



## KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Dynamika i wytrzymałość zmęczeniowa konstrukcji pojazdów

---

### Przedmiot

Kierunek studiów

Mechanika i budowa maszyn

Studia w zakresie (specjalność)

Poziom studiów

pierwszego stopnia

Forma studiów

stacjonarne

Rok/semestr

3/6

Profil studiów

ogólnoakademicki

Język oferowanego przedmiotu

polski

Wymagalność

obieralny

---

### Liczba godzin

Wykład

15

Ćwiczenia

0

Laboratoria

15

Projekty/seminaria

0

Inne (np. online)

0

### Liczba punktów ECTS

3

---

### Wykładowcy

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

dr inż. Mikołaj Spadło

e-mail: [mikolaj.spadlo@put.poznan.pl](mailto:mikolaj.spadlo@put.poznan.pl)

tel. 61-665 22 22

Wydział Inżynierii Mechanicznej

ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

Odpowiedzialny za przedmiot/wykładowca:

---

### Wymagania wstępne

WIEDZA: Zna podstawy konstrukcji maszyn, zna metody komputerowego wspomagania projektowania,



zna podstawy wytrzymałości materiałów i metaloznastwa, zna podstawy mechaniki konstrukcji (statyka, stateczność i dynamika).

**UMIEJĘTNOŚCI:** Potrafi posługiwać się oprogramowaniem typu CAD w zakresie generowania modeli wirtualnych części oraz złożeń. Potrafi budować proste modele obliczeniowe MES, w tym: potrafi uruchomić solver obliczeniowy i wygenerować wyniki w postaci map naprężeń.

**KOMPETENCJE SPOŁECZNE:** Zdolność do samodzielnego formułowania problemów analizy mechanicznej konstrukcji i rozstrzygania dylematów z tym związanych. Zdolność do poprawnego zaplanowania i terminowego wykonywania działań przy realizacji przedsięwzięć obliczeniowych. Ponadto rozumie potrzebę i zna możliwości ciągłego doskonalenia się.

### **Cel przedmiotu**

Przekazanie studentom wiedzy z zakresu wykorzystania nowoczesnych systemów CAE do symulowania odpowiedzi dynamicznej struktur nośnych maszyn i urządzeń poddawanych działaniu sił zmiennych w czasie, a także przetwarzania wyników symulacji dla celów szacowania trwałości zmęczeniowej.

### **Przedmiotowe efekty uczenia się**

#### Wiedza

1. Zna podstawy teoretyczne z zakresu metod obliczeniowych, stosowanych do oceny zachowań dynamicznych części maszyn i urządzeń.
2. Zna podstawy teoretyczne z zakresu metod analizy zmęczeniowej.

#### Umiejętności

1. Umie wykorzystać metodę elementów skończonych do projektowania wytrzymałości doraźnej i zmęczeniowej części maszyn i urządzeń.
2. Umie określić warunki brzegowe i początkowe oraz zdefiniować obciążenia, przy realizacji analiz z zastosowaniem komputerowych metod obliczeniowych.
3. Umie przeprowadzić inżynierską analizę i ocenę wyników uzyskanych z symulacji komputerowych.
4. Potrafi dobrać metody analizy zmęczeniowej i przeprowadzić wnioskowanie w kierunku ustalenia odporności struktur nośnych na działanie obciążeń zmiennych w czasie.

#### Kompetencje społeczne

1. Ma świadomość znaczenia stosowania metod komputerowych dla optymalizacji procesów projektowania maszyn i urządzeń.
2. Rozumie potrzebę ciągłej aktualizacji wiedzy z zakresu oprogramowania wspomagającego procesy projektowania.

### **Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny**

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Wykład: Egzamin pisemny weryfikujący znajomość metod analizy zmęczeniowej oraz procedur realizacji analiz dynamicznych przy użyciu MES.



Laboratorium: Bieżąca ocena postępów prac po każdej zakończonej jednostce na podstawie sprawozdań oraz zaliczenie obejmujące przeprowadzenie symulacji i obliczeń zmęczeniowych dla wybranego przypadku.

### Treści programowe

Wykład:

Wykład 1 - Rola analiz zmęczeniowych w kształtowaniu nośności konstrukcji

Omówienie roli i znaczenia analiz zmęczeniowych w ocenie wytrzymałości części maszyn i urządzeń. Także omówienie roli analiz dynamicznych w procesie generowania informacji niezbędnych do przeprowadzenia szacowania trwałości zmęczeniowej.

Wykład 2 - Analizy w zakresie dynamicznym - modelowanie obciążeń (wymuszenia kinematyczne i siłowe)

Omówienie podstawowych pojęć dotyczących analizy i systematyzowania obciążeń zmiennych w czasie oraz ich definiowania dla potrzeb wykonywania badań dynamicznych z użyciem MES. Zapoznanie z podstawowymi pojęciami m.in.: obciążenie zdeterminowane i stochastyczne, stacjonarność i charakterystyki widmowe.

Wykład 3 - Symulacyjne dynamiczne we współczesnym systemie komputerowym - cz. 1

Omówienie procedur realizacji komputerowej analizy dynamicznej, metodą "krok po kroku" na wybranym przykładzie w systemie NX Siemens. Zapoznanie z podstawowymi technikami definiowania warunków brzegowych, budowy modelu obliczeniowego i generowania wyników.

Wykład 4 - Metody definiowania tłumienia w symulacjach odpowiedzi dynamicznej

Omówienie problematyki definiowania tłumienia w symulacjach odpowiedzi dynamicznej. Zapoznanie z podstawowymi pojęciami, w tym z tłumieniem wiskotycznym, histerezowym oraz z metodą Rayleigha. Zapoznanie z analizą modalną, jako narzędziem do ustalania rzeczywistych współczynników tłumienia.

