**Nazwa przedmiotu:**

Teoria sprężystości i plastyczności

**Koordynator przedmiotu:**

dr inż. Szymon Imiełowski

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Inżynieria Środowiska

**Grupa przedmiotów:**

Specjalizacyjne

**Kod przedmiotu:**

1110-ISIWO -MSP-1405

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2023/2024

**Liczba punktów ECTS:**

3

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

wykład - 30 godzin, ćwiczenia audytoryjne - 15 godzin, zapoznanie się ze wskazaną literaturą - 5 godzin, przygotowanie referatu/prezentacji - 8 godzin, przygotowanie do kolokwium - 5 godzin, przygotowanie do ćwiczeń audytoryjnych - 7 godzin, przygotowanie do zaliczenia wykładów i obecność na zaliczeniu - 5 godzin. Razem 75 godzin.

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

2

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

nie dotyczy

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 15h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Matematyka (sem. I i II), Fizyka (sem. I i II), Wytrzymałość Materiałów i Mechanika Budowli, Statyka Budowli (sem.V)

**Limit liczby studentów:**

brak

**Cel przedmiotu:**

Zapoznanie studentów z podstawowymi pojęciami i metodami rozwiązywania zadań teorii sprężystości i plastyczności. Wykształcenie umiejętności rozumienia zadań analizy stanu naprężenia i odkształcenia dwuwymiarowych i przestrzennych, m.in. tarcz, płyt i modeli konstrukcji trójwymiarowych. Omówienie podstawowych metod rozwiązywania zadań teorii sprężystości: metody funkcji naprężeń Airy’ego, metody szeregów trygonometrycznych oraz wybranych metod numerycznych. Ćwiczenie umiejętności wykorzystywania istniejących rozwiązań oraz samodzielnego rozwiązywania podstawowych zadań. Przedstawienie podstaw teorii małych odkształceń sprężysto-plastycznych, teorii plastycznego płynięcia oraz teorii nośności granicznej.
Opanowanie materiału niezbędnego do dalszych studiów kursu magisterskiego specjalności Inżynierii Wodnej, takich jak mechanika budowli i przedmioty z zakresu projektowania budowli i urządzeń hydrotechnicznych.

**Treści kształcenia:**

PROGRAM WYKŁADU:

1.Wprowadzenie do rachunku tensorowego. Podstawowe założenia teorii sprężystości, podstawowe modele ciał materialnych, równania fizyczne dla ciał liniowo sprężystych; płaski stan naprężenia i płaski stan odkształcenia.
2.Zagadnienie przestrzenne: sformułowanie zadania teorii sprężystości, równania równowagi, związki fizyczne, równania nierozdzielności, funkcje naprężeń, równanie naprężeniowe i przemieszczeniowe stanu przestrzennego. Przykłady rozwiązania zagadnień przestrzennych: półprzestrzeń sprężysta obciążona siłą skupioną, skręcanie pręta pryzmatycznego o dowolnym przekroju.
3.Zagadnienie płaskie: sformułowanie zadania teorii sprężystości, równania równowagi, związki fizyczne równania nierozdzielności, funkcje naprężeń. Koło Mohra płaskiego stanu odkształcenia. Przykłady rozwiązań zagadnień płaskich: zginanie belki wspornikowej obciążonej siłą skupioną i belki swobodnie podpartej obciążonej równomiernie, obliczanie zapory o przekroju trójkątnym i ciągłej belki-ścianki.
4.Rozwiązanie zagadnienia płaskiego we współrzędnych biegunowych: czyste zginanie pręta zakrzywionego, zagadnienie rury grubościennej, klin i półpłaszczyzna obciążone siłą skupioną, koncentracja naprężeń wokół otworu tarczy.
5.Płyty sprężyste: rodzaje płyt, założenia teorii płyt, równania równowagi płyt, warunki brzegowe, metody rozwiązywania płyt sprężystych, naprężenia termiczne w płytach. Przypadki szczególne obliczania płyt: płytowego pasmo walcowe, rozwiązanie Naviera z zastosowaniem podwójnych szeregów trygonometrycznych, rozwiązanie M.Levy z zastosowaniem pojedyńczych szeregów trygonometrycznych, płyta kołowa. Przybliżone metody obliczania płyt: metody wariacyjne (metoda energetyczna Ritza-Timoshenki i metoda ortogonalizacyjna Bubnowa-Galerkina), metoda różnic skończonych, metoda elementów skończonych.
6.Teoria powłok – uwagi ogólne, rodzaje powłok, założenia teorii powłok, przykłady.
7.Pojęcia i zależności podstawowe: tensor i dewiator naprężenia i odkształcenia, niezmienniki, intensywność naprężenia i odkształcenia; obciążanie i odciążanie (proces czynny i bierny), podstawowe modele plastyczności; efekt Bauschingera, warunki plastyczności (warunek max energii odkszałcenia postaciowego Hubera-Miesesa-Henkiego, warunek max naprężenia stycznego Tresci.
8.Teoria małych odkształceń sprężysto-plastycznych Henky’ego-Iliuszyna: związek pomiędzy naprężeniem i odkształceniem w procesie czynnym (obciążenie) i biernym (odciążenie), podstawowe prawa teorii.
9.Teoria plastycznego płynięcia Levy’ego-Miesesa, teoria plastycznego płynięcia Prandtla-Reusa, prawo płynięcia, porównanie teorii odkształceniowej i teorii płynięcia. Równanie wzmocnienia plastycznego – postulat Druckera; wypukłość powierzchni plastyczności, stowarzyszone prawo płynięcia, powierzchnie neutralne przy wzmocnieniu plastycznym, wzmocnienie izotropowe, wzmocnienie kinematyczne i wzmocnienie mieszane.
10.Elementarne zagadnienia teorii plastyczności: czysto plastyczne swobodne skręcanie prętów pryzmatycznych, czyste zginanie.
11.Teoria nośności granicznej konstrukcji: pojęcia podstawowe, twierdzenia teorii nośności granicznej; algorytm metody statycznej i metody kinematycznej, przykłady rozwiązań dla belek i ram; nośność graniczna płyt. Wybrane metody rozwiązania zagadnień teorii plastyczności, metoda charakterystyk.

