

## KARTA PRZEDMIOTU

Nazwa w języku polskim: **Metoda elementów skończonych**

Nazwa w języku angielskim: **Finite Element Method**

Kierunek studiów (jeśli dotyczy): **Mechanika i Budowa Maszyn**

Stopień studiów i forma: **I stopień, stacjonarna**

Rodzaj przedmiotu: **obowiązkowy**

Kod przedmiotu: **MMM031030 (MMM031330)**

Grupa kursów: **nie**

|   | Wykład              | Ćwiczenia | Laboratorium | Projekt             | Seminarium |
|---|---------------------|-----------|--------------|---------------------|------------|
| Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)                                       | 15                  |           |              | 30                  |            |
| Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)                                   | 30                  |           |              | 30                  |            |
| Forma zaliczenia  | Zaliczenie na ocenę |           |              | Zaliczenie na ocenę |            |
| Grupa kursów  |                     |           |              |                     |            |
| Liczba punktów ECTS   | 1                   |           |              | 1                   |            |
| w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)                 |                     |           |              | 1                   |            |
| w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego kontaktu (BK) | 0.6                 |           |              | 0.7                 |            |

### WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

1. Podstawy wytrzymałości materiałów, analizy wytrzymałościowej układów prętowych, tarczowych i płytowych. Znajomość rodzajów materiałów inżynierskich.
2. Algebra macierzy.
3. Znajomość podstawowych narzędzi CAD. Umiejętność przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej metodami klasycznymi w zakresie sprężystym dla elementarnych elementów konstrukcyjnych.

### CELE PRZEDMIOTU

- C1. Nabycie wiedzy w zakresie podstaw teorii metody elementów skończonych.
- C2. Nabycie umiejętności zbudowania odpowiedniego modelu do obliczeń MES.
- C3. Umiejętność modelowania i prowadzenia symulacji komputerowych stanu wyężenia ustrojów nośnych z wykorzystaniem nowoczesnych metod obliczeniowych.

## PRZEDMIOTOWE EFEKTY KSZTAŁCENIA

### I. Z zakresu wiedzy:

PEK\_W01 - Zna podstawy teorii metody elementów skończonych

PEK\_W02 - Zna zasady budowy modeli numerycznych (geometrycznych i dyskretnych) elementarnych konstrukcji do obliczeń MES

PEK\_W03 - Posiada podstawową wiedzę o możliwościach zastosowania metody elementów skończonych w obliczeniach inżynierskich

### II. Z zakresu umiejętności:

PEK\_U01 - Posiada umiejętność posługiwania się systemami komputerowymi do prowadzenia obliczeń numerycznych z wykorzystaniem MES.

PEK\_U02 - Potrafi zastosować odpowiedni rodzaj modelu geometrycznego i dyskretnego do rozwiązania określonego zadania teorii sprężystości

PEK\_U03 - Potrafi przeprowadzić obliczenia MES i wstępną optymalizację konstrukcji nośnej w zakresie statyki, drgań własnych i stateczności sprężystej

### III. Z zakresu kompetencji społecznych:

PEK\_K01 - Nabywa umiejętności ponoszenia odpowiedzialności za wykonaną pracę

PEK\_K02 - Myśleć i działać w sposób kreatywny

PEK\_K03 - Nabywa umiejętność pracy zespołowej

## TREŚCI PROGRAMOWE

| Forma zajęć – Wykład  |  | Liczba godzin |
|-----------------------|--|---------------|
| Wy1                   | Rozwój metod numerycznych w teorii równań konstytutywnych  | 1             |
| Wy2                   | Wprowadzenie i założenia metody elementów skończonych  | 1             |
| Wy3                   | Funkcje aproksymacyjne, rodzaje elementów skończonych (klasyfikacje), warunki zbieżności   | 2             |
| Wy4                   | Budowa macierzy sztywności podstawowych elementów skończonych (tarczowych, płytowych, belkowych i objętościowych)                          | 2             |
| Wy5                   | Charakterystyka podstawowych elementów skończonych 1D, 2D i 3D przedstawienie podstawowych zależności                                      | 4             |
| Wy6                   | Budowa modeli materiałów stosowanych w modelach dyskretnych  | 1             |
| Wy7                   | Metodyka budowania modeli do obliczeń MES  | 1             |
| Wy8                   | Analizy numeryczne przeprowadzane MES w zakresie statyki, dynamiki i obciążeń cieplnych  | 3             |
|                       |  | Suma: 15      |
| Forma zajęć – Projekt |  | Liczba godzin |
| Proj1                 | Omówienie programu zajęć laboratoryjnych. Wprowadzenie do środowiska programu obliczeniowego.  | 2             |
| Proj2                 | Zasady budowania modelu fizycznego, idealizacja układu, uproszczenia stosowane w modelach fizycznych                                       | 3             |
| Proj3                 | Dyskretyzacja modeli bryłowych, analiza czynników (rodzaj elementu skończonego, gęstość dyskretyzacji) wpływających na dokładność obliczeń | 4             |
| Proj4                 | Projektowanie i modelowanie cienkościennych konstrukcji belkowych i powłokowych  | 4             |

