

**UČNI NAČRT PREDMETA / COURSE SYLLABUS**

<b>Predmet:</b>	Utrujanje in lom materialov
<b>Course title:</b>	Fatigue and fracture of materials

Študijski program Study programme and level	Študijska smer Study field	Letnik Academic year	Semester Semester
Inženiring in avtomobilska industrija	Materiali/materials	prvi/first	winter/spring

**Vrsta predmeta / Course type**

Izbirni / optional

**Univerzitetna koda predmeta / University course code:**

31021

Predavanja Lectures	Seminar Seminar	Sem. vaje Tutorial	Lab. vaje Laboratory work	Teren. vaje Field work	Samost. delo Individ. work	ECTS
60		30			180	10

**Nosilec predmeta / Lecturer:**

doc.dr. Borivoj Šuštaršič  
/ Assistant Professor Ph.D. Borivoj Šuštaršič

**Jeziki / Languages:**

Predavanja / Lectures:	Vaje / Tutorial:
Slovenski	Slovenski
Slovenian	Slovenian

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

**Prerequisites:**

– Končan dodiplomski študij	– Finished B. Sc work
-----------------------------	-----------------------

**Vsebina:**

**Content (Syllabus outline):**

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zakaj in kako pride do poškodb in porušitve materialov</li> <li>– Kako so vidne poškodbe materialov na mikro in makroskopskem nivoju</li> <li>– Mehanizmi elastične in plastične deformacije</li> <li>– Plastična deformacija in zlom</li> <li>– Osnove lomne mehanike (Griffithova teorija, prehod iz žilavega v krhki lom, LEFM, lomna žilavost <math>K_{IC}</math>, CTOD, J-integral, R-krivulja)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Why and how damage and fracture of materials occur</li> <li>– Appearance of materials damage on micro and macro scale</li> <li>– Mechanisms of elastic and plastic deformation</li> <li>– Plastic deformation and fracture</li> <li>– Basics of fracture mechanics (Griffith's theory, ductile to cleavage fracture, LEFM, fracture toughness <math>K_{IC}</math>, CTOD, J-integral, R-curve)</li> </ul>
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>- FAD diagram (diagram ocene vrste poškodbe)</li> <li>- Utrujanje in utrujenostni lom</li> <li>- Različni pristopi k utrujanju (malo ciklično utrujanje; veliko ciklično utrujanje; S-N krivulje, Parisov model, lomno-mehanski pristop)</li> <li>- Lezenje materialov</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FAD diagram (Failure Assessment Diagram)</li> <li>- Fatigue and fatigue fracture</li> <li>- Different approaches to fatigue (low and high cycle fatigue, Paris equation, fracture mechanics approach)</li> <li>- Creep of materials</li> </ul>
--	---

**Temeljni literatura in viri / Readings:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tuma, J.V. (2002). <i>Mehanske lastnosti kovin</i>. Fakulteta za gradbeništvo in Geodezijo: Univerza v Ljubljani.</li> <li>- Vodopivec, F. (2002). <i>Kovine in zlitine: kristalnazgradba, mikrostruktura, procesi, sestava in lastnosti</i>. IMT.</li> </ul>
--

**Priporočljiva literatura / Recommended Textbooks**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suresh, S. (2006). <i>Fatigue of Materials</i>. 2-nd edition. University Press: Cambridge.</li> </ul>
--

**Cilji in kompetence:**

<p><b>Cilji</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spoznati teoretične in praktične osnove utrujanja in vzrokov loma različnih materialov</li> <li>- pridobiti znanje za samostojno analizo vzrokov za poškodbe in lom materialov</li> </ul> <p><b>Kompetence</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- samostojno analiziranje in ocenjevanje vzrokov poškodb in/ali loma strojnih elementov/delov</li> </ul>
---

**Objectives and competences:**

<p><b>Objectives</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- To get theoretical and practical basic knowledge about fatigue and fracture of different materials</li> <li>- To get basic knowledge about failure analysis</li> </ul> <p><b>Competences</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- autonomous analyzing and assessment of reasons for damage and/or fracture of machine parts/elements</li> </ul>
--

