



1. ? Student potrafi pozyskiwać i oceniać informacje dostępne w literaturze, internecie i katalogach nt technologii i urządzeń występujących w inżynierii środowiska - [K2\_U01, K2\_U18]
2. ? Student potrafi znaleźć odpowiednie zależności opisujące analizowane procesy cieplne - [K2\_U01, K2\_U18]
3. ? Student wie jak ustalić właściwości termodynamiczne niezbędne do wykonania obliczeń - [K2\_U01, K2\_U18]
4. ? Student potrafi rozpoznawać i rozwiązywać złożone problemy projektowe oraz eksploatacyjne w urządzeniach cieplnych - [K2\_U01, K2\_U18]
5. ? Student potrafi krytycznie ocenić rozwiązania projektowe i wykrywać zagrożenia budowanych i eksploatowanych urządzeń cieplnych - [K2\_U01, K2\_U18]
6. ? Planować i przeprowadzać badania eksploatacyjne i badania prototypów urządzeń występujących w inżynierii środowiska - [K2\_U01, K2\_U18]
7. ? Ustalić dokładność i wykonać analizę uzyskanych wyników obliczeń i pomiarów - [K2\_U01, K2\_U18]
8. ? Interpretować krytycznie uzyskane wyniki obliczeń i pomiarów cieplnych oraz wyciągać wnioski - [K2\_U01, K2\_U18]
9. ? Opracować szczegółowy bilans cieplny i obliczyć wydajność cieplną oraz straty ciepła i sprawność użytkową analizowanych procesów i urządzeń cieplnych - [K2\_U01, K2\_U18]

**Kompetencje społeczne:**

1. \* Student rozumie potrzebę pracy zespołowej w rozwiązywaniu problemów teoretycznych i praktycznych - [- K2\_K03]
2. ? Student ma świadomość zakresów i ograniczeń stosowanych zależności i metod obliczeń oraz wartości posiadanej wiedzy teoretycznej i praktycznej - [- K2\_K03]
3. ? Student rozumie konieczność sprawdzania i weryfikacji wyników stosowanych metod, obliczeń i pomiarów - [- K2\_K03]
4. ? Student ma świadomość konieczności myślenia i działania innowacyjnego - [- K2\_K03]

**Sposoby sprawdzenia efektów kształcenia****- 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 zadań rachunkowych.

W przypadkach wątpliwych egzamin rozszerzany jest o część ustną.

Na każdym wykładzie sprawdzana jest wrywkowo aktywność studentów.

**Ćwiczenia rachunkowe (audytoryjne):**

80-minutowe pisemne kolokwium zaliczeniowe w ostatnim tygodniu semestru. Kolokwium polega na rozwiązaniu kilku 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 "wejściowy" przed każdym z ćwiczeń.

Opracowanie i obrona indywidualna pisemnych sprawozdań z każdego z ćwiczeń.

Ocenianie ciągłe na każdych zajęciach (premiowanie aktywności).

**Treści programowe**

Układ termodynamiczny. Międzynarodowa skala temperatury. Ilość substancji. Równanie stanu gazu idealnego i rzeczywistego. 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 izentropii sprężania gazu doskonałego i półdoskonałego. Dławienie izentalpowe. Para wodna, przemiany fazowe. 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. Pomiary 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: gaz ?przemysłowy?, gaz ziemny, biogaz, łupki. Pomiar ciepła spalania paliw stałych (?bomba kalorymetryczna?, ciekłych i gazowych (kolorymetr przepływowy Junkersa). Równania stechiometryczne, 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. Pomiary 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 energii elektrycznej i ciepła. Urządzenia chłodnicze, ziębiarka gazowa, pompy ciepła: sprężarkowe, absorpcyjne i termoelektryczne. Tendencje rozwojowe pomp ciepła. Rurka Ranque'a. Metody bezpośredniego przetwarzania ciepła w energię elektryczną. Zależności termodynamiczne (Maxwellowskie), zastosowanie zależności termodynamicznych do wyznaczania właściwości termodynamicznych gazów. Adiabatyczne dławienie izentalpowe, efekt Joule'a-Thomsona. Interpretacja fizyczna, współczynnik Joule'a-Thomsona, zastosowanie uogólnionego wykresu entalpii do wyznaczenia współczynnika J-T. Efekt J-T w stacjach redukcyjno-pomiarowych gazu opałowego. Zastosowanie dławienia do pomiaru ?stopnia suchości? x pary mokrej - kalorymetr dławiaczy. 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 tarcie). 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. Egzergia = energia mechaniczna, elektryczna. Bilans egzergii, straty egzergii, wykresy Sankeya egzergii. Sprawność egzergetyczna: ogólnie, dla procesu technologicznego, dla obiegu cieplnego. Straty egzergii w procesach nieodwracalnych: wywołane tarcie, wywołane przepływem ciepła, dławieniem izentalpowym, mieszaniami substancji o różnym składzie chemicznym - przykład. Zastosowanie egzergii. Wybrane zagadnienia z termodynamiki przepływów: przepływ płynu nieściśliwego przez dyszę, równanie energii, pomiar prędkości i strumienia przepływu, współczynnik prędkości i sprawność dyszy. Zastosowanie I zasady termodynamiki do obliczenia straty ciśnienia przy przepływie przez rurę ?krótką? i ?długą?. Przepływ płynu ściśliwego przez przewody, wpływ tarcia. Temperatura adiabatycznego zahamowania. Entalpia i temperatura całkowita i statyczna. Pomiar temperatury gazu o dużej prędkości. Prędkość dźwięku. Kształt kanału: dysza de Laval, dysza Bendemanna. Parametry krytyczne dyszy. Dysza, dyfuzor. Strumień masy. Zastosowanie dyszy dźwiękowej do pomiaru strumienia przepływu gazu: przykłady.

### 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. OCHEŁDUSZKO St., Termodynamika stosowana. WNT, Warszawa, 1964
6. Pomiary cieplne, T. 1 i T. 2, Praca zb. (red. T.R. Fodemski), , WNT, Warszawa, 2001
7. OLEŚKOWICZ-POPIEL C., WOJTKOWIAK J., Właściwości termofizyczne powietrza i wody ? przeznaczone do obliczeń przepływów i wymiany ciepła. Wyd. Polit. Poznańskiej, Poznań, 2010
8. SZARGUT J., GUZIK A., GÓRNIAK H.: Zadania z termodynamiki technicznej, Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2008

### Literatura 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 & Sons, Inc., U S A, 2003 (HC 245,-zł)
3. SONNTAG R.E., BORGNACKE C., Introduction to Engineering Thermodynamics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., U S A, 2007
4. SCHMIDT P., BAKER D., EZEKOYE O., HOWELL J., Thermodynamics. An Integrating Learning System. International Edition., John Wiley & 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

Czynność	Czas (godz.)
----------	--------------

1. Udział w wykładach	30	
2. Udział w ćwiczeniach rachunkowych (audytoryjnych)	15	
3. Udział w zajęciach laboratoryjnych	30	
4. Przygotowanie do ćwiczeń lab.	10	
5. Opracowanie sprawozdań z ćwiczeń lab., obrona sprawozdania	12	
6. Konsultacje	3	
7. Przygotowanie do kolokwiów z ćwiczeń rachunkowych	10	
8. Przygotowanie do egzaminu i egzamin	40	
<b>Obciążenie pracą studenta</b>		
<b>forma aktywności</b>	<b>godzin</b>	<b>ECTS</b>
Łączny nakład pracy	150	6
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	78	3
Zajęcia o charakterze praktycznym	30	2