



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Analiza numeryczna

### Przedmiot

Kierunek studiów

Budownictwo

Studia w zakresie (specjalność)

Konstrukcje Budowlane

Poziom studiów

drugiego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

1/2

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obligatoryjny

### Liczba godzin

Wykład

30

Laboratoria

30

Inne (np. online)

Ćwiczenia

Projekty/seminaria

### Liczba punktów

3

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dr hab. inż. Tomasz Jankowiak, prof. nadzw.

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dopuszczalna druga osoba

email: [tomasz.jankowiak@put.poznan.pl](mailto:tomasz.jankowiak@put.poznan.pl)

tel. (0-48) 61 6652814

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

### Wymagania wstępne

Wiedza: znajomość metod rozwiązywania równań różniczkowych, liniowych i nieliniowych układów równań, znajomość metod aproksymacji i interpolacji z uwzględnieniem metod numerycznych; znajomość metod nieliniowej mechaniki konstrukcji, metody elementów skończonych dla PSO, PSN, 3d, powłok z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznych, wyboczenia w przypadkach statycznych i dynamicznych; rozumienie w jaki sposób wybór zaawansowania i złożoności modelu komputerowego wpływa na uzyskane za jego pomocą wyniki; wiedza nabyta na przedmiotach Matematyka, Metody Obliczeniowe, KWP, Mechanika Budowli, Wytrzymałość Materiałów i Teoria Sprężystości na poziomie 6 KRK oraz na przedmiocie Metody Komputerowe.

Umiejętności:



Umiejętności nabyte podczas ćwiczeń i labolarii oraz projektów na przedmiotach Matematyka, Metody Obliczeniowe, KWP, Mechanika Budowli, Wytrzymałość Materiałów i Teoria Sprężystości na poziomie 6 KRK oraz na przedmiocie Metody Komputerowe; rozwiązywanie zagadnień statyki i dynamiki konstrukcji w zakresie liniowym i nieliniowym metodą elementów skończonych; umie stworzyć model konstrukcji o różnym poziomie zaawansowania i złożoności; umie posługiwać się wybranymi narzędziami komputerowymi do analizy i projektowania konstrukcji w tym programu Abaqus;

Kompetencje społeczne: Jest świadomy celowości ciągłego doksztalcania się w dyscyplinach związanych z kierunkiem studiów oraz dyscyplinach pokrewnych; jest dociekliwy i ciekawy wyzwania przed nim stawianych;

### **Cel przedmiotu**

Przekazanie studentom podstawowej wiedzy na temat modelowania materiałów budowlanych stosowaną w nowoczesnych konstrukcjach, które są stosowane w programach służących do analizy konstrukcji. Przedstawienie metod za pomocą, których łączy się elementy nowoczesnych konstrukcji budowlanych. Przedstawienie metod komputerowych stosowanych w zagadnieniach sprzężonych mechaniki ze szczególnym uwzględnieniem pola temperatur. Wykształcenie osobistej odpowiedzialności projektanta za wyniki analiz komputerowych - krytycznej oceny jakości tych wyników. Zdobywanie wiedzy i umiejętności związanych ze stosowaniem zaawansowanych metod numerycznych do rozwiązywania złożonych zadań inżynierskich wspomagających proces projektowania w budownictwie.

### **Przedmiotowe efekty uczenia się**

#### Wiedza

1. ma rozszerzoną i pogłębioną wiedzę w zakresie matematyki, fizyki i chemii, tworzącą podstawy teoretyczne przydatne do formułowania i rozwiązywania zadań związanych z budownictwem - [KB\_W01]
2. zna kluczowe zagadnienia mechaniki ośrodków ciągłych; zna zasady analizy zagadnień statyki, stateczności i dynamiki - [KB\_W03]
3. ma zaawansowaną wiedzę szczegółową na temat zagadnień wytrzymałości materiałów, modelowania materiałów i konstrukcji; ma wiedzę na temat podstaw teoretycznych Metody Elementów Skończonych oraz ogólnych zasad prowadzenia nieliniowych obliczeń konstrukcji inżynierskich - [KB\_W04]
4. zna w pogłębionym stopniu aktualnie stosowane materiały i wyroby budowlane, ich właściwości i metody badań, a także technologie ich wytwarzania i montażu [KB\_W05]
5. ma pogłębioną wiedzę na temat algorytmów działania wybranych programów komputerowych wspomagających analizę i projektowanie obiektów budowlanych oraz przydatnych do planowania i zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi, w tym technologii BIM (Building Information Modeling) - [KB\_W08]
6. ma zaawansowaną wiedzę szczegółową na temat podstaw teoretycznych analizy i optymalizacji konstrukcji oraz projektowania wybranych obiektów budowlanych - [KB\_W09]



