



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Termomechanika [S2EJ1>Term]

### Przedmiot

Kierunek studiów

Energetyka jądrowa

Rok/Semestr

1/1

Studia w zakresie (specjalność)

–

Profil studiów

ogólnoakademicki

Poziom studiów

drugiego stopnia

Język oferowanego przedmiotu

polski

Forma studiów

stacjonarne

Wymagalność

obieralny

### Liczba godzin

Wykład

30

Laboratorium

15

Inne

0

Ćwiczenia

30

Projekty/seminaria

0

### Liczba punktów ECTS

5,00

### Koordynatorzy

prof. dr hab. inż. Ewa Tuliszką-Sznitko  
ewa.tuliszka-sznitko@put.poznan.pl

### Wykładowcy

### Wymagania wstępne

Wymagania wstępne obejmują głównie wiedzę z zakresu matematyki: podstawy rachunku różniczkowego i całkowego, oraz rozwiązywanie prostych równań różniczkowych zwyczajnych. Wymagania obejmują również podstawy z termodynamiki, wymiany ciepła i mechaniki płynów.

### Cel przedmiotu

Celem przedmiotu jest poszerzenie wiedzy studenta z termodynamiki, wymiany ciepła i mechaniki płynów, tak aby mógł rozwiązywać proste zagadnienia termodynamiczno / przepływowymi występujące w elektrowniach jądrowych.

### Przedmiotowe efekty uczenia się

Wiedza:

1. Student zna i rozumie podstawowe wielkości charakterystyczne dla termodynamiki, mechaniki płynów i energetyki. Zna metody obliczeniowe i zna narzędzia informatyczne przydatne do analizy wyników prac.
2. Student ma wiedzę potrzebną do identyfikacji zjawisk fizycznych występujących w prostych systemach termodynamicznych (otwartych i zamkniętych). Student poprawnie opisuje występujące w tych

systemach metody konwersji energii.

3. Student sprawnie wykorzystuje I i II zasadę termodynamiki, oraz równanie stanu do rozwiązywania omawianych przykładów termodynamicznych. Opisuje i analizuje przemiany gazowe i parowe w obiegach termodynamicznych. Student zna termodynamikę powietrza wilgotnego oraz podstawy termodynamiczne z zakresu spalania.

4. Student potrafi bilansować urządzenia cieplne elektrowni: kocioł, pompę, układ chłodzenia, wymienniki ciepła.

Umiejętności:

1. Student potrafi wykorzystać przyswojoną wiedzę do obliczeń prostych (modelowych) układów cieplnych elektrowni jądrowych.

2. Student umie formułować hipotezy dotyczące badanego problemu termodynamiczno / przepływowego.

Kompetencje społeczne:

1. Student rozumie potrzebę pracy zespołowej w rozwiązywaniu teoretycznych i praktycznych problemów. Student rozumie konieczność systematycznego pogłębiania i rozszerzania swojej wiedzy, i umiejętności.

2. Student ma świadomość konieczności dialogu społecznego w sprawach związanych z wpływem energetyki jądrowej na otoczenie.

### Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Wykład jest zaliczany na podstawie egzaminu pisemnego (90 minut). Studenci odpowiadają na 12 krótkich pytań. Lista wszystkich pytań udostępniana jest na ostatnim wykładzie. Ocena ustalana jest w czasie części ustnej egzaminu. Dodatkowo, stosowane jest ocenianie ciągłe, na każdych zajęciach, premiowania jest aktywności i uczestnictwo w dyskusji. Zajęcia tablicowe zaliczane są na podstawie sprawdzianu końcowego.

Część laboratoryjna zaliczana jest na podstawie sprawozdań.