Wykład 5 - Symulacje dynamiczne we współczesnym systemie komputerowym - cz. 2

Omówienie sposobów przetwarzania wyników z analiz dynamicznych i ich roli w szacowaniu trwałości zmęczeniowej.

Wykład 6 - Analiza zmęczeniowa - podstawowe pojęcia

Omówienie zjawiska zmęczenia metali. Zapoznanie z podstawowymi hasłami i pojęciami, w tym m.in.: rodzaje naprężeń i odkształceń, zmęczeniowe charakterystyki materiałowe, elementy mechaniki pękania, źródła intensyfikacji procesu zużycia (karb, temperatura, częstotliwość obciążeń itp.).

Wykład 7 - Metody analizy zmęczeniowej



Omówienie nowoczesnych metod analizy zmęczeniowej, w tym: metody schematyzacji naprężeń losowych (metoda Rainflow), hipotez kumulacji uszkodzeń, metod ujmowania wpływu naprężeń średnich, liczby cykli i wielowymiarowości tensora naprężeń. Przeprowadzenie dyskusji nad źródłem i skalą błędów w procesie szacowania trwałości. Przedstawienie procedury ustalania trwałości zmęczeniowej.

Wykład 8 - Podsumowanie i zaliczenie

Laboratorium:

Laboratorium 1 - Interfejs oprogramowania NX Siemens

Zapoznanie z interfejsem oprogramowania NX Siemens i sposobami jego obsługi. Opracowanie prostych geometrii, nakładanie siatek elementów skończonych i realizacja wstępnych analiz w zakresie statycznym.

Laboratorium 2 - Budowa modelu wirtualnego

Opracowanie szczegółowego modelu CAD 3D części wskazanej przez prowadzącego. W zależności od modelu implementacja łączników śrubowych, połączeń sworznowych lub sprężen kontaktowych.

Laboratorium 3 - Przygotowanie obliczeń symulacyjnych i generowanie odpowiedzi dynamicznej struktury.

Nakładanie siatki elementów skończonych, zadawanie wymuszeń i realizacja analiz dynamicznych. Generowanie zmiennych w czasie charakterystyk, w tym: sił w węzłach, reakcji w podporach i naprężeń von Mises oraz naprężeń głównych. Wizualizacja zachowań struktury.

Laboratorium 4 - Przetwarzanie wyników symulacji dynamiki

Przetwarzanie przebiegów naprężeń z użyciem metody Rainflow oraz hipotezy kumulacji uszkodzeń Palmgrena-Minera. Generowanie podstawowej macierzy Rainflow i wyznaczenie współczynnika uszkodzeń z użyciem arkusza kalkulacyjnego.

Laboratorium 5 - Szacowanie trwałości zmęczeniowej wybranych węzłów konstrukcyjnych, cz. 1

Przeprowadzenie analiz zmęczeniowych z wykorzystaniem przetworzonych przebiegów naprężeń i podstawowych charakterystyk zmęczeniowych, takich jak wykres Wohlera. W tym dalsze przetwarzanie przebiegów z użyciem wybranej metody wpływu naprężeń średnich na wytrzymałość zmęczeniową oraz implementacja hipotezy kumulacji uszkodzeń Palmgrena-Minera.

Laboratorium 6 - Szacowanie trwałości zmęczeniowej wybranych węzłów konstrukcyjnych, cz. 2

Przeprowadzenie analiz zmęczeniowych z wykorzystaniem przetworzonych przebiegów naprężeń i dwuparametrycznych charakterystyk zmęczeniowych, takich jak płaszczyzna zmęczeniowa. Wyznaczenie źródeł rozbieżności i ilościowe oszacowanie błędów wnioskowania.

Laboratorium 7 - Upgrad'e konstrukcji



Wprowadzenie zmian konstrukcyjnych zwiększających nośność zmęczeniową i powtórna realizacja obliczeń. Ugruntowanie wiedzy i dyskusja nad wpływem zaimplementowanych rozwiązań konstrukcyjnych na trwałość.

Laboratorium 8 - zaliczenie

Samodzielna praca studenta obejmująca oszacowanie wytrzymałości zmęczeniowej dla wybranego przez prowadzącego fragmentu maszyny roboczej.

### **Metody dydaktyczne**

1. Wykład - metoda wykładu informacyjnego: wykład z prezentacją multimedialną
2. Laboratoria - metoda laboratoryjna (eksperymentu): własna praca projektowo - analityczna z zastosowaniem oprogramowania NX Siemens

### **Literatura**

Podstawowa

1. Reiner Anderl, Peter Binde Simulations with NX, Hanser Publications, 2018.
2. Łodygowski T., Kąkol W., Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich, Poznań, WPP 1994.
3. Kocańda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1997.
4. Bendat J.S., Piersol A.G.: Random Data: Analysis and Measurement Procedures, 4th Edition 2010.
5. User manual oprogramowania NX Siemens w wersji 2020 (dostępny po zainstalowaniu systemu).

Uzupełniająca

1. Kleiber M., Wprowadzenie do metody elementów skończonych, Poznań, WPP 1984.
2. Kleiber M., Numeryczna analiza statycznych i dynamicznych zagadnień stateczności konstrukcji, Poznań, WPP 1987.



**Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta**

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	75	3,0
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	32	1,5
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych, przygotowanie do kolokwium/egzaminu) <sup>1</sup>	43	1,5

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