

TRDNOST

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Trdnost
Course title:	Strength of Materials
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - razvojno raziskovalni program, prva stopnja, univerzitetni	Ni členitve (študijski program)	1. letnik	2. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0562744
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	2007-U

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			40	4

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 splošni predmet /Compulsory general course
------------------------------------	--

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

Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Univerzitetni študijski program I. stopnje Strojništvo - Razvojno raziskovalni program.

Prerequisites:

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Univerzitetni študijski program I. stopnje Strojništvo - Razvojno raziskovalni program.

Vsebina:

- Vsebina 1. Predavanja
- Seznaitvev s študijskimi pravili in obveznostmi
 - Predstavitev študijske literature
 - Pregled celotne vsebine predavanj
 - Osnove teorije napetosti
2. Vsebina 2. Predavanja

Content (Syllabus outline):

- . 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
- Basics of stress theory

- Napetostni vektor - Normalne in strižne napetosti - Ravnotežje na končnem volumnu deformiranega telesa - Napetostni tenzor 3. Vsebina 3. Predavanja - Zveza med napetostnim vektorjem in napetostnim tenzorjem (Cauchyev stavek) - Napetostno stanje pri rotaciji koordinatnega sistema - Ekstremne normalne in strižne napetosti v ravnini - Posebni primeri napetostnih stanj 4. Vsebina 4. Predavanja - Osnove teorije deformacij - Vektor premika, tenzor specifičnih deformacij, teorija majhnih deformacij - Specifična volumska deformacija, ekstremne specifične deformacije 5. Vsebina 5. Predavanja - Poenostavljena izpeljava zveze med napetostnim in deformacijskim stanjem v teoriji linearne elastičnosti (Hookeov zakon) - Snovne lastnosti in snovne konstante - Osnovne predpostavke trdnosti nosilcev 6. Vsebina 6. Predavanja - Porazdelitev napetosti v enoosnih konstrukcijskih elementih, vpliv prereza na nosilnost - Deformacijska enačba palice - Povezava med notranjimi veličinami in napetostmi 7. Vsebina 7. Predavanja - Upogib nosilcev po Euler-Bernoullijevi teoriji - Čisti upogib - Izračun napetosti pri upogibu 8. Vsebina 8. Predavanja - Geometrijske značilnosti prerezov (0., 1. in 2. moment prereza) - 2. (vztrajnostni) momenti prereza - Spremembe vrednosti 2. momentov prereza pri translaciji in rotaciji koordinatnega sistema - Ekstremne vrednosti 2. momentov prereza 9. Vsebina 9. Predavanja - Radij ukrivljenosti, ukrivljenost, kot tangente na nosilec, povezava med ukrivljenostjo in deformacijo - Diferencialna enačba upogibnice 10. Vsebina 10. Predavanja - Poševni upogib - Povprečna napetost zaradi strižne sile, strig simetričnih prerezov - Upogib zaradi strižne sile 11. Vsebina 11. Predavanja - Strižni tok, strižno središče - Strižne napetosti na odprtih tankostenskih prerezih 12. Vsebina 12. Predavanja - Torzijske napetosti - Torzija nosilcev krožnega prereza - Torzija nosilcev z zaprtim tankostenskim prerezom	2. Topics of Lecture 2: - Stress vector - Normal and shear stresses - Equilibrium of loads in finite volume of a deformed body - Stress tensor 3. Topics of Lecture 3: - Relation between the stress vector and the stress tensor (Cauchy's stress theorem) - Transformation rule of the stress tensor for a rotation of the coordinate system - Principal stresses and maximum shear stresses for the plane stress condition - Examples of special stress states 4. Topics of Lecture 4: - Basics of Strain theory - Displacement vector, small strain tensor, small strain theory - Volumetric strain, principal strains and maximum shear strains 5. Topics of Lecture 5: - Simplified derivation of the relation between strains and stresses in linear elasticity (Hooke's law) - Material properties and material constants - Fundamental assumptions in beam theory 6. Topics of Lecture 6: - Stress distribution in uniaxially loaded structural elements, effect of cross-section on the load carrying capacity - Equation for the deformation of rods/trusses - Relation between internal loads and stresses in structural elements 7. Topics of Lecture 7: - Euler-Bernoulli beam theory - Pure/simple bending - Bending stress evaluation 8. Topics of Lecture 8: - Geometric properties of cross-sections (0th, 1st and 2nd moment of area) - 2nd moment of area (moment of inertia) - Transformation rule for 2nd moments of area in translated and rotated coordinate systems - Principal (inertial) axes and principal 2nd moments of area 9. Topics of Lecture 9: - Radius of curvature, curvature, tangential angle of a beam, relation between curvature and strains in a beam - Differential equation of the deflection curve 10. Topics of Lecture 10: - Biaxial (oblique) bending - Average shear stress due to shear force, shearing of symmetric cross-sections - Bending due to shear force 11. Topics of Lecture 11: - Shear flow, shear center - Shear stresses in open, thin-walled cross-sections 12. Topics of Lecture 12:
---	--

