

**Nazwa w języku polskim: Badania wytrzymałościowe implantów i tkanek metodą elementów skończonych (MES)**

**Nazwa w jęz. angielskim: Strength analysis of implants and tissues with finite element method (FEM)**

**Dane dotyczące zajęć:  
Information on course:**

**Jednostka oferująca:** Wydział Mechaniczny Technologiczny // prowadzący dr hab. inż. Jarosław Żmudzki, prof. PŚ.

**Course offered by:** Mechanical Technological Faculty // PhD, Eng. Jarosław Żmudzki, associate prof.

<b>Język wykładowy:</b>
angielski
<b>Language:</b>
English
<b>Strona WWW: Course homepage:</b>
<b>Skrócony opis:</b>
Doświadczenie umiejętności projektowania CAD i oceny wytrzymałościowej materiałów implantów i tkanek z wykorzystaniem techniki CAD i badań symulacyjnych wytrzymałości materiałów metodą elementów skończonych (MES). Praktyczne zastosowanie wiedzy z zakresu wytrzymałości materiałów do symulacyjnych badań wytrzymałościowych konstrukcji złożonych materiałowo.
<b>Short description:</b>
Improving skills in the CAD design skills and assess the strength of implant and tissue materials using finite element simulation (FEM). Practical application of knowledge in the field of strength of materials to simulation testing of multi-material complex structures.
<b>Opis:</b>
<b>Treści programowe</b> <b>Wykład:</b> 1. Wprowadzenie: Modelowanie i symulacja komputerowa metodą elementów skończonych (CAD/MES) wpływu konstrukcji implantów i implantoprotez stomatologicznych na własności użytkowe. Zastosowanie w praktyce kryteriów stabilności konstrukcji i wytrzymałości materiałów (hipotez wyężeniowych) w ocenie wyników badań symulacyjnych stanu naprężenia i odkształcenia. Kryteria nośności implantów, protez i otaczających tkanek w badaniach symulacyjnych weryfikacji przedklinicznej. Kryteria oceny badań symulacyjnych materiałów strukturalnie niejednorodnych: warstwowych, gradientowych, porowatych. Odporność materiałów na naprężenia stykowe i zużycie trybologiczne. Symulacja zjawisk tarcia i poślizgu pomiędzy materiałami w badaniu zużycia materiałów i tkanek, w tym urazów ciernych tkanek miękkich. Zastosowanie uproszczeń w modelowaniu warunków podparcia i obciążenia oraz ich wpływ na wyniki badań symulacyjnych. Zasady podziału na elementy skończone wokół karbów geometrycznych i materiałowych i wpływ na zbieżność pola naprężenia. 2. Projektowanie CAD i wykonanie symulacji numerycznej MES elementów złożonych materiałowo i strukturalnie niejednorodnych., obciążanie i podparcie modeli, kontrola podziału na elementy skończone, zgodność węzłów siatki pomiędzy obiektami, zagęszczenia siatki w koncentracjach, kontrola i poprawa parametrów jakości siatki elementów skończonych. Wizualizacje wyników rozkładu naprężeń zredukowanych i głównych, wartości węzłowe i elementowe, ustawienia zakresu skali i wartości progowych, wyświetlanie współczynnika bezpieczeństwa. 3. Badania symulacyjne wpływu podziału na elementy skończone na wartości naprężeń w karbach geometrycznych i materiałowych oraz sposób interpretacji wartości kryterialnych. Badanie wpływu podziału na elementy skończone na przebieg i dokładność optymalizacji opartej na naprężeniu dopuszczalnym w przypadkach koncentracji naprężenia wokół krzywizny lub na krawędzi/granicy pomiędzy materiałami. 4. Wykonanie badania symulacyjnego przenoszenia obciążeń zgryzowych przez implant dentystyczny do otaczającej tkanki kostnej żuchwy w przypadku litej jednorodnej konstrukcji tytanowej lub zastosowania

odsztyniających tulei z porowatego tantalu.