PROGRAM CWICZEŃ AUDYTORYJNYCH:

1.Ćwiczenia z zastosowań rachunku tensorowego. Rozkład dowolnego stanu naprężenia na aksjator i dewiator. Określenie kierunków i naprężeń głównych.
2.Analiza płaskiego stanu odkształcenia i naprężenia we współrzędnych kartezjańskich: określanie i wykorzystanie funkcji naprężeń Airy’ego w postaci wielomianów oraz w postaci funkcji i szeregów trygonometrycznych.
3.Tarcze we współrzędnych biegunowych: rozkład naprężeń w rozciąganej tarczy z otworem, zadanie rury grubościennej, stan naprężenia półpłaszczyzny sprężystej pod dowolnym obciążeniem.
4.Płyty sprężyste. Metody analityczne: zginanie pasma płytowego rozwiązanie płyty we współrzędnych biegunowych. Rozwiązanie płyty metodą różnic skończonych.
Omówienie tematów pracy domowej. Praca własna.
5.Nośność graniczna konstrukcji – zginane belki statycznie niewyznaczalne (metoda statyczna i metoda kinematyczna), rozwiązanie ramy metodą rozwiązań sprężystych i metodą superpozycji mechanizmów podstawowych, nośność graniczna płyt zginanych , teoria linii załomów.

1. Ćwiczenia z zastosowań rachunku tensorowego. Rozkład dowolnego stanu naprężenia na aksjator i dewiator. Określenie kierunków i naprężeń głównych.
2. Analiza płaskiego stanu odkształcenia i naprężenia we współrzędnych kartezjańskich: określanie i wykorzystanie funkcji naprężeń Airy’ego w postaci wielomianów oraz w postaci funkcji i szeregów trygonometrycznych.
3. Tarcze we współrzędnych biegunowych: rozkład naprężeń w rozciąganej tarczy z otworem, zadanie rury grubościennej, stan naprężenia półpłaszczyzny sprężystej pod dowolnym obciążeniem.
4. Płyty sprężyste. Metody analityczne: zginanie pasma płytowego rozwiązanie płyty we współrzędnych biegunowych. Rozwiązanie płyty metodą różnic skończonych.
Omówienie tematów pracy domowej. Praca własna.
5. Nośność graniczna konstrukcji – zginane belki statycznie niewyznaczalne (metoda statyczna i metoda kinematyczna), rozwiązanie ramy metodą rozwiązań sprężystych i metodą superpozycji mechanizmów podstawowych, nośność graniczna płyt zginanych , teoria linii załomów.

**Metody oceny:**

Zasady ustalania oceny zintegrowanej: ocena końcowa przedmiotu jest średnią arytmetyczną z dwóch ocen, ćwiczeń audytoryjnych i wykładu.
Warunki zaliczenia wykładu: kolokwium zaliczeniowe.
Warunki zaliczenia ćwiczeń projektowych: Zaliczenie kolokwium w trakcie semestru, obrona pracy domowej, sprawdzanie obecności na zajęciach. Ocena końcowa ćwiczeń audytoryjnych jest średnią ważoną 2/3 oceny z kolokwium i 1/3 obrony pracy domowej.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