### Umiejętności

1. potrafi wykonać klasyczną analizę statyczną, dynamiczną i analizę stateczności ustrojów prętowych (kratownic, ram i cięgien) statycznie wyznaczalnych i niewyznaczalnych oraz konstrukcji powierzchniowych (tarcz, płyt, membran i powłok)
2. korzysta z zaawansowanych narzędzi specjalistycznych w celu wyszukania użytecznych informacji, komunikacji oraz pozyskiwania oprogramowania wspomagającego pracę projektanta i organizatora procesów budowlanych
3. potrafi poprawnie zdefiniować komputerowy model obliczeniowy i przeprowadzić zaawansowaną analizę w zakresie liniowym złożonych obiektów budowlanych, ich elementów i połączeń oraz stosować podstawowe techniki obliczeń nieliniowych wraz z krytyczną oceną wyników analizy numerycznej
4. potrafi stosując właściwe metody i narzędzia zaplanować i przeprowadzić eksperymenty laboratoryjne prowadzące do oceny jakości stosowanych materiałów oraz oceny wytrzymałości elementów wybranych obiektów budowlanych
4. wykorzystując posiadaną wiedzę potrafi wybrać właściwe metody i narzędzia (analityczne, numeryczne, symulacyjne, eksperymentalne) do rozwiązywania problemów technicznych
5. umie, zgodnie z zasadami naukowymi, wykorzystując warsztat naukowy formułować i testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi, prowadzące do rozwiązania problemów inżynierskich, technologicznych i organizacyjnych pojawiających się w budownictwie; potrafi sporządzić opracowania przygotowujące go do podjęcia pracy naukowej

### Kompetencje społeczne

1. jest odpowiedzialny za rzetelność uzyskanych wyników swoich prac oraz prac podległego mu zespołu
2. jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo pracy własnej i zespołu
3. ma świadomość konieczności podnoszenia kompetencji zawodowych i osobistych, jest gotów do krytycznej oceny posiadanej wiedzy i odbieranych treści
4. ma świadomość potrzeby dbałości o zdrowie własne i sprawność fizyczną

### Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Zaliczenie z wykładu odbywa się na podstawie odpowiedzi pisemnej na 4 pytania (zadania, wyprowadzenie zależności lub w formie opisu procedury) przeprowadzonej w czasie ostatniego wykładu. Próg zaliczeniowy: 50% punktów.

W czasie ćwiczeń laboratoryjnych Studenci są oceniani na podstawie semestralnego projektu oraz kolokwium odbywającego się na ostatnich zajęciach w którym samodzielnie budują modele obliczeniowe oraz odczytują wymagane wyniki z wykorzystaniem programu Abaqus. Próg zaliczeniowy: 50% punktów.

### Treści programowe



Program wykładów:

Przedstawienie podstaw badań eksperymentalnych mających na celu określenie właściwości mechanicznych materiałów budowlanych (stal, inne metale, beton, szkło i inne) w złożonym stanie naprężenia, szerokim zakresie prędkości deformacji oraz temperatur.

Przedstawienie miar deformacji, prędkości deformacji oraz naprężenia stosowanych w nieliniowych związkach konstytutywnych wykorzystywanych do modelowania materiałów budowlanych.

Omówienie nieliniowych związków fizycznych, które stosuje się w modelowaniu materiałów z których składają się konstrukcje budowlane: plastyczność, plastyczność zależna od prędkości deformacji z uwzględnieniem efektów termicznych w 3D, uszkodzenie oraz zniszczenie materiałów, materiały hipersprężyste

Wprowadzenie do nieliniowej termomechaniki (liniowa termomechanika, ustalony i nieustalony przepływ ciepła).