5. Badanie wpływu kształtu gwintu implantu na stan naprężenia w otaczającej tkance kostnej z zastosowaniem techniki submodelingu (lokalnego modelu o zwiększonej dokładności obliczanego przy minimalizacji kosztów analizy).
6. Badanie nośności na złamanie personalnego modelu wyrostka kłykciowego żuchwy, import modelu personalnego, wstępna analiza lokalizacji obszaru krytycznego, przebudowa powierzchni modelu CAD w celu kontroli podziału na elementy skończone w obszarze krytycznym, poszukiwanie zbieżności naprężenia i wyznaczenie siły złamania.
7. Badanie nośności dla zespolenia płytkowego personalnego modelu wyrostka kłykciowego żuchwy, import modelu personalnego, projektowanie CAD płytek zespołów kostnych, badanie stabilizacji zespolenia w kryterium przemieszczeń odłamów kostnych.
8. Badanie stanu naprężenia w tkankach miękkich zależnie od podatności projektowanych miękkich warstw stosowanych w protezach stomatologicznych, lejach protez kończyn, siedziskach i materacach przeciwoślizgowych.

Wykład:

- stacjonarne: 30 h
- niestacjonarne: 18 h

Liczba punktów ECTS: 2

#### Description:

##### Lecture:

1. Introduction:  
Computer modeling and simulation using the finite element method (CAD/FEM) of the impact of dental implant and implant-prosthetic design on functional properties. Using stress hypotheses in assessing the results of stress and strain simulation studies. Using criteria for structural stability, strength of materials, and surrounding tissues in simulation studies of the load-bearing capacity of living systems. Using simplifications in modeling support and loading conditions and their impact on simulation results. Principles of division into finite elements around geometric and material notches and the impact on stress field convergence. Criteria for assessing simulation studies of structurally heterogeneous materials: layered, gradient, and porous. Materials' bearing under contact stress and tribological wear. Simulation of friction and slip phenomena between materials in the study of wear and frictional tissue injuries.
2. CAD design and numerical FEM simulation of complex, materially and structurally heterogeneous elements, model loading and support, finite element partitioning control, mesh node consistency between objects, mesh refinement at concentrations, and control and improvement of finite element mesh quality parameters. Visualization of reduced and principal stress distribution results, nodal and element values, scale range and threshold settings, and safety factor display.
3. Simulation studies of the effect of finite element partitioning on stress values in geometric and material notches, as well as the interpretation of criterion values. Investigation of the effect of finite element partitioning on the performance and accuracy of optimization based on allowable stress in cases of stress concentration around a curvature or at an edge/boundary between materials. 3h
4. Simulation study of the transfer of occlusal loads from a dental implant to the surrounding mandibular bone tissue in the case of a solid, homogeneous titanium structure or the use of porous tantalum sleeves.
5. Investigation of the effect of implant thread shape on the stress state in the surrounding bone tissue using submodeling (a local model with increased accuracy calculated while minimizing analysis costs).
6. Investigation of the fracture load capacity of a personalized model of the mandibular condyle, importing the personalized model, preliminary analysis of the critical region location, reconstruction of the CAD model surface to control the division into finite elements in the critical region, searching for stress convergence, and determining the fracture force.
7. Testing the load-bearing capacity of a personalized mandibular condylar plate fixation model, importing the personalized model, CAD design of bone fixation plates, and testing the stabilization of the fixation based on bone fragment displacement.
8. Testing the stress state in soft tissues depending on the compliance of designed soft layers used in dental prostheses, prosthetic limb sockets, anti-decubitus seats and mattresses.

