**Nazwa przedmiotu:**

Metoda Elementów Skończonych (MES)

**Koordynator przedmiotu:**

dr inż. Jacek Stasierski

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Inżynieria Środowiska

**Grupa przedmiotów:**

Ogólne

**Kod przedmiotu:**

1110-ISIWO-MSP-1102

**Semestr nominalny:**

1 / rok ak. 2023/2024

**Liczba punktów ECTS:**

2

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

1. Godziny kontaktowe: obecność na wykładach - 15h, obecność na ćwiczeniach komputerowych - 15h
2. Zapoznanie się ze wskazaną literaturą - 7h
3. Przygotowanie zadań obliczeniowych - 15h
4. Przygotowanie do obrony zadań - 3h
5. Bieżące przygotowanie do ćwiczeń komp. - 4h
6. Przygotowanie do zaliczenia wykładów - 6h

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

1

**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: | 15h |
| Ćwiczenia: | 15h |
| Laboratorium: | 0h |
| Projekt: | 0h |
| Lekcje komputerowe: | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Przedmioty poprzedzające:
1. Matematyka 1÷3
2. Fizyka 1÷2
3. Mechanika płynów 1÷2
4. Wytrzymałość materiałów i mechanika budowli
5. Statyka budowli
6. Metody Numeryczne
7. Teoria sprężystości i plastyczności

**Limit liczby studentów:**

brak

**Cel przedmiotu:**

Zrozumienie i opanowanie podstawowych zasad numerycznego rozwiązywania równań różniczkowych, z zastosowaniem aproksymacji za pomocą elementów skończonych. Przedstawienie fundamentalnych sformułowań, opartych na metodzie reszt ważonych (Galerkina) i metodzie wariacyjnej (Eulera). Przygotowanie słuchaczy do samodzielnego planowania, realizowania i interpretacji wyników analiz numerycznych.

**Treści kształcenia:**

Wykład 1. Idea elementu skończonego, funkcje bazowe, budowa funkcji kształtu, elementy skończone jedno i wielowymiarowe, rząd aproksymacji, numeryczne całkowanie elementów. 2. Metoda najmniejszych kwadratów i metoda Galerkina, jednowymiarowy model przewodu wydatkującego po drodze – przykład obliczeniowy. 3. Sformułowanie wariacyjne: pojęcie funkcjonału, wariacja funkcjonału, wzór Eulera – interpretacja fizyczna. 4. Dwuwymiarowe zagadnienie filtracji ustalonej: sformułowanie wariacyjne problemu pola skalarnego, filtracja pod jazem - przykład obliczeniowy. 5. Płaskie stany odkształcenia i naprężenia (zagadnienie liniowo-sprężyste): sformułowanie wariacyjne problemu pola wektorowego, pola przemieszczeń i naprężeń pod stopą fundamentową - przykład obliczeniowy. 6. Warunki brzegowe (rodzaje), zasady idealizacji schematu obliczeniowego. 7. Rozwiązywanie dużych układów równań liniowych. Ćwiczenia komputerowe 1. Numeryczny model przewodu wydatkującego po drodze – przykład zagadnienia jednowymiarowego (budowa siatki elementów skończonych, wyznaczenie macierzy elementu, agregacja układu równań/macierzy przewodności, wprowadzenie warunków brzegowych 1-go i 2-go rodzaju, rozwiązanie układu równań – wyznaczenie wartości węzłowych, interpretacja wyników). 2. Model filtracji ustalonej pod jazem – przykład zagadnienia pola skalarnego dwuwymiarowego (budowa siatki elementów skończonych, wyznaczenie macierzy elementu, agregacja układu równań/macierzy przewodności, wprowadzenie warunków brzegowych, rozwiązanie układu równań – wyznaczenie wartości węzłowych, interpretacja wyników). 3. Model fundamentu na podłożu sprężystym – przykład zagadnienia pola wektorowego dwuwymiarowego (budowa siatki elementów skończonych, wyznaczenie macierzy elementu, agregacja układu równań/macierzy sztywności, wprowadzenie warunków brzegowych 1-go i 2-go rodzaju, rozwiązanie układu równań – wyznaczenie wartości węzłowych, interpretacja wyników).

