

MEHANIKA LAHKIH STRUKTUR

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Mehanika lahkih struktur
Course title:	Mechanics of Light-Weight Structures
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski	Mehanika (smer)	2. letnik	1. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0566904
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	6040-M

Predavanja /Lectures	Seminar /Seminar	Vaje /Tutorials	Klinične vaje /Clinical tutorials	Druge oblike študija /Other forms of study	Samostojno delo /Individual student work	ECTS
30		30			65	5

Nosilec predmeta/Lecturer:	izr. prof. dr. Miha Brojan
-----------------------------------	----------------------------

Izvajalci predavanj:	
Izvajalci seminarjev:	
Izvajalci vaj:	
Izvajalci kliničnih vaj:	
Izvajalci drugih oblik:	
Izvajalci praktičnega usposabljanja:	

Vrsta predmeta/Course type:	Obvezni strokovni predmet na smeri Mehanika, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Mechanics, which is an elective specialised course in other fields of study.
------------------------------------	--

Jeziki/Languages:	Predavanja/Lectures:	Slovenščina
	Vaje/Tutorial:	Slovenščina

Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:	Prerequisites:
Izpolnjevanje pogojev za vpis v Magistrski študijski program II. stopnje Strojništvo - Razvojno raziskovalni program.	Meeting the enrollment conditions for the Master's study programme of Mechanical Engineering - Research and Development program.

Vsebina:	Content (Syllabus outline):

1. Vsebina 1. Predavanja - Seznanitev s študijskimi pravili in obveznostmi - Predstavitve študijske literature - Pregled celotne vsebine predavanj - Osnovne geometrijske lastnosti lahkih struktur 2. Vsebina 2. Predavanja - Učinkovita izraba materiala, ugodna porazdelitev napetosti v lahkih konstrukcijah (primerjave zgradb iz biologije) - Pregled vitkih (tankostenskih) konstrukcijskih elementov: nosilec, plošča, lupina - Kompozitna struktura 3. Vsebina 3. Predavanja - Problematika uporabe vitkih elementov (nezveznosti, nelinearnosti, imperfekcije, medsebojni vpliv povezanih elementov, stabilnost) 4. Vsebina 4. Predavanja - Osnovni pojmi stabilnosti konstrukcij, določitev stabilnosti razmer v vitkih strukturah 5. Vsebina 5. Predavanja - Limitna obtežba (preskok sistema), bifurkacija (primer: tog drog) - (Fizikalno pravilno) ravnovesje na deformiranem nosilcu 6. Vsebina 6. Predavanja - Eulerjev uklon - Uklon imperfektnih nosilcev (geometrijske in obremenitvene imperfekcije) 7. Vsebina 7. Predavanja - Uklon pod vplivom lastne teže - Elastično vpetje 8. Vsebina 8. Predavanja - Nosilec na elastični podlagi, gubanje 9. Vsebina 9. Predavanja - Uklon realnega elasto-plastičnega nosilca - Zvrnitev konzole (uklon stojine pri upogibu I-profila) 10. Vsebina 10. Predavanja - Izboljšanje nosilnosti s pomočjo optimizacije - Definicija optimizacijskega problema (ciljna funkcija, enakostne in neenakostne vezi, Karush-Kuhn-Tuckerjev izrek) 11. Vsebina 11. Predavanja - Enostavni primeri optimizacije - Optimizacija nosilnosti kompozitnega nosilca na primeru letalskega krila 12. Vsebina 12. Predavanja - (Fizikalno pravilno) ravnovesje na	1. Topics of Lecture 1 - Definition of rules and obligations for following and completing the course - Presentation of relevant study literature - Complete overview of course topics - Basic geometric properties of lightweight structures 2. Topics of Lecture 2 - Efficient material use, favourable stress distribution in lightweight structures (comparison with biological structures) - Review of slender (thin-walled) structural elements: beam, plate, shells - Composite structure 3. Topics of Lecture 3 - Problems of slender element application (discontinuities, nonlinearities, imperfections, interactions of connected elements, stability) 4. Topics of Lecture 4 - Basic concepts of stability of structures, determination of stability conditions in slender structures 5. Topics of Lecture 5 - Limit point load (snap-through), bifurcation (example: rigid bar) - (Physically correct) equilibrium on the deformed beam 6. Topics of Lecture 6 - Euler buckling - Buckling of imperfect beams (geometric and loading imperfections) 7. Topics of Lecture 7 - Buckling of a bar under self-weight - Elastic support 8. Topics of Lecture 8 - Beam on an elastic foundation, wrinkling 9. Topics of Lecture 9 - Buckling of real-life elastic-plastic beam - Torsional buckling (buckling of a web in an I-beam) 10. Topics of Lecture 10 - Improving load-carrying capacity by optimization - Definition of an optimization problem (objective function, equality and inequality conditions, Karush-Kuhn-Tucker theorem) 11. Topics of Lecture 11 - Simple cases in optimization - Optimization of load-carrying capacity of a composite beam (aircraft wing) 12. Topics of Lecture 12 - (Physically correct) equilibrium on a
---	---