##### Lecture:

- full-time studies: 30 h
- part-time studies: 18 h

Number of ECTS credits: 2

## Literatura:

1. Oficjalna pomoc: SOLIDWORKS 2025 Help – Parts Modeling & Surfaces (online): [https://help.solidworks.com/2025/polish/SolidWorks/sldworks/c\\_parts\\_modeling\\_Large\\_Scale\\_Design.htm](https://help.solidworks.com/2025/polish/SolidWorks/sldworks/c_parts_modeling_Large_Scale_Design.htm).
2. Modelowanie elementów maszyn i urządzeń w systemie CAD 3D SolidWorks. Edward Lisowski. Politech. Krakowska 2008.
3. Kęska P. (zespół solid-podreczniki.pl): SOLIDWORKS 2025. Modelowanie części | Złożenia | Rysunki. CAD-vantage / solid-podreczniki.pl, 2025 (760 stron, aktualne techniki modelowania bryłowego i powierzchniowego, przykłady praktyczne).
4. Klimczak, J. (2015). Podstawy modelowania geometrycznego i grafiki inżynierskiej w systemie SolidWorks. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. (Rozszerzenie wiedzy o modelowaniu w SolidWorks).
5. Domański J.: SolidWorks 2022. Projektowanie maszyn i konstrukcji. Helion, Gliwice 2022 (praktyczne przykłady modelowania elementów maszyn, bryły + hybrydowe techniki).
6. Łabudek R.: Kompendium SolidWorks. Helion, Gliwice (wydanie aktualizowane ~2023–2024, kompleksowe od podstaw do zaawansowanego modelowania części i powierzchni).
7. Dassault Systems SolidWorks Corporation: SOLIDWORKS 2015. Advanced Part Modelling, USA, 2015.
8. Dassault Systems SolidWorks Corporation: SOLIDWORKS Education Edition 2016-2017. Fundamentals of 3D Design and Simulation, USA, 2017.
9. Dassault Systems SolidWorks Corporation: SOLIDWORKS Web Help 2020.
10. Lombard M.: SolidWorks 2011 Parts Bible, John Wiley & Sons, 2011.
11. Tran P.: Certified SolidWorks Professional Advanced Preparation Material, SDC Publications; 2017.
12. SOLIDWORKS TV by SOLIDEXPERT (kanał oficjalny/reseller w Polsce) – Zaawansowane modelowanie części, powierzchni: <https://www.youtube.com/c/SOLIDWORKSTVbySOLIDEXPERT/playlists>
13. Premium Solutions Polska – kursy zaawansowane, modelowanie powierzchniowe i bryłowe: <https://www.youtube.com/c/PremiumSolutionsPolska>
14. GoEngineer – serie Advanced Part Modeling i Surface Modeling: <https://www.youtube.com/c/GoEngineer>
15. [solid-blog.pl / solid-podreczniki.pl](https://www.solid-blog.pl/) – przykłady krok po kroku do najnowszych podręczników 2025.
16. Lisowski E., Czyżycki W. Modelowanie elementów maszyn i urządzeń w systemie CAD 3D SolidWorks z aplikacjami COSMOSWorks i FloWorks: podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych. Wydaw. Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, 2008.
17. Zagrajek T., Krześciński G., Marek P.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Ćwiczenia z zastosowaniem systemu ANSYS. Wydawnictwo: OWPW, 2005
18. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, i in. Mechanics of materials, 6th ed., McGraw-Hill 2012, New York
19. 5. Żmudzki J., Chladek G., Kasperski J.: The influence of lower complete denture destabilization under oblique mastication forces on the level of denture foundation soft tissue compression. Acta of Bioengineering and Biomechanics vol.14 No 3, 2012, 67- 73
20. Żmudzki J, Chladek G, Malara P. Use of finite element analysis for the assessment of biomechanical factors related to pain sensation beneath complete dentures during mastication. The Journal of Prosthetic Dentistry 2018;100(6) 934-941 (IF 2.095), MNiSW 35 pkt Żmudzki J, Chladek G, Krawczyk C. Relevance of Tongue Force on Mandibular Denture Stabilization during Mastication. JProsthodont. 2017 Dec 29. doi: 10.1111/jopr.12719 (IF 1.452)
21. Jarosław Żmudzki, Grzegorz Bobik, Grzegorz Chladek, Piotr Malara, Marcin Adamiak, Mariusz Król, Kamil Kwieciński, Paweł Popielski, Ewa Duraj, Tomasz Tański Comparison of selective laser centrifugal casting and sintering technologies in manufacturing of personalized jawbones fixation plates. Int. J. Mod. Manuf. Technol. 2020 vol. 12 no. 2, s. 131-136
22. Jarosław Żmudzki, Grzegorz Chladek, Karolina Panek, P. Lipiński. Finite element analysis of adolescent mandible fracture occurring during accidents. Arch. Metall. Mater. 2020 vol. 65 iss. 1, s. 65-72. Grzegorz Bobik, Jarosław Żmudzki, M. Bąk, I. Niedzielska, Marcin Adamiak, P. Popielski. Personalized implants produced with SLM process. Int. J. Mod. Manuf. Technol. 2020 vol. 12 no. 3, s. 17-22
23. Żmudzki, J., & Zorychta-Tomsia, M. (2025). The influence of temporo-mandibular joint support conditions and osseointegration on mastication load transfer in a mandibular prosthesis. *Applied Sciences-Basel*, 15, Article 8. <https://doi.org/10.3390/app15084281>
24. Młynarek-Żak, K., & Żmudzki, J. (2024). The effect of porous compliance bushings in a dental implant on the distribution of occlusal loads. *Scientific Reports*, 14, Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51429-5>
25. K. Młynarek, Jarosław Żmudzki. Distribution of forces on supporting teeth in the midpalatal expander during "Hyrax" screw pre-load. J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 2019 vol. 93 iss. 1/2, s. 26-31
26. Madoune, Y., Żmudzki, J. & Lee, H. Finite element analysis of stress in removable lower complete denture under vertical and oblique occlusal forces. Sci Rep (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37756-9>
27. Żmudzki J.: Uwarunkowania materiałowe wydolności czynnościowej całkowitych osiadających protez zębowych. Open Access Library, vol. 4/10, 2012:176s. International OCSCO World Press, Gliwice rozprawa habilitacyjna.