13. Vsebina 13. Predavanja - Ravnovesje na deformiranem sistemu - Uklon elastičnih vitkih nosilcev - Dimenzioniranje na uklon 14. Vsebina 14. Predavanja - Dopustne napetosti - Porušitvene hipoteze (hipoteza največjih normalnih napetosti, hip. največjih strižnih napetosti, hip. največjih normalnih deformacij) 15. Vsebina 15. Predavanja - Energijske porušitvene hipoteze (hip. največjega deformacijskega dela, hip. največjega preobrazbenega dela) - Kompleksnejši primeri iz prakse	- Torsional (shear) stresses - Torsion of beams with circular cross-sections - Torsion of beams with closed, thin-walled cross-sections 13. Topics of Lecture 13: - Equilibrium of loads on a deformed structure - Buckling of thin elastic beams - Dimensioning to prevent buckling 14. Topics of Lecture 14: - Permissible stresses - Material failure criteria (maximum normal stress hypothesis, maximum shear stress hyp., maximum normal strain hyp.) 15. Topics of Lecture 15: - Energy-based failure criteria (maximum strain energy hypothesis, maximum distortion energy hyp.) - Complex real-life examples and case studies
--	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. F. Kosel: Trdnost, zbirka rešenih nalog, FS, 2002 [COBISS.SI-ID [118042624](#)].
2. S. Srpcič: Trdnost I, FGG, 2015 [COBISS.SI-ID [281293312](#)].
3. S. Srpcič: Trdnost II, FGG, 2015 [COBISS.SI-ID [281293568](#)].
4. B.J. Goodno, J.M. Gere: Mechanics of Materials, Cengage Learning, 2009 [COBISS.SI-ID [63718913](#)].
5. R.C. Hibbeler: Mechanics of materials, Pearson, 2018 [COBISS.SI-ID [134717443](#)].

Cilji in kompetence:

- Cilji:
1. Naučiti se izračunati napetosti in deformacije osno, strižno in upogibno obremenjenih nosilcev
 2. Naučiti se dimenzioniranja enosnih konstrukcijskih elementov skozi relacijo obremenitev/nosilnost
 3. Naučiti se analitično in sintetično obravnavati konstrukcije z vidika trdnosti
- Kompetence:
1. S1-RRP + P4-RRP: Sposobnost določitve napetosti in deformacij v osno, strižno in upogibno obremenjenih nosilcih
 2. S6-RRP + P1-RRP: Sposobnost dimenzioniranja različno obremenjenih nosilcev
 3. S2-RRP: Sposobnost analitičnega in sintetičnega mišljenja pri trdnostnih analizah konstrukcij

Objectives and competences:

- Goals:
1. Learn to calculate stresses and deformations of axially loaded, shear loaded and bent beams
 2. Learn to design uniaxial structural members through the load/carrying capacity relationship
 3. Learn to analyze constructions analytically and synthetically in terms of material's strength
- Competences:
1. S1-RRP + P4-RRP: Ability to determine stress and deformation states in axially loaded, shear loaded and bent beams
 2. S6-RRP + P1-RRP: Ability to design arbitrary loaded beams
 3. S2-RRP: Ability of analytic and synthetic thinking in the process of strength analysis in structures

Predvideni študijski rezultati:

- Znanja:
- Z1: Poglobljeno strokovno teoretično in praktično znanje na določenem področju, podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo.
- Poglobljeno poznavanje napetostnih in defromacijskih stanj v enosnih konstrukcijskih elementih
 - Poglobljeno poznavanje povezave med obremenitvijo in nosilnostjo konstrukcij
 - Poglobljeno znanje o vrednotenju nosilnosti konstrukcij
- Spretnosti:

