

IZDELOVALNE TEHNOLOGIJE 1

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Izdelovalne tehnologije 1
Course title:	Production Technologies 1
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)	2. letnik	2. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0562757
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	2019-U

Predavanja /Lectures	Seminar /Seminar	Vaje /Tutorials	Klinične vaje /Clinical tutorials	Druge oblike študija /Other forms of study	Samostojno delo /Individual student work	ECTS
45		30			50	5

Nosilec predmeta/Lecturer:	izr. prof. dr. Tomaž Pepelnjak, prof. dr. Franci Pušavec
-----------------------------------	--

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:

Meeting the enrollment conditions for the Academic study programme of Mechanical Engineering - Research and Development program.

Vsebina:

- Opredelevanje odrezovalnih procesov
 - Opredelevanje odrezavanja
 - Obdelovalnost
 - Trendi odrezovalnih procesov
- 2. Uvod in delitev postopkov
 - Uvod v odrezavanje

Content (Syllabus outline):

- Definition of machining processes
 - Definition of machining
 - Machining performance
 - Trends in machining processes
- 2. Introduction and division of processes
 - Introduction to machining

- Osnovni pojmi - Delitev odrezovalnih postopkov 3. Osnovni principi tvorbe odrezkov - Ortogonalni model odrezavanja - Struženje - Frezanje 4. Drugi široko uporabljeni postopki - Vrtanje - Povrtavanje - Posnemanje 5. Načrtovanje odrezovalnih tehnologij - Načrtovanje tehnologij - Določevanje obdelovalnih parametrov - Strategije obdelave 6. Uvod v CAM - Opredelitev povezave CAD/CAM - Koncepti kinematike obdelovalnih strojev - Osnovni postopki CAM 7. Fini naknadni postopki odrezavanja - Vpliv odrezovalnih procesov na kakovost izdelkov - Odrezovalni procesi za hitro prototipiranje - Naknadne obdelave aditivno izdelanih izdelkov 8. Uvod v postopke preoblikovanja - Delitev postopkov preoblikovanja - Kriteriji za izbiro postopkov preoblikovanja (kdaj izbrati preoblikovanje, katero tehnologijo izbrati za predpisan izdelek), vpliv izbranega materiala na potek preoblikovalnega postopka - Natančnost postopkov preoblikovanja (odvisnost od izbrane tehnologije, velikosti izdelka, uporabljanega materiala) - Primerjava lastnosti izdelka po preoblikovanju in ostalih konkurenčnih tehnologijah izdelave, vpliv na izbiro materiala 9. Preoblikovanje pločevinskih izdelkov - Osnove glavnih postopkov preoblikovanja pločevine; delitev glede na napetostno-deformacijsko stanje v material, specifične posamezne skupine postopkov - Predstavitev postopkov preoblikovanja za pripravo surovcev pred preoblikovanjem in dodelave preoblikovancev (razrez materiala, vlečenje vratov, uvaljanje navojev, itd.) - Alternativni postopki preoblikovanja pločevine (postopno preoblikovanje, potisno rotacijsko preoblikovanje, superplastično preoblikovanje, eksplozijsko preoblikovanje, elektro-magnetno preoblikovanje) 10. Predelava masivnih kovinskih izdelkov s postopki preoblikovanja - Vrste predelave masivnih surovcev s postopki preoblikovanja - Priprava surovcev pred masivnim preoblikovanjem, vpliv izbrane tehnologije preoblikovanja na predpripravo surovcev - Predstavitev glavnih skupin postopkov (valjanje, iztiskavanje, vlečenje profilov in palic, itd.) 11. Osnove izdelave polimernih izdelkov s	- Basic concepts - Division of machining processes 3. Basic principles of chip formation - Orthogonal cutting model - Turning - Milling 4. Other widely used processes - Drilling - Reaming - Broaching 5. Design of machining technologies - Technology design - Determination of process parameters - Machining strategies 6. Introduction to CAM - CAD / CAM connection definition - Concepts of machine tool kinematics - Basic CAM procedures 7. Finishing machining operations - Influence of machining processes on product quality - machining processes for rapid prototyping - Post-processing of additively manufactured products 8. Introduction to forming processes - Overview on forming processes - Criteria for selecting the forming processes (when to choose forming, which technology to choose for the prescribed product), the influence of selected material on the forming process - The precision of forming processes (depending on the selected technology, product size, used material) - Comparison of product properties after forming with other competing manufacturing technologies, influence on material selection 9. Forming of sheet metal products - Basics of main sheet metal forming processes; classification according to the stress-strain state in the material, the specifics of each group of processes - Presentation of the forming process procedures for the preparation of workpieces before forming and adaptation of formed parts (cutting of material, neck pulling, thread rolling, etc.) - Alternative sheet metal forming processes (incremental forming, flow-forming, superplastic forming, explosion forming, electromagnetic forming) 10. Processing of bulk metal products by forming processes - Types of processing of bulk feedstock by forming processes - Preparation of billets before bulk forming, the influence of the selected forming technology on the preparation of billets - Presentation of the main process groups (rolling, extrusion, drawing of profiles and bars, etc.) 11. Fundamentals of polymer product manufacturing by forming
---	--