### Treści programowe

Wykład: Główne parametry termodynamiczno / przepływowe: temperatura, ciśnienie, gęstość i prędkość. Gaz idealny / gaz van der Waals'a. Ciepło i praca, ustalenie znaków. Pierwsza i druga zasada termodynamiki. Podstawowe przemiany termodynamiczne: izobara, izochora, izoterma, izentropa. Przemiana politropowa. Silnik Carnota i obieg Braytona. Woda, para wodna, powietrze, spaliny jako czynniki termodynamiczne. Para mokra, stopień suchości, I i II zasada termodynamiki w obszarze pary mokrej. Obieg Carnota w obszarze dwufazowym, obieg Rankine'a i jego optymalizacja. Wykres entropia / entalpia dla pary wodnej, równania Maxwella. Punkt krytyczny i jego znaczenie dla techniki. Podstawy wymiany ciepła: Przewodzenie i analityczne rozwiązywanie równania przewodnictwa cieplnego. Konwekcja wymuszona i swobodna. Złożona wymiana ciepła w czynniku w stanie wrzenia. Krzywa parowania (krzysy wrzenia). Kondensacja. Termodynamika gazów wilgotnych. Termodynamika procesów spalania (współczynnik nadmiaru powietrza, współczynnik niecałkowitego spalania). Termomechanika czynnika ściśliwego, przykłady. Bilans masy, pędu, energii i inżynierskie odpowiedniki tych równań (strumień masy, strumień objętości, reakcja strumienia na kanał, równanie Bernoulliego). Systemy otwarte i zamknięte. Inżynierskie zastosowania komputerów a termomechanika płynów. Ćwiczenia audytoryjne: rozwiązywanie przykładów z obszaru I i II zasady termodynamiki, równania stanu gazu doskonałego i rzeczywistego. Obliczenia modelowych obiegów cieplnych i obliczenia wybranych przykładów z wymiany ciepła. Prowadzenie obliczeń dla pary wodnej z wykorzystaniem wykresu entropia / entalpia. Przykłady obliczeniowe przepływów ze stratami. Zajęcia laboratoryjne: Analiza wybranych przykładów omawianych na ćwiczeniach z wykorzystaniem standertowego edukacyjnego oprogramowania komputerowego.

### Tematyka zajęć

Znaczenie energetyki jądrowej w zaspokajaniu potrzeb energetycznych ludzkości. Zagadnienia przepływowe i termodynamiczne w elektrowniach jądrowych. Podstawowe parametry fizyczne używane w termomechanice tj. ciśnienie, temperatura, objętość, masa, prędkość, i ich jednostki. Równania zachowania masy, pędu i energii, oraz inżynierskie odpowiedniki tych równań. Strumień masy, równanie

Bernoulliego, równanie pędu strumienia. Przykłady obliczeniowe z obszaru mechaniki płynów. Przykładowe procesy cieplne, i ich występowanie w przyrodzie i technologii. Równanie stanu gazu doskonałego (indywidualna stała gazowa, uniwersalna stała gazowa). Definicja pracy i ciepło dyssypacji. Praca odwracalna zewnętrzna i praca odwracalna techniczna. Funkcje stanu: energia wewnętrzna i entalpia. Pierwsza zasada termodynamiki (układ zamknięty). Ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu i ciepło właściwe przy stałej objętości. Molowe ciepło właściwe. Zależność ciepła właściwego od temperatury. Przykłady obliczeniowe z zakresu I zasady termodynamiki i równania stanu gazu doskonałego. I zasada termodynamiki, układ otwarty, przykłady obliczeniowe. Funkcja stanu: entropia. Druga zasada termodynamiki, przyrost entropii. Nieodwracalność procesów termodynamicznych, procesy samorzutne – przykłady. Analiza podstawowych przemian termodynamicznych: izobara, izochora, izoterma – przykłady z prostą aplikacją techniczną. Przemiana izentropowa i sprawność procesów sprężania i rozprężania. Praca odwracalna zewnętrzna i odwracalna techniczna wzdłuż izentropy (spręż). Przemiana politropowa, ciepło politropy, przykład – sprężarka dwustopniowa z chłodzeniem międzystopniowym. Mieszaniny gazów doskonałych, równania konstytutywne (prawo Daltona). Przykłady. Obiegi prawo-bieżne i lewo-bieżne. Definicja obiegu, równanie obiegu i sprawność termiczna obiegu. Obiegi modelowe: obieg Carnota i obieg Braytona-Joule'a (z regeneracją). Przykłady obliczeniowe. Przemiany fazowe pary wodnej, wykres (s, h) pary mokrej i przegrzanej. Obieg Rankine'a – przykład obliczeniowy. Podstawowe elementy ciepłne elektrowni jądrowych.

