

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:	Miha Brojan
-----------------------------------	-------------

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

Vrsta predmeta/Course	Obvezni splošni predmet /Compulsory general course
------------------------------	--

type:

--

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

- Seznanitev s študijskimi pravili in obveznostmi
- Predstavitev študijske literature
- Pregled celotne vsebine predavanj
- Osnove teorije napetosti

2. Vsebina 2. Predavanja

- Napetostni vektor
- Normalne in strižne napetosti
- Ravnovesje 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

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

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)

<p>nosilcev</p> <p>6. Vsebina 6. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Porazdelitev napetosti v enoosnih konstrukcijskih elementih, vpliv prereza na nosilnost - Deformacijska enačba palice - Povezava med notranjimi veličinami in napetostmi <p>7. Vsebina 7. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Upogib nosilcev po Euler-Bernoulljevi teoriji - Čisti upogib - Izračun napetosti pri upogibu <p>8. Vsebina 8. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geometrijske značilnosti prerezov (0., 1. in 2. moment prereza) - 2. (vztrajnostni) momenti prereza - Spremembe vrednosti 2. momentov prereza pri translaciji in rotaciji koordinatnega sistema - Eskstremne vrednosti 2. momentov prereza <p>9. Vsebina 9. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radij ukrivljenosti, ukrivljenost, kot tangente na nosilec, povezava med ukrivljenostjo in deformacijo - Diferencialna enačba upogibnice <p>10. Vsebina 10. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poševni upogib - Povprečna napetost zaradi strižne sile, strig simetričnih prerezov - Upogib zaradi strižne sile <p>11. Vsebina 11. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strižni tok, strižno središče - Strižne napetosti na odprtih tankostenskih prerezih <p>12. Vsebina 12. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Torzijske napetosti - Torzija nosilcev krožnega prereza - Torzija nosilcev z zaprtim tankostenskim prerezom <p>13. Vsebina 13. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ravnovesje na deformiranem sistemu - Uklon elastičnih vitkih nosilcev - Dimenzioniranje na uklon <p>14. Vsebina 14. Predavanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dopustne napetosti - Porušitvene hipoteze (hipoteza največjih normalnih napetosti, hip. največjih strižnih napetosti, hip. največjih normalnih deformacij) 	<ul style="list-style-type: none"> - Material properties and material constants - Fundamental assumptions in beam theory <p>6. Topics of Lecture 6:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>7. Topics of Lecture 7:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Euler-Bernoulli beam theory - Pure/simple bending - Bending stress evaluation <p>8. Topics of Lecture 8:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>9. Topics of Lecture 9:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radius of curvature, curvature, tangential angle of a beam, relation between curvature and strains in a beam - Differential equation of the deflection curve <p>10. Topics of Lecture 10:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biaxial (oblique) bending - Average shear stress due to shear force, shearing of symmetric cross-sections - Bending due to shear force <p>11. Topics of Lecture 11:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Shear flow, shear center - Shear stresses in open, thin-walled cross-sections <p>12. Topics of Lecture 12:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Torsional (shear) stresses - Torsion of beams with circular cross-sections - Torsion of beams with closed, thin-walled cross-sections <p>13. Topics of Lecture 13:</p>
--	---

15. Vsebina 15. Predavanja - Energijske porušitvene hipoteze (hip. največjega deformacijskega dela, hip. največjega preobrazbenega dela) - Kompleksnejši primeri iz prakse	- 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. Srpčič: Trdnost I, FGG, 2015 [COBISS.SI-ID [281293312](#)].
3. S. Srpčič: 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 enoosnih 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

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 deforacijskih stanj v enoosnih konstrukcijskih elementih
- Poglobljeno poznavanje povezave med obremenitvijo in nosilnostjo konstrukcij
- Poglobljeno znanje o vrednotenju nosilnosti konstrukcij

Spretnosti:

S1.1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih opravil, ki vključujejo tudi uporabo metodoloških orodij.

