technika Instalacyjna w Budownictwie, Warszawa 1999
2. SONNTAG R.E., BORGNACKE C., VAN WYLEN G.J., Fundamentals of Classical Thermodynamics, SI Version, 6th Edition, John Wiley and Sons, Inc., U S A, 2003 (HC 245,-zł)
3. SONNTAG R.E., BORGNACKE C., Introduction to Engineering Thermodynamics, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., U S A, 2007
4. SCHMIDT P., BAKER D., EZEKOYE O., HOWELL J., Thermodynamics. An Integrating Learning System. International Edition., John Wiley and Sons, Inc., U S A, 2006 (205,-zł)
5. CENGEL Y.A., BOLES M.A., Thermodynamics. An Engineering Approach. 6 Edition (SI Units), McGraw-Hill Higher Education, 2007

**Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta**

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	125	5,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	46	2,0
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu) <sup>1</sup>	79	3,0

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