**Predvideni študijski rezultati:**

Znanje in razumevanje:
------------------------

**Intended learning outcomes:**

Knowledge and understanding:
------------------------------

**Metode poučevanja in učenja:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- študij ustrezne (predpisane) literature</li> <li>- seminarsko delo (izdelava izbranega primera)</li> <li>- laboratorijske vaje (individualno)</li> <li>- predavanja (v primeru večjega števila študentov)</li> <li>- konzultacije</li> </ul>
---

**Learning and teaching methods:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- study of appropriate (selected) literature</li> <li>- seminary work (for selected case study)</li> <li>- lab exercises (individual)</li> <li>- oral lectures (in the case of larger student group)</li> <li>- consultations</li> </ul>
---

**Načini ocenjevanja:**

**Delež (v %) / Assessment:**

**Weight (in%)**

<ul style="list-style-type: none"> <li>– pismeno</li> <li>– ustno</li> </ul>	<p>50%</p> <p>50%</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– written test</li> <li>– oral examination</li> </ul>
--	-----------------------	--

**Reference nosilca / Lecturer's references:**

Doc. Dr. Borivoj Šuštaršič / Assistant Professor Ph.D. Borivoj Šuštaršič

Education:

- Finished university study at Faculty for Natural Science and Technology, University of Ljubljana, title: diplomirani inženir metalurgije (completed May 1977), M.Sc. metallurgy
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj. *Lastnosti kovinskih prahov, izdelanih z vodno atomizacijo : Properties of metal powders, produced by water atomization; znanstveno magistrsko delo.* Ljubljana: FNT Montanistika, 1993. [COBISS.SI-ID [18602](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj. *Kompozitno hitrorežno jeklo s trdnim mazivom : doktorska disertacija = Composite high speed steel with solid lubricant : dissertation thesis.* Ljubljana: [B. Šuštaršič], 2000. VI f., 209 str., [16] f. pril., ilustr., tabele. [COBISS.SI-ID [110943488](#)]

Complete bibliography is given on the internete page:

<http://izumbib.izum.si/bibliografije/Y20160729105337-A2928739.html>

Selected bibliography connected with course :

- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, VODOPIVEC, Franc, KOSEC, Ladislav. Properties of PM high-speed steels prepared from water atomized powders by hot extrusion. V: *Congrès mondial de métallurgie des poudres = Powder metalurgy world congress : PM'94.* [S.l.: s.n.], 1995, str. 945-948. [COBISS.SI-ID [15786](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, KEVORKIJAN, Varužan. Processing and properties of PM aluminium composites reinforced by SiC particles, whiskers and platelets. V: *1995 European conference on advanced PM materials [also] EURO PM'95, Birmingham, 23-25 October 1995 : proceedings. Vol. 1.* Bellstone: European powder metallurgy association, 1995, str. 252-259, ilustr. [COBISS.SI-ID [19041797](#)]
- LESKOVŠEK, Vojteh, KMETIČ, Dimitrij, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj. Mechanical properties of high temperature vacuum brazed HSS on structural carbon steel with simultaneous heat treatment = Mehanske lastnosti visokotemperaturno vakuumsko spajkanih in istočasno toplotno obdelanih spojev. *Kovine zlitine tehnologije*, ISSN 1318-0010, 1996, letn. 30, št. 6, str. 557-564, graf. prikazi; tabele. [COBISS.SI-ID [18038533](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, LESKOVŠEK, Vojteh. Merila za pravilno izbiro materialov in izdelavo orodij za stiskanje jeklenih prahov = Criteria of correct material selection and die manufacturing for steel