|        |  |          |
|--------|--|----------|
| Proj5  | Warunki brzegowe: zasady dobierania stopni swobody i różne sposoby modelowania obciążeń.   | 2        |
| Proj6  | Zasady budowania modelu ustroju nośnego o złożonej strukturze (ramowo-powłokowe, powłokowo-bryłowe)                                      | 4        |
| Proj7  | Zasady modelowania i projektowania węzłów konstrukcyjnych oraz sposoby przenoszenia obciążeń zewnętrznych.                               | 3        |
| Proj8  | Metody analizy wyników, kryteria wyłączenia  | 2        |
| Proj9  | Analizy drgań własnych, stateczności sprężystej (wyboczenia) konstrukcji cienkościennych oraz analiza termiczna elementu konstrukcyjnego | 3        |
| Proj10 | Samodzielne modelowanie wybranego węzła lub konstrukcji nośnej   | 3        |
|        |  | Suma: 30 |

#### STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. praca własna - przygotowanie do projektu  
N2. ćwiczenia problemowe  
N3. prezentacja projektu  
N4. samodzielne studia i przygotowanie do kolokwium

#### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW KSZTAŁCENIA (Wykład)

| Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru)) | Numer efektu kształcenia  | Sposób oceny osiągnięcia efektu kształcenia |
|--|---------------------------|---|
| F1   | PEK_W01, PEK_W02, PEK_W03 | kolokwium                                   |
| P = F1   |                           |   |

#### OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW KSZTAŁCENIA (Projekt)

| Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru)) | Numer efektu kształcenia                     | Sposób oceny osiągnięcia efektu kształcenia |
|--|--|---|
| F1   | PEK_U01, PEK_U02, PEK_U03<br>PEK_K01-PEK_K03 | ocena części obliczeniowej projektu         |
| P = F1   |  |   |

## LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA

### LITERATURA PODSTAWOWA

Rusiński E., Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M, WKiŁ Warszawa 1994  
 Rusinski E., Czmochoński J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000  
 Zienkiewicz O.C.: Metoda elementów skończonych, Arkady 1972

### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

Rusiński E.: Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych. Oficyna Wyd. PWR Wrocław 2002  
 Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005  
 Szmelter J., Dacko M., Dobrociński S., Wieczorek M.: Metoda elementów skończonych w statyce konstrukcji, Arkady 1979  
 Gawroński W., Kruszewski J., Ostachowicz W., Tarnowski K., Wittbrodt E.: Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji, Arkady, Warszawa 1984  
 Waszczyszyn Z., Cichoń Cz., Radwańska M.: Metoda elementów skończonych w stateczności konstrukcji, Arkady, Warszawa 1990  
 Kleiber M.: Wprowadzenie do metody elementów skończonych, PWN, Warszawa-Poznań 1989

## MACIERZ POWIĄZANIA EFEKTÓW KSZTAŁCENIA DLA PRZEDMIOTU **Metoda elementów skończonych** Z EFEKTAMI KSZTAŁCENIA NA KIERUNKU **Mechanika i Budowa Maszyn**

| Przedmiotowy efekt kształcenia | Odniesienie przedmiotowego efektu do efektów kształcenia zdefiniowanych dla kierunku studiów i specjalności | Cele przedmiotu | Treści programowe | Numer narzędzia dydaktycznego |
|--------------------------------|---|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| PEK_W01                        | K1MBM_W19   | C1              | Wy1 ÷ Wy5         | N4                            |
| PEK_W02                        | K1MBM_W19   | C2              | Wy6 ÷ Wy7         | N2, N4                        |
| PEK_W03                        | K1MBM_W18, K1MBM_W19  | C3              | Wy8               | N4                            |
| PEK_U01,<br>PEK_K01            | K1MBM_K02, K1MBM_U22  | C1              | Pr1 ÷ Pr2         | N2                            |
| PEK_U02,<br>PEK_K02            | K1MBM_K02, K1MBM_U22  | C2              | Pr3 ÷ Pr7         | N1, N2                        |
| PEK_U03,<br>PEK_K03            | K1MBM_K02, K1MBM_U18, K1MBM_U19   | C3              | Pr8 ÷ Pr10        | N1, N3                        |