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 understanding of stress and strain states in uniaxial structural elements
 - In-depth understanding of the relation between the load and carrying capacity of structures
 - In-depth understanding of load carrying capacity characterization of structures
- Skills:

S1.1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih opravil, ki vključujejo tudi uporabo metodoloških orodij. - Izračun napetosti v nosilcih - Identifikacija mehanizmov porušitve v nosilcih - Dimenzioniranje nosilcev	S1.1 Executing complex operationa-professional tasks that incorporate usage of methodological tools. - Stress calculations in beams - Identification of failure mechanisms in beams - Design of beams
--	--

Metode poučevanja in učenja:	Learning and teaching methods:
<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 namenski didaktičnimi pripomočki - Eksperimentalna naprava za spremljanje upogibnih deformacij - Eksperimentalna naprava za spremljanje torzije odprtih tankostenskih prereзов - Trgalni stroj - Eksperimentalna naprava za spremljanje deformacije paličja - Eksperiment z merilnimi lističi za posredno merjenje deformacij/napetosti v nosilcih - 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	<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 - Experimental apparatus for the analysis of torsion of open-thin-walled sections - Tensile testing machine - Experimental apparatus for the analysis of deformation of bar structures - Experimental apparatus based on strain-gauges for the analysis of strain/stress in beams - 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).	20,00 %	Examination (lectures – theory).
Izpit (vaje – naloge, prepračuni).	60,00 %	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. VELDIN, Tomo, BRANK, Boštjan, **BROJAN, Miha**. Discrete Kirchhoff-Love shell quadrilateral finite element designed from cubic Hermite edge curves and Coons surface patch. Thin-walled structures. 2021, letn. 168, št. nov. 108268, str. 1-20, ilustr. ISSN 0263-8231. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=131839>, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108268>, DOI: [10.1016/j.tws.2021.108268](https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108268). [COBISS.SI-ID [73890819](https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108268)].
2. AHČIN, Žiga, DALL'OLIO, Stefano, ŽEROVNIK, Andrej, ŽVAR BAŠKOVIČ, Urban, PORENTA, Luka, KABIRIFAR, Parham, CERAR, Jan, ZUPAN, Samo, **BROJAN, Miha**, KLEMENC, Jernej, TUŠEK, Jaka. High-performance cooling and heat pumping based on fatigue-resistant elastocaloric effect in compression. Joule. Oct. 2022, vol. 6, iss. 10, str. 2338-2357, ilustr. ISSN 2542-4351. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435122004123>, DOI: [10.1016/j.joule.2022.08.011](https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.011). [COBISS.SI-ID [122510851](https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.011)].
3. VENKATESH, Ragunanth, **BROJAN, Miha**, EMRI, Igor, VOLOSHIN, Arkady S., GOVEKAR, Edvard. Influence of particle size distribution width on GFA index of uniaxially compressed granular materials. Powder technology. [Print ed.]. Jan. 2021, vol. 377, str. 666-675, ilustr. ISSN 0032-5910. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591020308846?via%3Dihub>, DOI: [10.1016/j.powtec.2020.09.020](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.09.020). [COBISS.SI-ID [30054147](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.09.020)].
4. RAHMANI, Ramin, KAMBOJ, Nikhil, **BROJAN, Miha**, ANTONOV, Maksim, PRASHANTH, Konda Gokuldoss. Hybrid metal-ceramic biomaterials fabricated through powder bed fusion and powder metallurgy for improved impact resistance of craniofacial implants. Materialia. 2022, vol. 24, str. 1-12, ilustr. ISSN 2589-1529. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258915292200148X>, DOI: [10.1016/j.mtla.2022.101465](https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101465). [COBISS.SI-ID [110758403](https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101465)].
5. RAHMANI, Ramin, MOLAN, Katja, **BROJAN, Miha**, PRASHANTH, Konda Gokuldoss, STOPAR, David. High virucidal potential of novel ceramic-metal composites fabricated via hybrid selective laser melting and spark plasma sintering routes. International journal of advanced manufacturing technology. 2022, vol. 120, str. 975-988, ilustr. ISSN 0268-3768. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-022-08878-x>, DOI: [10.1007/s00170-022-08878-x](https://doi.org/10.1007/s00170-022-08878-x). [COBISS.SI-ID [97005571](https://doi.org/10.1007/s00170-022-08878-x)].