**Nazwa przedmiotu:**

Programowanie metod numerycznych mechaniki konstrukcji

**Koordynator przedmiotu:**

Sławomir Czarnecki, Dr hab. inż.

**Status przedmiotu:**

Fakultatywny ograniczonego wyboru

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Budownictwo

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty do wyboru

**Kod przedmiotu:**

1080-BUTKO-MSP-0415

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2022/2023

**Liczba punktów ECTS:**

4

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

Razem 100 godz. = 4 ECTS: ćwiczenia w laboratorium komputerowym 30 godz., wykład 15 godz., studiowanie literatury i materiałów dydaktycznych pobranych ze strony www przedmiotu 30 godz., konsultacje 5 godz.

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

Razem 50 godz. = 2 ECTS: ćwiczenia w laboratorium komputerowym 30 godz., wykłady 15 godz., konsultacje 5 godz.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

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

Razem 30 godz. = 1,2 ECTS: ćwiczenia w laboratorium komputerowym 30 godz.

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

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

**Wymagania wstępne:**

Równania równowagi z zakresu mechaniki konstrukcji (w tym trójwymiarowych ciał stałych), zasada prac wirtualnych, związki geometryczne odkształcenie-przemieszczenie, związki konstytutywne naprężenie-odkształcenie oraz ogólna znajomość rachunku różniczkowo-całkowego i algebry liniowej. Obowiązkowe jest zaliczenie kursu mechaniki konstrukcji II. Zakłada się umiejętność implementowania algorytmów na średnim poziomie programowania strukturalnego oraz na podstawowym poziomie programowania obiektowo zorientowanego w języku C++ i/lub Python (podstawowa znajomość pojęcia klasy, dziedziczenia, definiowanie obiektów itp.).

**Limit liczby studentów:**

30

**Cel przedmiotu:**

Zrozumienie podstaw Metody Elementów Skończonych (MES) w zakresie wystarczającym do napisania własnego programu implementującego numeryczną analizę statyczną wybranych konstrukcji sprężystych.

**Treści kształcenia:**

Notacja i podstawowe definicje z mechaniki ciał stałych konieczne do prezentacji metody elementów skończonych. Krótkie wprowadzenie do geometrycznie nieliniowej teorii sprężystości ciał trójwymiarowych: wyprowadzenie kompletu związków geometrycznych, równań równowagi (w tym równania prac wirtualnych w konfiguracji odkształconej jak i nieodkształconej) oraz związków konstytutywnych dla sprężystych ciał izotropowych.
Wprowadzenie do klasycznej, przemieszczeniowej wersji metody elementów skończonych wraz z wyprowadzeniem kompletu równań tej metody w przypadku liniowo geometrycznego, jednorodnego, dwuwymiarowego (tarczy) oraz trójwymiarowego ciała izotropowego. Wyprowadzenie wzorów na składowe macierzy sztywności oraz wektora obciążenia. Pokaz możliwości automatycznego generowania kodu obliczania składowych macierzy sztywności i wektora obciążenia w języku C++ lub w Python w systemie obliczeń symbolicznych Maple (ewentualnie w systemie Mathematica).
Dokładne omówienie podstawowych i najczęściej stosowanych typów elementów skończonych. Krótkie przedstawienie metod numerycznych znajdowania rozwiązań układów równań liniowych.
Implementacją kodu MES w języku C++ lub Python w przypadku tarczy (z uwzględnieniem możliwości definiowania własnych klas). Porównanie wyników numerycznych analizy statycznej tarcz (przemieszczeń i naprężeń) otrzymanych na podstawie własnego programu oraz w systemie ABAQUS.
Krótkie omówienie metod numerycznych znajdowania trajektorii naprężeń głównych w 2D i 3D. Krótkie wprowadzenie do mieszanej (przemieszczeniowo-naprężeniowej) metody elementów skończonych (Mixed Finite Element Method: MFEM) na przykładzie struny i membrany. Wzmianka o implementacji metod numerycznych w optymalizacji wybranych konstrukcji sprężystych.

**Metody oceny:**

Zaliczenie przedmiotu na podstawie napisanego przez studenta (w czasie trwania zajęć w semestrze zimowym) programu w języku C++ lub Python implementującego metodę elementów skończonych w przypadku tarczy. Dopuszczalne jest zaliczenie przedmiotu na podstawie implementacji MES w C++ lub Python dla znacznie prostszych modeli konstrukcji, na przykład kratownic (zarówno geometrycznie liniowych jak i geometrycznie nieliniowych) lub belek.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

[1] Zienkiewicz O.C.: The Finite Element Method. McGraw-Hill, 1977;
[2] Bathe K.J.: Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall, 1982;
[3] Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda Elementów Skończonych w Mechanice Konstrukcji, OWPW, 2016;
[4] Ciarlet P. G.: The Finite Element Method for Elliptic Problems, SIAM, Philadelphia, 2002;
[5] Czarnecki S.: Finite Element Method. Part 1-8, wykłady, ćwiczenia-przykłady w formacie \*.pdf dostępne na stronie: MicrosoftTeams

**Witryna www przedmiotu:**

MicrosoftTeams

**Uwagi:**

Kurs PMNMK przygotowuje studentów (od strony teoretycznej i praktycznej) do samodzielnego implementowania kodu metody elementów skończonych w języku C++ lub Python.

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka W1:**

Zna wybrane algorytmy metod numerycznych (przed wszystkim MES) w stopniu umożliwiających ich implementację w wybranym języku programowania strukturalno-obiektowego.

Weryfikacja:

Praca projektowa (program w języku C++ lub Python) i jej obrona w czasie konsultacji.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K2\_W14\_TK

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

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka U1:**

Potrafi samodzielnie zaimplementować wybrane elementy metod numerycznych we własnych programach strukturalno-obiektowo zorientowanych, w których umie dodatkowo wykorzystywać opracowane przez inne osoby algorytmy, gotowe podprogramy, funkcje lub procedury.

Weryfikacja:

Rozmowy ze studentami w czasie trwania ćwiczeń projektowych, praca projektowa (program w języku C++ lub Python) i jej obrona w czasie konsultacji.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K2\_U17\_TK

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

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka K1:**

Rozumie potrzebę uczenia się przez całe życie, potrafi inspirować i organizować proces uczenia się innych osób.

Weryfikacja:

Rozmowy ze studentami w czasie zajęć i przerw.

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K2\_K02

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