## Bibliography:

28. Oficjalna pomoc: SOLIDWORKS 2025 Help – Parts Modeling & Surfaces (online): [https://help.solidworks.com/2025/polish/SolidWorks/sldworks/c\\_parts\\_modeling\\_Large\\_Scale\\_Design.htm](https://help.solidworks.com/2025/polish/SolidWorks/sldworks/c_parts_modeling_Large_Scale_Design.htm).
29. Modelowanie elementów maszyn i urządzeń w systemie CAD 3D SolidWorks. Edward Lisowski. Politech. Krakowska 2008.
30. Kęska P. (zespół solid-podreczniki.pl): SOLIDWORKS 2025. Modelowanie części | Złożenia | Rysunki. CAD-vantage / solid-podreczniki.pl, 2025 (760 stron, aktualne techniki modelowania bryłowego i powierzchniowego, przykłady praktyczne).
31. Klimczak, J. (2015). Podstawy modelowania geometrycznego i grafiki inżynierskiej w systemie SolidWorks. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. (Rozszerzenie wiedzy o modelowaniu w SolidWorks).
32. Domański J.: SolidWorks 2022. Projektowanie maszyn i konstrukcji. Helion, Gliwice 2022 (praktyczne przykłady modelowania elementów maszyn, bryły + hybrydowe techniki).
33. Łabudek R.: Kompendium SolidWorks. Helion, Gliwice (wydanie aktualizowane ~2023–2024, kompleksowe od podstaw do zaawansowanego modelowania części i powierzchni).
34. Dassault Systems SolidWorks Corporation: SOLIDWORKS 2015. Advanced Part Modelling, USA, 2015.
35. Dassault Systems SolidWorks Corporation: SOLIDWORKS Education Edition 2016-2017. Fundamentals of 3D Design and Simulation, USA, 2017.
36. Dassault Systems SolidWorks Corporation: SOLIDWORKS Web Help 2020.
37. Lombard M.: SolidWorks 2011 Parts Bible, John Wiley & Sons, 2011.
38. Tran P.: Certified SolidWorks Professional Advanced Preparation Material, SDC Publications; 2017.
39. SOLIDWORKS TV by SOLIDEXPERT (kanał oficjalny/reseller w Polsce) – Zaawansowane modelowanie części, powierzchni: <https://www.youtube.com/c/SOLIDWORKSTVbySOLIDEXPERT/playlists>
40. Premium Solutions Polska – kursy zaawansowane, modelowanie powierzchniowe i bryłowe: <https://www.youtube.com/c/PremiumSolutionsPolska>
41. GoEngineer – serie Advanced Part Modeling i Surface Modeling: <https://www.youtube.com/c/GoEngineer>
42. solid-blog.pl / solid-podreczniki.pl – przykłady krok po kroku do najnowszych podręczników 2025.
43. Lisowski E., Czyżycki W. Modelowanie elementów maszyn i urządzeń w systemie CAD 3D SolidWorks z aplikacjami COSMOSWorks i FloWorks: podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych. Wydaw. Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, 2008.
44. Zagrajek T., Krześciński G., Marek P.: Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Ćwiczenia z zastosowaniem systemu ANSYS. Wydawnictwo: OWPW, 2005
45. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, i in. Mechanics of materials, 6th ed., McGraw-Hill 2012, New York
46. 5. Żmudzki J., Chladek G., Kasperski J.: The influence of lower complete denture destabilization under oblique mastication forces on the level of denture foundation soft tissue compression. Acta of Bioengineering and Biomechanics vol.14 No 3, 2012, 67- 73
47. Żmudzki J, Chladek G, Malara P. Use of finite element analysis for the assessment of biomechanical factors related to pain sensation beneath complete dentures during mastication. The Journal of Prosthetic Dentistry 2018;100(6) 934-941 (IF 2.095), MNiSW 35 pkt Żmudzki J, Chladek G, Krawczyk C. Relevance of Tongue Force on Mandibular Denture Stabilization during Mastication. JProsthodont. 2017 Dec 29. doi: 10.1111/jopr.12719 (IF 1.452)
48. Jarosław Żmudzki, Grzegorz Bobik, Grzegorz Chladek, Piotr Malara, Marcin Adamiak, Mariusz Król, Kamil Kweciński, Paweł Popielski, Ewa Duraj, Tomasz Tański Comparison of selective laser centrifugal casting and sintering technologies in manufacturing of personalized jawbones fixation plates. Int. J. Mod. Manuf. Technol. 2020 vol. 12 no. 2, s. 131-136
49. Jarosław Żmudzki, Grzegorz Chladek, Karolina Panek, P. Lipiński. Finite element analysis of adolescent mandible fracture occurring during accidents. Arch. Metall. Mater. 2020 vol. 65 iss. 1, s. 65-72. Grzegorz Bobik, Jarosław Żmudzki, M. Bąk, I. Niedzielska, Marcin Adamiak, P. Popielski. Personalized implants produced with SLM process. Int. J. Mod. Manuf. Technol. 2020 vol. 12 no. 3, s. 17-22
50. Żmudzki, J., & Zorychta-Tomsia, M. (2025). The influence of temporo-mandibular joint support conditions and osseointegration on mastication load transfer in a mandibular prosthesis. *Applied Sciences-Basel*, 15, Article 8. <https://doi.org/10.3390/app15084281>
51. Młynarek-Żak, K., & Żmudzki, J. (2024). The effect of porous compliance bushings in a dental implant on the distribution of occlusal loads. *Scientific Reports*, 14, Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51429-5>
52. K. Młynarek, Jarosław Żmudzki. Distribution of forces on supporting teeth in the midpalatal expander during "Hyrax" screw pre-load. J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 2019 vol. 93 iss. 1/2, s. 26-31
53. Madoune, Y., Żmudzki, J. & Lee, H. Finite element analysis of stress in removable lower complete denture under vertical and oblique occlusal forces. Sci Rep (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37756-9>
54. Żmudzki J.: Uwarunkowania materiałowe wydolności czynnościowej całkowitych osiadających protez zębowych. Open Access Library, vol. 4/10, 2012:176s. International OCSCO World Press, Gliwice rozprawa habilitacyjna.