Systemy chłodzenia i ich bilans energetyczny. Termodynamika powietrza wilgotnego, podstawowe parametry: wilgotność bezwzględna, wilgotność względna, zawartość wilgoci, punkt rosy. Wykres Molliera. Przykłady obliczeniowe z obszaru klimatyzacji. Metody transportu ciepła: przewodzenie, konwekcji i promieniowanie. Prawo Fouriera, współczynnik przewodności cieplnej. Rozwiązanie równania przewodnictwa cieplnego w przeponach płaskich i cylindrycznych, oraz w pęcie cylindrycznym z wewnętrznym źródłem ciepła. Przejmowanie ciepła, prawo Newtona, współczynnik przejmowania ciepła i jego jednostka. Przenikanie ciepła, współczynnik k. Przykłady obliczeniowe. Konwekcja naturalna i konwekcja wymuszona. Liczby podobieństwa: Reynoldsa, Prandtla, Nusselta, Grashofa. Zależności empiryczne na liczbę Nusselta – przykłady obliczeniowe. Promieniowanie termiczne i jego podstawowe parametry (gęstość emisji, zdolność materii do odbijania promieniowania, do absorpcji i do przepuszczania). Prawo Stefana-Boltzmanna. Emisyjność. Wymiana ciepła przez promieniowanie pomiędzy dwoma nieskończone długimi płytami prostokątnymi do podłoża. Wymiana ciepła przez promieniowanie pomiędzy ciałami rzeczywistymi. Ekrany. Promieniowanie cieczy i gazów.

Termomechanika czynnika ściśliwego, przykłady.

Zajęcia laboratoryjne: Analiza wybranych przykładów omawianych na ćwiczeniach z wykorzystaniem standertowego edukacyjnego oprogramowania komputerowego.

## Metody dydaktyczne

Wykład prowadzony w formie zdalnej z wykorzystaniem metod dostępu synchronicznego.

Wykład: prezentacja multimedialna (z rysunkami i animacjami).

Ćwiczenia audytoryjne: przykładowe problemy techniczne rozwiązywane są na tablicy.

Zajęcia laboratoryjne: Analiza wybranych przykładów omawianych na ćwiczeniach z wykorzystaniem edukacyjnego oprogramowania komputerowego.

## Literatura

Podstawowa:

1. Zohuri, B., McDaniel, P., Thermodynamics in Nuclear Power Plant Systems, Springer, 2019.
2. Badur, J. Pięć wykładów ze współczesnej termomechaniki płynów, IMP PAN Gdańsk, [www.imp.gda.pl/struktura/O2/Z3/publications](http://www.imp.gda.pl/struktura/O2/Z3/publications) jako plik: pięćwykładów.pdf.
3. Tuliszką-Sznitko, E., Wybrane zagadnienia z mechaniki płynów wirujących, WPP, 2011.
4. Furmański, P., Domański, R., Wymiana ciepła, Przykłady obliczeń i zadania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.

Uzupełniająca:

1. Cengel, Y., Boles, M.A., Thermodynamics, an engineering approach, Mc Graw Hill, 2008.
2. Incropera, F., DeWitt, D., Fundamentals of heat and mass transfer, Wiley, 2008.
3. Ghiaasiaan, M., Convective heat and mass transfer, Cambridge University Press, 2014.

## Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta

|                                                                                                                                                     | Godzin | ECTS |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|
| Łączny nakład pracy                                                                                                                                 | 137    | 5,00 |
| Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem                                                                                           | 77     | 3,00 |
| Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwii/egzaminu, wykonanie projektu) | 60     | 2,00 |