**Metody oceny:**

1. Wykład: kolokwium zaliczeniowe.
2. Ćwiczenia komputerowe: przygotowanie arkuszy MS Excel wg standardowego wzoru, zawierających poprawne rozwiązania trzech zagadnień brzegowych określonych w tematach projektów, pozytywny wynik obrony pracy.
3. Ocena zintegrowana: 50% - ocena z egzaminu, 50% - ocena zaliczenia ćwiczeń komputerowych.

**Egzamin:**

nie

**Literatura:**

[1] Stasierski J., Wprowadzenie do metody elementów skończonych dla inżynierii środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014
[2] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z., The Finite Element Method, 6th Edition, McGraw-Hill 2005
[3] Zienkiewicz O.C., Metoda Elementów Skończonych, Arkady, Warszawa 1972
[4] Rakowski G., Kacprzyk Z., Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
[5] Hunter P., Pullan A., FEM/BEM notes, Department of Engineering Science The University of Auckland, New Zealand 2001
[6] Segerlind L. J., Applied Finite Element Analysis, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1985.
[7] Z. Waszczyszyn, Mechanika budowli. Ujęcie komputerowe, Arkady, 1995
[8] J. Szmelter, Metoda Elementów Skończonych w Mechanice, PWN, Warszawa 1980
[9] Gelfand I. M., Fomin S. W., Rachunek wariacyjny, PWN, Warszawa, 1975

**Witryna www przedmiotu:**

brak

**Uwagi:**

brak

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka W01:**

Posiada rozszerzoną wiedzę z zakresu matematyki i metod numerycznych pozwalającą na posługiwanie się metodą elementów skończonych w celu modelowania podstawowych zagadnień właściwych dla kierunku inżynieria środowiska w tym wykonywanie obliczeń przy projektowaniu złożonych konstrukcji inżynierskich (przepływy, filtracja przez ośrodki porowate, złożone stany odkształcenia)

Weryfikacja:

zaliczenie

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W01

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

**Charakterystyka W02:**

Posiada rozszerzoną, uporządkowaną wiedzę w zakresie języków programowania oraz wykorzystania metod numerycznych w procesie algorytmizacji rozwiązań zagadnień brzegowych z zastosowaniem metody elementów skończonych

Weryfikacja:

zaliczenie

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W03

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

**Charakterystyka W03:**

Posiada szczegółową, podbudowaną teoretycznie wiedzę z zakresu, modelowania podstawowych problemów inżynierii wodnej

Weryfikacja:

zaliczenie

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_W12

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

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka U01:**

Posiada umiejętność wykorzystania praw fizyki w analizie zjawisk fizycznych, potrafi wykonać obliczenia i podać przybliżone rozwiązania równań różniczkowych związanych z przepływem wód w przewodach zamkniętych i ośrodkach porowatych

Weryfikacja:

indywidualne zadania obliczeniowe

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_U01, IS\_U02

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

**Charakterystyka U02:**

Potrafi samodzielnie z wykorzystaniem narzędzi obliczeniowych, budować modele i prowadzić analizy ilościowe elementów konstrukcji i urządzeń wodnych

Weryfikacja:

indywidualne zadania obliczeniowe

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_U04

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

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka K01:**

Rozumie potrzebę ciągłego dokształcania się i podnoszenia kompetencji zawodowych i osobistych, stałego śledzenia i podążania za rozwojem nauki i techniki

Weryfikacja:

znajomość podstaw historii rozwoju matematyki stosowanej i obliczeniowej

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_K01

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

**Charakterystyka K02:**

Ma świadomość wagi pozatechnicznych aspektów i skutków działalności inżynierskiej, znaczenia idealizacji i uproszczeń stosowanych w modelach obliczeniowych, odpowiedzialności za podejmowane decyzje i realizowane zadania indywidualnie i zespołowo

Weryfikacja:

świadomość konsekwencji i ograniczeń wynikających z założeń przyjmowanych podczas budowy modeli obliczeniowych

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_K02

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

**Charakterystyka K03:**

Ma świadomość konieczności działania w sposób profesjonalny i przestrzegania zasad etyki zawodowej

Weryfikacja:

respektowanie podstawowych procedur postępowania i wszechstronna weryfikacja poprawności uzyskanych wyników

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** IS\_K03

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