- powders compacting. *Strojniški vestnik*, ISSN 0039-2480, 1998, let. 44, št. 5/6, str. 195-200. [COBISS.SI-ID [2632475](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, LESKOVŠEK, Vojteh. Izboljšanje vzdržljivosti orodij za stiskanje jeklenih prahov. *RMZ - Materials and geoenvironment*, ISSN 1408-7073, marec 1999, let. 46, št. 1, 115-130, ilustr. [COBISS.SI-ID [135850](#)]
  - DOLINŠEK, Slavko, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, KOPAC, Janez. Wear mechanisms of cutting tools in high-speed cutting processes. *Wear*, ISSN 0043-1648. [Print ed.], 2001, vol. 250, no. 1/12, str. 349-356. <http://www.elsevier.com/gej-ng/10/42/46/93/27/71/abstract.html>, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>. [COBISS.SI-ID [4758555](#)]
  - TORKAR, Matjaž, LESKOVŠEK, Vojteh, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, PANJAN, Peter. Failure of tools for metallic powder compaction. *Engineering failure analysis*, ISSN 1350-6307. [Print ed.], 2002, vol. 9, str. 213-219. [COBISS.SI-ID [324191](#)]
  - LESKOVŠEK, Vojteh, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, VEČKO PIRTOVŠEK, Tatjana, GREŠOVNIK, Ferdinand, JUTRIŠA, Gorazd. Lomna žilavost  $K_{IC}$ , merilo za izbiro toplotne obdelave hitroreznih jekel =  $K_{IC}$  fracture toughness: a selection criterion for the heat treatment of high-speed steels. *Materiali in tehnologije*, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], 2002, letn. 36, št. 6, str. 337-341. [COBISS.SI-ID [266922](#)]
  - ŠUŠTARŠIČ, Borivoj. *Vrste mehkomagnetnih materialov in njihova uporaba v avtomobilu : predavanje za Slovensko društvo za materiale na temo "Lahke kovine in kompoziti v avtomobilski industriji - izziv mladim za študij tehnike in znanstveno kariero na področju materialov" pod pokroviteljstvom Ministrstva za šolstvo, znanost in šport, v Ljubljani, 13. 12. 2002*. Ljubljana, 2002. [COBISS.SI-ID [272810](#)]
  - ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, KOSEC, Ladislav, DOLINŠEK, Slavko, PODGORNİK, Bojan. The characteristics of vacuum sintered M3/2 type HSSs with MoS<sub>2</sub> addition. *Journal of materials processing technology*, ISSN 0924-0136. [Print ed.], 2003, vol. 143-144, str. 98-104. [COBISS.SI-ID [321450](#)]
  - GODEC, Matjaž, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj. Determination of the effective load-bearing cross-section of sintered steel products = Določanje deleža duktilnega preloma sintranih jeklenih izdelkov. *Materiali in tehnologije*, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], 2003, letn. 37, št. 6, str. 377-380. [COBISS.SI-ID [327850](#)]
  - ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, GUBELJAK, Nenad, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. Effect of delta ferrite content in austenitic steel on structure integrity. V: *New trends in fatigue and fracture II, 12-13 May 2003 Hammamet*. [S.l.: s.n.], 2003, 7 f. [COBISS.SI-ID [7958806](#)]
  - ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, LESKOVŠEK, Vojteh, JUTRIŠA, Gorazd. Lomna žilavost  $K_{IC}$  hitroreznega jekla AISI M-2 = Fracture-toughness  $K_{IC}$  of HSS AISI M-2 type. *Materiali in tehnologije*, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], 2003, letn. 37, št. 6, str. 369-376. [COBISS.SI-ID [327594](#)]
  - GUBELJAK, Nenad, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, VOJVODIČ-TUMA, Jelena, PREDAN, Jožef, OBLAK, Maks. Assessment of the load-bearing capacity of a primary pipeline with the sintap procedure. V: *New trends in fatigue and fracture IV, 10-12 May, 2004, Aleppo*. Aleppo: University of Aleppo, 2004, 14 str. [COBISS.SI-ID [345002](#)]
  - ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, GUBELJAK, Nenad, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. Effect of delta ferrite content on the mechanical properties of cast stainless steel. *Revue internationale d'ingénierie des systèmes de production mécanique*, ISSN 1291-8199, Octobre 2004, no. 8, VIII-48 - VIII-54. [COBISS.SI-ID [9309206](#)]
  - PLUVINAGE, Guy, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, MONTANNARI, F., GILGERT, Joseph, LESKOVŠEK, Vojteh, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. Fracture-mechanics characteristics of M-2-type high-speed steel = Lomno-mehanske značilnosti hitroreznega jekla vrste M-2. *Materiali in tehnologije*, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], 2004, letn. 38, št. 3/4, str. 137-142. [COBISS.SI-ID [359338](#)]

- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, LESKOVŠEK, Vojteh, JUTRIŠA, Gorazd, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. A fracture-toughness  $K_{Ic}$  determination procedure for brittle steels in the rotating-bend mode with precracked cylindrical notched samples. V: *New trends in fatigue and fracture IV, 10-12 May, 2004, Aleppo*. Aleppo: University of Aleppo, 2004, 19 str. [COBISS.SI-ID [344746](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, LESKOVŠEK, Vojteh, VOJVODIČ-TUMA, Jelena, PLUVINAGE, Guy, JODIN, Philippe. The fracture toughness  $K_{Ic}$  of M-2 type high-speed steel determined with two different methods. V: *New trends in fatigue and fracture 5 : 9-10 May 2005, Politecnico di Bari, Italy*. Bari: Politecnico di Bari, 2005, 6 str. (loč. pag.). [COBISS.SI-ID [379562](#)]
- LESKOVŠEK, Vojteh, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, BAKSA, Dani. An assessment of vacuum-heat-treated H11 hot-work tool steel using the  $K_{Ic}/HRC$  ratio. *Steel research*, ISSN 0177-4832, 2006, vol. 77, no. 3, str. 218-223. [COBISS.SI-ID [421802](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj (urednik), JENKO, Monika (urednik). *New trends on fatigue and fracture - NT2F6 : final programme and book of abstracts*. Ljubljana: IMT, 2006. 55 str., ilustr. ISBN 961-91448-5-6. [COBISS.SI-ID [226664704](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, SENČIČ, Bojan, ARZENŠEK, Boris. Notch effect on fatigue strength of 51CrV4Mo spring steel. V: *New trends on fatigue and fracture - NT2F6*, 6-th International Conference on Fatigue and Fracture - NT2F6, May 14-17, 2006 - Brdo pri Kranju, Slovenia. Ljubljana: IMT; Metz: ENIM, 2006, 8 f. [COBISS.SI-ID [524714](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, SENČIČ, Bojan, KAMPUŠ, Zlatko. Determination of fatigue strength of spring steels with high frequency pulzator. V: BEZJAK, Jožica (ur.). *Technical creativity in school's curricula with the form of project learning "From idea to the product" : from the kindergarten to the technical faculty : proceedings : 5th International science symposium = Tehnična ustvarjalnost v šolskem kurikulumu v obliki projektnega učnega dela "Od ideje do izdelka" : od vrtca do fakultetnega tehniškega študija : zbornik prispevkov : 5. Mednarodni znanstveni posvet, 18.-20. april 2007, Portorož, Slovenia*. Ljubljana: Somaru, 2007, str. 74-83. [COBISS.SI-ID [610986](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, SENČIČ, Bojan, LESKOVŠEK, Vojteh. Fatigue strength of spring steels and life-time prediction of leaf springs. V: MELNIKOV, B. E. (ur.), PETINOV, Sergei Vladimirovich (ur.), HANGU, Yu. E. (ur.). *Assessment of reliability of materials and structures [also] RELMAS'2008, St. Petersburg, Russia, June 17-20, 2008 : problems and solutions : international conference. Volume 1*. St. Petersburg: Polytechnical Publishing House, 2008, str. 361-366. [COBISS.SI-ID [684970](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, VOJVODIČ-TUMA, Jelena, JENKO, Monika, GUBELJAK, Nenad. Fracture mechanics characteristics of stainless steel cast alloy. V: MELNIKOV, B. E. (ur.), PETINOV, Sergei Vladimirovich (ur.), HANGU, Yu. E. (ur.). *Assessment of reliability of materials and structures [also] RELMAS'2008, St. Petersburg, Russia, June 17-20, 2008 : problems and solutions : international conference. Volume 1*. St. Petersburg: Polytechnical Publishing House, 2008, str. 366-373. [COBISS.SI-ID [684458](#)]
- LESKOVŠEK, Vojteh, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj. Effect of microstructure on the fracture toughness of a vacuum-heat treated ESR M2 high-speed steel. V: *Proceedings of the 17th IFHTSE congress, 17th International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering, October 27-30, 2008, Kobe, Japan*. Tokyo: The Japan Society for Heat Treatment, 2009, str. 529-532. [COBISS.SI-ID [763050](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, BORKOVIČ, Predrag, EICHLSEDER, Wilfried, GERSTMAYR, G., JAVIDI, A., SENČIČ, Bojan. Fatigue strength and microstructural features of spring steel. V: *New trends in fatigue and fracture : NT2F10 METZ*. [S. l.: s. n.], 2010, 12 f. [COBISS.SI-ID [824490](#)]
- ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, LESKOVŠEK, Vojteh, RAVNIČAN, Jože. FEM simulation of the design optimization of a hot forging die and its heat treatment. *Transactions of FAMENA*, ISSN 1333-1124, 2010, vol. 34, no. 2, str. 1-12. [COBISS.SI-ID [823978](#)]