Przegląd sposobów analizy procesów termomechanicznych za pomocą metody elementów skończonych: problemy sekwencyjne i sprzężone.

Modelowanie interakcji oraz połączeń elementów konstrukcji budowlanych (kontakt, śruby, spawy)

Przegląd pozostałych metod komputerowych w mechanice konstrukcji: SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), Multimaterial Finite Element Method, XFEM, MED (Metoda Elementów Dyskretnych) i inne.

Podsumowanie wykładów

Zaliczenie

Program laboratoriów:

Obliczenia dynamiczne wspornika obciążonego siłą skupioną na końcu: statyka, problem drgań własnych, dynamika liniowa: w dziedzinie czasu i częstotliwości, dynamika nieliniowa. Porównanie i interpretacja wyników. (Abaqus)

Obliczenia dynamiczne z zastosowaniem jawnej metody całkowania interakcji pocisku oraz dwóch prętów. Analiza zjawisk falowych, które zachodzą w układzie. Porównanie z rozwiązaniami analitycznymi (Abaqus, Scilab)

Analiza numeryczna dotycząca powierzchni plastyczności HMH w płaskim stanie naprężenia dla różnych proporcji naprężeń Sigma 11 i Sigma 22 dla zadanego materiału o właściwościach sprężysto-plastycznych. Porównanie wyników symulacji z rozwiązaniem analitycznym (Scilab, Abaqus)

Analiza rozciąganej próbki z materiałem sprężysto-plastycznym. Porównanie wyników: naprężeń, odkształceń globalnych i lokalnych z danymi wejściowymi. Analiza wyników i ich interpretacja (Abaqus)



Analiza rozciąganej próbki z materiałem hyper-sprężystym (krzywa z zadania 4) - obciążenie i odciążenie. Analiza wyników i ich interpretacja (Abaqus)

Obliczenia naprężeń oraz deformacji stalowej ramy podczas pożaru: analiza sekwencyjna i sprężona (termiczno-przemieszczeniowa). Analiza zastosowanych elementów skończonych, właściwości materiału zależnych od temperatury (model sprężysto-plastyczny), obciążenia termiczne oraz mechaniczne (Abaqus)

Projekt indywidualny realizowany w parach, dotyczący analizowanych zagadnień oraz jego prezentacja przed całą grupą. (Abaqus)

Konsultacje i realizacja indywidualnego zadania - ZALICZENIE.

### Metody dydaktyczne

1. Wykład: prezentacja multimedialna, ilustrowana przykładami podawanymi na tablicy.
2. Laboratoryjne: prezentacja multimedialna, ilustrowana przykładami podawanymi na tablicy oraz wykonanie zadań podanych przez prowadzącego.

### Literatura

#### Podstawowa

1. T.Łodygowski, W.Kąkol, Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich, dostępne na stronie internetowej Zakładu Komputerowego Wspomagania Projektowania
2. T. Belytschko, W. K. Liu, B. Moran, Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, John Wiley and Sons, 2000
3. G.Rakowski, Z. Kacprzyk, Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
4. T. Jankowiak, Kryteria zniszczenia betonu poddanego obciążeniom quasi-statycznym i dynamicznym, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2011, p. 138
5. T. Jankowiak, Wykorzystanie metod eksperymentalnych i symulacji komputerowych do określania właściwości materiałów przy dużej prędkości deformacji, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2016, p. 161
6. J. Ostrowska-Maciejewska, K. Kowalczyk-Gajewska, Rachunek tensorowy w mechanice ośrodków ciągłych, IPPT PAN, 2013

#### Uzupełniająca

1. O.C.Zienkiewicz, (R.Taylor), The finite element method, wyd. 1 - 6, 1972 - 2007
2. T.J.R.Hughes, The finite element method. Linear static and dynamics, Prentice-Hall Eds., 1987



**Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta**

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	80	3,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	60	2,0
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu, wykonanie projektu) <sup>1</sup>	20	1,0

<sup>1</sup> niepotrzebne skreślić lub dopisać inne czynności