## OPIEKUN PRZEDMIOTU

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński tel.: 71 320-42-85 email: Eugeniusz.Rusinski@pwr.edu.pl

## SUBJECT CARD

Name in Polish: **Metoda elementów skończonych**

Name in English: **Finite Element Method**

Main field of study (if applicable): **Mechanical Engineering and Machine Building**

Level and form of studies: **I level, full-time**

Kind of subject: **obligatory**

Subject code: **MMM031030 (MMM031330)**

Group of courses: **no**

|   | Lecture              | Classes | Laboratory | Project              | Seminar |
|---|----------------------|---------|------------|----------------------|---------|
| Number of hours of organized classes in University (ZZU)                        | 15                   |         |            | 30                   |         |
| Number of hours of total student workload (CNPS)                                | 30                   |         |            | 30                   |         |
| Form of crediting   | Crediting with grade |         |            | Crediting with grade |         |
| Group of courses  |                      |         |            |                      |         |
| Number of ECTS points   | 1                    |         |            | 1                    |         |
| including number of ECTS points for practical (P) classes                       |                      |         |            | 1                    |         |
| including number of ECTS points for direct teacher-student contact (BK) classes | 0.6                  |         |            | 0.7                  |         |

### PREREQUISITES RELATING TO KNOWLEDGE, SKILLS AND OTHER COMPETENCES

1. Fundamentals of strength materials. Analysis of beam, plate and shell structures. Fundamentals of engineering materials.
2. Matrix algebra
3. Skills in basic CAD tools. Skills for solving basic engineering elements with use of classical elastic theory.

### SUBJECT OBJECTIVES

- C1. Learn the basics of the finite element method theory
- C2. Learn how to prepare proper model for FEM calculations
- C3. Learn to model and perform simulations of the effort of the load carrying structures with use of numerical methods

## SUBJECT EDUCATIONAL EFFECTS

### I. Relating to knowledge:

PEK\_W01 - Have knowledge in the fundamentals of finite element method

PEK\_W02 - Have the knowledge to prepare proper geometrical and discrete model to solve FEM task.

PEK\_W03 - Is able to use FEM in practical application of calculation of engineering structures. Can formulate and solve problems of the ultimate strength of load carrying structures.

### II. Relating to skills:

PEK\_U01 - Skills in software for the FEA

PEK\_U02 - Have the knowledge to prepare proper geometrical and discrete model to solve the task in the range of elastic deformation.

PEK\_U03 - Is able to perform FEA in the field of liner and nonlinear statics, dynamics, vibrations and linear buckling.

### III. Relating to social competences:

PEK\_K01 - Learn the responsibility for his work.

PEK\_K02 - Creative thinking and acting

PEK\_K03 - Learn team work due to the necessity of information flow during project realisation

## PROGRAMME CONTENT

| Form of classes – Lecture |  | Number of hours |
|---------------------------|--|-----------------|
| Lec1                      | Development of the numerical methods in the theory of constitutive equations.  | 1               |
| Lec2                      | Introduction and basic assumptions of FEM  | 1               |
| Lec3                      | Approximation functions, classifications of finite elements, convergence conditions  | 2               |
| Lec4                      | Construction of stiffness matrix of the fundamental finite elements (plate, shell, beam, solid)                                | 2               |
| Lec5                      | Characteristics of the fundamental finite elements 1D, 2D, 3D and presentation of the basic relations                          | 4               |
| Lec6                      | Definition of the material model used in simulations of static, dynamic problems with use of FEM.                              | 1               |
| Lec7                      | Methodics of discrete model creation   | 1               |
| Lec8                      | Numerical simulations with use of FEM in statics, dynamics and thermal problems  | 3               |
|                           |  | Total hours: 15 |
| Form of classes – Project |  | Number of hours |
| Proj1                     | Introduction. Presentation of the software   | 2               |
| Proj2                     | Discrete model creation principles. Assumptions and simplifications of the model   | 3               |
| Proj3                     | Solid models discretization. Analysis of the parameters ( type of the element, mesh density) and its influence on the results. | 4               |
| Proj4                     | Designing and modeling of the thin walled beam and shell structures  | 4               |
| Proj5                     | Boundary conditions: DOF and load application  | 2               |