- Izračun napetosti v nosilcih
- Identifikacija mehanizmov porušitve v nosilcih
- Dimenzioniranje nosilcev

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 Executing complex operational-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:

Klasične oblike poučevanja:

1. P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov.
2. P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki.
3. P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri.
4. P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki
 - Eksperimentalna naprava za spremljanje upogibnih deformacij
 - Eksperimentalna naprava za spremljanje torzije odprtih tankostenskih prerezov

Learning and teaching methods:

Conventional teaching methods:

1. P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases.
2. P2 Presenting the content according to the explained system.
3. P3 Auditorial exercises, in which theoretical content from the lectures is supplemented with practical examples.
4. 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-

<ul style="list-style-type: none"> • Trgalni stroj • Eksperimentalna naprava za spremljanje deformacije paličja • Eksperiment z merilnimi lističi za posredno merjenje deformacij/napetosti v nosilcih <ol style="list-style-type: none"> 1. P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki <ul style="list-style-type: none"> • E-domače naloge • E-zapiski • Tiskana verzija <p><i>Moderne in prožne oblike poučevanja:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P6 Interaktivna predavanja 2. P7 Študij literature in razprava 3. P9 Skupinsko delo (razprave za - proti, razprave o prebranem) <p><i>Nekaj primerov uporabe IKT:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P12 Individualizirane domače naloge 2. P14 Virtualni eksperimenti (FEM simulacije) 3. P15 Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje 	<p>walled sections</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ol style="list-style-type: none"> 1. P5 Application of study material <ul style="list-style-type: none"> • E-homework • E-manuscripts • Printed versions <p><i>Contemporary and flexible teaching methods:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P6 Interactive lectures 2. P7 Literature study and discussion 3. P9 Team work (discussion pro and contra, discussion of the studied content) <p><i>Some cases of ICT usage:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P12 Individualised homeworks in a web classroom 2. P14 Virtual experiments (FEM simulations) 3. 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:

Reference nosilca/Lecturer's references:

Miha Brojan:

1. PORENTA, Luka, TROJER, Jonas, **BROJAN, Miha**, TUŠEK, Jaka. Experimental investigation of buckling stability of superelastic Ni-Ti tubes under cyclic compressive loading : towards defining functionally stable tubes for

- elastocaloric cooling. *International journal of solids and structures*. [Print ed.]. Dec. 2022, vol. 256, str. 1-15, ilustr. ISSN 0020-7683. DOI: [10.1016/j.ijsolstr.2022.111948](https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2022.111948). [COBISS.SI-ID [122518275](#)], [JCR, SNIP, WoS do 18. 10. 2023: št. citatov (TC): 3, čistih citatov (CI): 2, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0.50, Scopus do 19. 10. 2023: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 3, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0.75]
2. SITAR, Matej, KOSEL, Franc, **BROJAN, Miha**. Numerical and experimental analysis of elastic-plastic pure bending and springback of beams of asymmetric cross-sections. *International journal of mechanical sciences*, ISSN 0020-7403. [Print ed.], Jan. 2015, vol. 90, str. 77-88, ilustr., doi: [10.1016/j.ijmecsci.2014.1006](https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2014.1006). [COBISS.SI-ID [13799963](#)], [JCR, SNIP, WoS do 13. 2019: št. citatov (TC): 4, čistih citatov (CI): 4, Scopus do 28. 8. 2019: št. citatov (TC): 3, čistih citatov (CI): 3]
 3. SITAR, Matej, KOSEL, Franc, **BROJAN, Miha**. Large deflections of nonlinearly elastic functionally graded composite beams. *Archives of civil and mechanical engineering*, ISSN 1644-9665, Aug. 2014, vol. 14, iss.4, str. 700-709, ilustr., doi: [10.1016/j.acme.20111.007](https://doi.org/10.1016/j.acme.20111.007). [COBISS.SI-ID [13665563](#)], [JCR, SNIP, WoS do 1 10. 2019: št. citatov (TC): 10, čistih citatov (CI): 10, Scopus do 27. 9. 2019: št. citatov (TC): 11, čistih citatov (CI): 11]
 4. LOLIĆ, Damjan, ZUPAN, Dejan, **BROJAN, Miha**. Delaminated reissner beam with non-linear contact law between layers. V: TURON, A. (ur.), MAIMÍ, P. (ur.), FAGERSTRÖM, M. (ur.). *Composites 2019 : book of abstracts*, 7th ECCOMAS Thematic Conference on the Mechanical Response of Composites, 18-20 September, Girona, Spain. Girona: Composites. cop. 2019, str. 134, ilustr. [COBISS.SI-ID [16806939](#)]
 5. ČEBRON, Matjaž, **BROJAN, Miha**. *Trdnostna analiza koncepta vpetja elise - R18*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za nelinearno mehaniko, okt. 2017. [8] f., ilustr. [COBISS.SI-ID [15759131](#)]