**Efekty uczenia się:**

Wiedza: zna i rozumie podstawowe problemy współczesnej cywilizacji w odniesieniu do osiągnięć nauki i Techniki.

Umiejętności: potrafi samodzielnie planować i realizować własne uczenie się przez całe życie.

Kompetencje społeczne: jest gotów do krytycznej oceny posiadanej wiedzy i odbieranych treści, uznawania znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych oraz zasięgania opinii ekspertów w przypadku trudności z samodzielnym rozwiązaniem problemu.

**Learning outcomes:**

Knowledge: knows and understands the basic problems of modern civilization in relation to the achievements of science and technology

Skills: is able to independently plan and implement his own lifelong learning

Social competence: is ready to critically evaluate the knowledge he possesses and the content he receives, to recognize the importance of knowledge in solving cognitive and practical problems, and to consult experts in case of difficulties in solving the problem independently.

**Metody i kryteria oceniania:**

Wykład:

Sposób zaliczenia wybiera student jako jeden sposób spośród trzech możliwości:

- kontaktowo/zdalnie;
- test;
- raport na zadany temat.

Zajęcia są realizowane w salach na stanowiskach komputerowych z dostępem do oprogramowania CAD/MES (Solidworks/Ansys/Nx\_Siemens lub inne dowolne na komputerze własnym studenta).

Zaliczenie na podstawie rozwiązania zadania, polegającego na badaniu symulacyjnych nośności CAD/MES elementu, którego sposób rozwiązania i wyniki są przedstawiane w czasie wykładu.

Wybór jednego z trzech dostępnych sposobów zaliczenia:

- kontaktowo/zdalnie: student rozwiązuje zadanie kontaktowo/ zdalnie podczas wykładu;
- test: student, który nie rozwiązał zadań w czasie wykładów uczestniczą w teście końcowym;
- raport na zadany temat: student ma prawo wyboru zaliczenia na podstawie raportu z rozwiązania własnego zadania, którego temat proponuje samodzielnie i uzgadnia zakres z prowadzącym.

Kryterium zaliczenia: 0-50% -ndst, 51-60% dost, 61-70% dost plus, 71-80%dobry, 81-90%plus dobry, 91-100% - bdb).

**Assessment methods and assessment criteria:**

Lecture:

The student chooses one from the three available options for passing:

- face-to-face/remote;
- test;
- report on a given topic.

Lectures are conducted in classrooms on computer workstations with access to CAD/FEA software (Solidworks/Ansys/Nx\_Siemens or other software on the student's own computer).

Assessment is based on solving a problem involving simulation-based CAD/FEA load-bearing capacity testing of an element, the solution method and results of which are presented during the lecture:

- face-to-face/remote: the student solves the problem face-to-face/remotely during the lecture;
- test: students who fail to solve the problems during the lectures participate in a final test;
- report on a given topic: students also have the option of completing a report on their own problem, the topic of which they propose independently and agree on with the instructor.

Passing criteria: 0-50% - failed, 51-60% pass, 61-70% pass plus, 71-80% good, 81-90% plus good, 91-100% - very good).

**Dodatkowe informacje**  
**Element of course groups in various terms:**

Opis zajęć Course group description	
--	--

zajęcia z bazy UBZO studia stacjonarne i/lub niestacjonarne stopień studiów – dowolny kierunek studiów – dowolny, semestr dowolny  elective courses full-time and part-time studies degree - any field of study - any semester - any	
cykl	2026/2027