deformirani plošči - Föppl-von-Karmanova teorija plošč 1. del 13. Vsebina 13. Predavanja - Föppl-von-Karmanova teorija plošč 2. del - Upogib elastične plošče 14. Vsebina 14. Predavanja - Upogib kompozitne plošče 15. Vsebina 15. Predavanja - Gubanje kompozitnih plošč	deformed plate - Föppl-von-Karman plate theory, part 1 13. Topics of Lecture 13 - Föppl-von-Karman plate theory, part 2 - Bending of an elastic plate 14. Topics of Lecture 14 - Bending of a composite plate 15. Topics of Lecture 15 - Wrinkling of composite plates
--	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. I.M. Daniel, I. Ori: Engineering mechanics of composite materials, Oxford University Press, 2006 [COBISS.SI-ID [8966427](#)]
2. R.F. Gibson: Principles of composite material mechanics, CRC Press, 2007 [COBISS.SI-ID [741215](#)]
3. J.S. Arora: Introduction to optimum design, Elsevier, 2004 [COBISS.SI-ID [26084101](#)]
4. K. Kumar, D. Zindani, J.P. Davim: Optimizing engineering problems through heuristic techniques, CRC Press, Taylor & Francis, 2020 [COBISS.SI-ID [17397763](#)]
5. Z.P. Bazant, L. Cedolin: Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Fracture, and Damage Theories, WSPC, 1991 [COBISS.SI-ID [630043](#)]
6. G.J. Simitses, D.H. Hodges: Fundamentals of structural stability, Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2006 [COBISS.SI-ID [11903771](#)]

Cilji in kompetence:

Cilji: 1. Naučiti se osnov nelinearne mehanike konstrukcijskih elementov 2. Naučiti se koristno uporabiti (ne)stabilnostne pojave za napredne funkcionalnosti 3. Naučiti se snovanja lahkih konstrukcij za učinkovito izrabo materiala Kompetence: 1. S7-MAG + P3-MAG: Sposobnost uporabe nelinearne mehanike za preračun konstrukcijskih elementov 2. S2-MAG + P2-MAG: Sposobnost snovanja sistemov z naprednimi funkcionalnostmi 3. S1-MAG + P4-MAG: Sposobnost snovanja lahkih konstrukcij z učinkovito izrabo materiala

Objectives and competences:

Goals: 1. Learn the basics of nonlinear mechanics of structural elements 2. Learn to take advantage of instabilities for advanced functionality 3. Learn to design light-weight structures for efficient material use Competences: 1. S7-MAG + P3-MAG: Ability to understand the basics of nonlinear mechanics of structural elements 2. S2-MAG + P2-MAG: Ability to take advantage of instabilities for advanced functionality 3. S1-MAG + P4-MAG: Ability to design light-weight structures for efficient material use
--

Predvideni študijski rezultati:

Znanja: Z1: Poglobljeno strokovno teoretično in praktično znanje na določenem področju, podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo. • Poglobljeno znanje o nelinearnem odzivu konstrukcijskih elementov • Poglobljeno poznavanje mehanike kompozitnih struktur

Intended learning outcomes:

Knowledge: Z1: Thorough professional theoretical and practical knowledge in a selected field of expertise that is supported with a broad theoretical and methodological basis. • In-depth knowledge of nonlinear response of structural elements
--

- Poglobljeno znanje o metodah reševanja nelinearnih problemov za gradnjo lahkih struktur Spretnosti: S1.1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih opravil, ki vključujejo tudi uporabo metodoloških orodij. - Določitev nelinearnega mehanskega odziva vitkih elementov - Določitev kritičnih notranjih obremenitev v vitkih konstrukcijskih elementih - Dimenzioniranje lahkih kompozitnih elementov	- In-depth understanding of mechanics of composite structures - In-depth understanding of solution methods of nonlinear problems for the design of light-weight structures Skills: S1.1 Executing complex operationa-professional tasks that incorporate usage of methodological tools. - Determination of nonlinear response of slender elements - Determination of critical inner loads in slender structural elements - Design of light-weight composite elements
--	---

Metode poučevanja in učenja:

<i>Klasične oblike poučevanja:</i> - P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov. - P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki. - P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri. - P4 Laboratorijske vaje z namenskim didaktičnim pripomočki - Eksperimentalna naprava za spremljanje upogibnih deformacij - Trgalni stroj - Simulacija preskoka sistema z vzmetmi - Eksperiment v vakuumski komori - Eksperimentalna priprava za prikaz tlačno-volumske karakteristike tankih zaprtih lupin - P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki - E-domače naloge - E-zapiski - Tiskana verzija <i>Moderne in prožne oblike poučevanja:</i> - P6 Interaktivna predavanja - P7 Študij literature in razprava - P9 Skupinsko delo (razprave za – proti, razprave o prebranem) <i>Nekaj primerov uporabe IKT:</i> - P12 Individualizirane domače naloge - P14 Virtualni eksperimenti (FEM simulacije) - P15 Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje	Learning and teaching methods: <i>Conventional teaching methods:</i> - P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases. - P2 Presenting the content according to the explained system. - P3 Auditorial exercises, in which theoretical content from the lectures is supplemented with practical examples. - P4 Laboratory exercises with special-purpose didactic devices - Experimental apparatus for the analysis of beam bending - Tensile testing machine - Vacuum chamber experiments - Experimental apparatus for the analysis of pressure-volume relation in pressure vessels - P5 Application of study material - E-homework - E-manuscripts - Printed versions <i>Contemporary and flexible teaching methods:</i> - P6 Interactive lectures - P7 Literature study and discussion - P9 Team work (discussion pro and contra, discussion of the studied content) <i>Some cases of ICT usage:</i> - P12 Individualised homeworks in a web classroom - P14 Virtual experiments (FEM simulations) - P15 Application of videos for preparations to the lectures and exercises
---	---

Načini ocenjevanja:	Delež/Weight	Assessment:
Izpit (predavanja – teorija)	60,00 %	Examination (lectures - theory)
Izpit (vaje – naloge, prepračuni)	20,00 %	Examination (exercises – design calculations)
Laboratorijske vaje	10,00 %	Laboratory exercises
Domača naloga	10,00 %	Homework

Ocenjevalna lestvica:	Grading system:
5 - 10, pri čemer velja, da je pozitivna ocena od 6 - 10	5 - 10, a student passes the exam if he is graded from 6 to 10

Reference nosilca/Lecturer's references:

Miha Brojan:

1. LOLIĆ, Damjan, ZUPAN, Dejan, **BROJAN, Miha**. A consistent strain-based beam element with quaternion representation of rotations. Computational mechanics. May 2020, vol. 65, iss. 5, str. 1397-1415, ilustr. ISSN 0178-7675. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00466-020-01826-0.pdf>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=114127>, DOI: [10.1007/s00466-020-01826-0](https://doi.org/10.1007/s00466-020-01826-0). [COBISS.SI-ID [9081185](#)]
2. BRANK, Boštjan, VELDIN, Tomo, LAVRENČIČ, Marko, **BROJAN, Miha**. A comparison of computational models for wrinkling of pressurized shell-core systems. International journal of non-linear mechanics. [Print ed.]. 2020, letn. 127, št. dec. - 103611, str. 1-24, ilustr. ISSN 0020-7462. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2020.103611>, DOI: [10.1016/j.ijnonlinmec.2020.103611](https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2020.103611). [COBISS.SI-ID [29398019](#)]
3. LAVRENČIČ, Marko, BRANK, Boštjan, **BROJAN, Miha**. Multiple wrinkling mode transitions in axially compressed cylindrical shell-substrate in dynamics. Thin-walled structures. maj 2020, letn. 150, št. 1, 106700, str. 1-12, ilustr. ISSN 0263-8231. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106700>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116662>, DOI: [10.1016/j.tws.2020.106700](https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106700). [COBISS.SI-ID [9108321](#)]
4. LOLIĆ, Damjan, ZUPAN, Dejan, **BROJAN, Miha**. A consistent finite element formulation for laminated composites with nonlinear interlaminar constitutive law. Composite structures. sep. 2020, letn. 247, št. 112445, str. 1-13, ilustr. ISSN 1879-1085. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=114127>, DOI: [10.1016/j.compstruct.2020.112445](https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112445). [COBISS.SI-ID [19031811](#)]
5. PORENTA, Luka, KABIRIFAR, Parham, ŽEROVNIK, Andrej, ČEBRON, Matjaž, ŽUŽEK, Borut, DOLENEC, Matej, **BROJAN, Miha**, TUŠEK, Jaka. Thin-walled Ni-Ti tubes under compression : ideal candidates for efficient and fatigue-resistant elastocaloric cooling. Applied materials today. Sep. 2020, vol. 20, f. 1-9, ilustr. ISSN 2352-9415. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235294072030158X>, DOI: [10.1016/j.apmt.2020.100712](https://doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100712). [COBISS.SI-ID [18414339](#)]