- CELIN, Roman, TEHOVNIK, Franc, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, VODE, Franci, ARZENŠEK, Boris, ŽUŽEK, Borut, VODOPIVEC, Franc, VOJVODIČ-TUMA, Jelena. *Poročilo o analizi poškodb na lopatici rotorja CW črpalke : rev. 1.* Ljubljana: Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 2010. 16 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [821930](#)]
- MALEŠEVIĆ, Milan, VOJVODIČ-TUMA, Jelena, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, BORKOVIĆ, Predrag. Prediction of the mechanical properties of cast Cr-Ni-Mo stainless steels with a two-phase microstructure = Napoved mehanskih lastnosti litih Cr-Ni-Mo nerjavnih jekel z dvofazno mikrostrukturo. *Materiali in tehnologije*, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], 2011, letn. 45, št. 4, str. 369-374. <http://www.imt.si/Revija/>. [COBISS.SI-ID [866986](#)]
- BORKOVIĆ, Predrag, ŠUŠTARŠIČ, Borivoj, MALEŠEVIĆ, Milan, ŽUŽEK, Borut, PODGORNIK, Bojan, LESKOVŠEK, Vojteh. Fatigue-life behaviour and a lifetime assessment of a double-leaf spring using FEM-based software = Utrujanje in ocena dobe trajanja dvolistnatih vzmeti z uporabo MKE-orodja. *Materiali in tehnologije*, ISSN 1580-2949. [Tiskana izd.], jul.-avg. 2012, letn. 46, št. 4, str. 345-349. <http://www.imt.si/Revija/>. [COBISS.SI-ID [927658](#)]

Mentor/komentor/sodelavec pri diplomah, magisterijih in doktoratih:

- TRTNIK, Andrej. *Material za elektrode za elektrouporovno točkasto varjenje : diplomsko delo.* Ljubljana: [A. Trtnik], 2006. 49 str., grafični prikazi. [COBISS.SI-ID [649311](#)]
- PIREČNIK, Luka. *Tehnologija izdelave mehko magnetnih jeder za dele zaznaval in aktuatorjev : diplomska naloga univerzitetnega študija.* Ljubljana: [L. Pirečnik], maj 2010. 84 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [810666](#)]
- BERGINC, Boštjan. *Vplivni dejavniki tehnologije visokotlačnega brizganja kovinskih prašnatih materialov : [doktorsko delo].* Ljubljana: [B. Berginc], 2008. 165 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [10478107](#)]
- PAULIN, Irena. *Sinteza in karakterizacija aluminijevih pen : doktorska disertacija = Synthesis [!] and characterization of aluminium foams : doctoral dissertation.* Ljubljana: [I. Paulin], 2011. XII, 123 str., ilustr., tabele. [COBISS.SI-ID [256890880](#)]
- BORKOVIĆ, Predrag. *Fatigue life prediction and modeling of spring steels depending on technological effects : doctoral dissertation = Napoved življenjske dobe in modeliranje vzmetnih jekel v odvisnosti od tehnoloških vplivov : doktorska disertacija.* Ljubljana: [P. Borković], 2014. X, 133 str., ilustr. [COBISS.SI-ID [277286144](#)]
- SENČIČ, Bojan. *Lomna žilavost vzmetnih jekel : doktorska disertacija = Fracture toughness of spring steels : doctoral dissertation.* Ljubljana: [B. Senčič], 2014. XII, 226 str., ilustr. [COBISS.SI-ID [276574720](#)]

Ostalo:

- Član uredniškega odbora revije *Materiali in tehnologije od leta 2009.* [Tiskana izd.]. Ljubljana: Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 2000-. ISSN 1580-2949. <http://mit.imt.si/Revija/index-slo.html>. [COBISS.SI-ID [106193664](#)]
- Recenzent pri tujih in domačih strokovno-znanstvenih revijah in projektih EU, Češka, Slovaška, Poljska, Slovenija, Indija, Francija, ZDA itd.