|        |   |                 |
|--------|---|-----------------|
| Proj6  | Principles of the creation of the complex models of load carrying structures. | 4               |
| Proj7  | Principles of design and modeling of structural nodes and the load transfer   | 3               |
| Proj8  | Results analysis. Effort criterion.   | 2               |
| Proj9  | Modal analysis, buckling and thermal load                                     | 3               |
| Proj10 | Individual modeling of selected structural node                               | 3               |
|        |   | Total hours: 30 |

#### TEACHING TOOLS USED

- N1. self study - preparation for project class
- N2. problem exercises
- N3. project presentation
- N4. individual work and preparation to the exam

#### EVALUATION OF SUBJECT EDUCATIONAL EFFECTS ACHIEVEMENT (Lecture)

| Evaluation (F – forming (during semester), P – concluding (at semester end)) | Educational effect number | Way of evaluating educational effect achievement |
|--|---------------------------|--|
| F1   | PEK_W01, PEK_W02, PEK_W03 | exam   |
| P = F1   |                           |  |

#### EVALUATION OF SUBJECT EDUCATIONAL EFFECTS ACHIEVEMENT (Project)

| Evaluation (F – forming (during semester), P – concluding (at semester end)) | Educational effect number                    | Way of evaluating educational effect achievement |
|--|--|--|
| F1   | PEK_U01, PEK_U02, PEK_U03<br>PEK_K01-PEK_K03 | mark on the basis of the simulation project part |
| P = F1   |  |  |

#### PRIMARY AND SECONDARY LITERATURE

#### PRIMARY LITERATURE

Rusiński E., Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M, WKiŁ Warszawa 1994

Rusinski E., Czmochoński J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000

Zienkiewicz O.C.: Metoda elementów skończonych, Arkady 1972

#### SECONDARY LITERATURE

Rusiński E.: Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych. Oficyna Wyd. PWr Wrocław 2002

Rakowski G., Kacprzyk Z.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005

Szmelter J., Dacko M., Dobrociński S., Wieczorek M.: Metoda elementów skończonych w statyce konstrukcji, Arkady 1979

Gawroński W., Kruszewski J., Ostachowicz W., Tarnowski K., Wittbrodt E.: Metoda elementów skończonych w dynamice konstrukcji, Arkady, Warszawa 1984

Waszczyszyn Z., Cichoń Cz., Radwańska M.: Metoda elementów skończonych w stateczności konstrukcji, Arkady, Warszawa 1990

Kleiber M.: Wprowadzenie do metody elementów skończonych, PWN, Warszawa-Poznań 1989

#### MATRIX OF CORRELATION BETWEEN EDUCATIONAL EFFECTS FOR SUBJECT **Finite Element Method** AND EDUCATIONAL EFFECTS FOR MAIN FIELD OF STUDY **Mechanical Engineering and Machine Building**

| Subject educational effect | Correlation between subject educational effect and educational effects defined for main field of study and specialization (if applicable) | Subject objectives | Programme content | Teaching tool number |
|----------------------------|---|--------------------|-------------------|----------------------|
| PEK_W01                    | K1MBM_W19   | C1                 | Lec 1-15          | N4                   |
| PEK_W02                    | K1MBM_W19   | C2                 | Lec 6, 7          | N2, N4               |
| PEK_W03                    | K1MBM_W18, K1MBM_W19  | C3                 | Lec 8             | N4                   |
| PEK_U01, PEK_K01           | K1MBM_K02, K1MBM_U22  | C1                 | Pr 1,2            | N2                   |
| PEK_U02, PEK_K02           | K1MBM_K02, K1MBM_U22  | C2                 | Pr 3-7            | N1, N2               |
| PEK_U03, PEK_K03           | K1MBM_K02, K1MBM_U18, K1MBM_U19   | C3                 | Pr 8-10           | N1, N3               |

#### SUBJECT SUPERVISOR

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński tel.: 71 320-42-85 email: Eugeniusz.Rusinski@pwr.edu.pl