Podręczniki:
1. T.Chmielewski, Sz.Imiełowski, Wybrane zagadnienia teorii sprężystości i plastyczności, preskrypt, OWPW 2016
2. L.Brunarski, M. Kwieciński: Wstęp do teorii sprężystości i plastyczności, OWPW 1984.
2. M. Paluch, Podstawy teorii sprężystości i plastyczności przykładami. Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
3. G. Rakowski, Teoria Sprężystości. Politechnika Poznańska 2004.
4. A. Gawęcki, Mechanika materiałów i konstrukcji prętowych, AlmaMater 2003
5. J. Walczak, Wytrzymałość materiałów oraz podstawy teorii sprężystości i plastyczności. PWN, Warszawa 1973
6. S. Timoshenko, J.N. Goodier, Teoria sprężystości, Arkady, Warszawa 1962
7. S.P.Timoshenko, S.Woinowski-Krieger: Teoria płyt i powłok, Arkady, Warszawa 1962 (241-260);
8. Z.Kączkowski: Płyty, obliczenia statyczne, Arkady, 1980
9. O.Kopacz, K.Krawczyk, A.Łodygowski, M.Płotkowiak, A.Świtek, K.Tymper:
Wykład Teorii sprężystości, www.ikb.poznan.pl/poss/dydaktyka/wyklady/teoria\_sprezystosci/, 2015.
10. M.Kłos, Wykład Teorii sprężystości i plastyczności,
 http://kmk.portal.prz.edu.pl/dydaktyka/budownictwo/teoria-sprezystosci-i-plastyczno/, 2015.

Zbiory zadań:
1.L.Brunarski, M. Kwieciński, L.Runkiewicz: Zbiór zadań z teorii sprężystości i plastyczności, OWPW 1984.
2.Krzyś W. Życzkowski M. Sprężystość i plastyczność. Wybór zadań i przykładów. PWN, Warszawa 1962

**Witryna www przedmiotu:**

http://www.is.pw.edu.pl/mechanika/

**Uwagi:**

Przedmiot realizowany na 1-szym sem. studiów magisterskich. Poziom studentów bardzo zróżnicowany ponieważ znaczna część grupy stanowią osoby spoza Politechniki Warszawskiej, również kierunków uniwesyteckich, gdzie przygotowanie z przedmiotów mechaniki jest niewystarczające do zrozumienia zagadnień objętych kursem. Konieczne skierowanie osób z najsłabszym przygotowaniem na wyrównujące zajęcia ze Statyki Budowli realizowane dla piątego semestru specjalności ISIW.
Przyjęte metody kształcenia umożliwiają zrozumienie materiału i wyrabiają umiejętność samodzielniego rozwiązywania zadań.

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka W01:**

Student wykorzystuje rachunek wektorowy i elementy rachunku tensorowego do opisu stanu naprężenia i odkształcenia.

Weryfikacja:

Praca domowa, kartkówki i kolokwium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W19

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o

**Charakterystyka W02:**

Student formułuje warunki brzegowe płaskiego stanu naprężenia i płaskiego stanu naprężenia i rozwiązuje zadania płaskie we współrzędnych kartezjańskich i współrzędnych biegunowych wykorzystując funkcje naprężeń.

Weryfikacja:

Praca domowa, kartkówki i kolokwium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka W03:**

Student rozwiązuje zadanie wyznaczenia ugięć sprężystego pasma płytowego metodą analityczną i płyty o dowolnym kształcie metodą różnic skończonych.

Weryfikacja:

Praca domowa, kartkówki i kolokwium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka W04:**

Student rozwiązuje zadanie nośności granicznej konstrukcji prętowej metodą stanów granicznych - metodami statyczną i kinematyczną.

Weryfikacja:

Praca domowa, kartkówki i kolokwium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W08

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka U01:**

Po zakończonym kursie student posiada znacznie rozszerzony zakres umiejętności niezbędnych do zrozumienia warunków pracy i podstawowych metod obliczania konstrukcji, dla których nie można stosować uproszczonych metod wytrzymałości materiałów, m.in. konstrukcji pracujących w warunkach płaskich stanów naprężenia i odkształcenia, płyt, tarcz i wybranych elementów teorii plastyczności.

Weryfikacja:

Praca domowa, kartkówki i kolokwium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_U13, IS\_U15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o, I.P7S\_UK

**Charakterystyka U02:**

Nabyte umiejętności i wiedza są niezbędne do zrozumienia treści przedmiotów realizowanych na studiach magisterskich, takich jak konstrukcje hydrotechniczne, mogą być wykorzystane przy pisaniu pracy magisterskiej

Weryfikacja:

Praca domowa, kartkówki i kolokwium.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_U18

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, I.P7S\_UO, III.P7S\_UW.o

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka K01:**

Wiedza zdobyta podczas kursu rozszerza wyobrażenie o tematyce i stopniu trudności rozwiązań nowych rodzajów konstrukcji inżynierskich, wpływa w ten sposób na jego decyzję o wyborze tematu pracy magisterskiej oraz o kierunku zainteresowań zawodowych po zakończeniu studiów.

Weryfikacja:

Promowanie indywidualnej aktywności na zajęciach, praca domowa, kolokwia.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_K01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_K, I.P7S\_KK

**Charakterystyka K02:**

Rozumie potrzebę ciągłego dokształcania się i podnoszenia kompetencji zawodowych i osobistych.

Weryfikacja:

Promowanie indywidualnej aktywności na zajęciach, praca domowa, kolokwia.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_K02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_K, I.P7S\_KK