preoblikovanjem - Primerjava preoblikovanja kovinskih in polimernih preoblikovancev, lastnosti izdelkov, dosegljive oblike in tolerance - Potrebni tehnološki pogoji za posamezne procese preoblikovanja polimernih materialov (načini predelave, vrste uporabljenih materialov, itd.) - Opredelitev izbire tehnologije preoblikovanja polimerov glede na oblikovno-mehanske zahteve izdelka 12. Oprema za izvedbo preoblikovalnih postopkov - Ključne lastnosti preoblikovalnih orodij za velike, srednje in male serije izdelkov - Karakteristike strojev za preoblikovanje; omejitve, ključni parametri za izbiro stroja - Oprema za posluževanje preoblikovalnih strojev; vplivi na izbiro opreme 13. Trajnostni vidiki preoblikovanja - Izbira materiala - Izbira procesa - Ukrepi za zmanjševanje porabe virov (materiala in energije za predelavo) - Ukrepi za zmanjševanje porabe energije pri delovanju preoblikovalnih strojev 14. Recikliranje materiala pri preoblikovanju in skrajševanje proizvodnih verig - Načini recikliranja materiala - Prednosti, slabosti in omejitve pri recikliranju kovinskih materialov - Prednosti, slabosti in omejitve pri recikliranju polimernih materialov - Načini skrajševanja postopkov reciklaže kovin 15. Celostna primerjava med odrezavanjem in preoblikovanjem - Ekonomika pri odrezavanju - Ekonomika pri preoblikovanju - Meja med odrezavanjem in preoblikovanjem	- Comparison of metal and polymer material forming, product properties, achievable design and tolerances - Required technological conditions for individual forming processes of polymeric materials (methods of processing, types of used materials, etc.) - Defining the selection of polymer forming technology according to the product geometrical-mechanical requirements 12. Equipment for performing forming operations - Key features of forming tools for large, medium and small batch production - Characteristics of forming machines; limitations, key parameters for machine selection - Equipment for handling of forming machine tools; impacts on equipment selection 13. Sustainable aspects of forming - Material selection - Process selection - Measures to reduce the use of resources (material and energy used for part production) - Measures to reduce the energy consumption of forming machines 14. Recycling of materials in forming and shortening of production chains - Methods of material recycling - Advantages, disadvantages and limitations of recycling metallic materials - Advantages, disadvantages and limitations of recycling polymer materials - Methods for shortening of metal recycling processes 15. Comprehensive comparison between machining and forming - Machining economics - Economics in forming - The boundary between machining and forming
--	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. J. Kopač, Odrezavanje: teoretične osnove in tehnološki napotki. Ljubljana [i. e.] Domžale: [samozal.] J. Kopač, 2008, str. 264. ISBN 978-961-245-583-5, [COBISS.SI-ID [241209856](#)]
2. G. Globočki-Lakić, D. Kramar, in J. Kopač, Metal cutting: theory and applications. Banja Luka; Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering; Faculty of Mechanical Engineering, 2014, str. XIII, 221. ISBN 978-99938-39-49-1, [COBISS.SI-ID [277173760](#)]
3. F. Pušavec in J. Kopač, Trajnostni razvoj obdelovalnih procesov = Sustainable development of manufacturing processes. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2010, str. 1 zv. [COBISS.SI-ID [11388187](#)]
4. H. Muren, Odrezavanje in odnašanje: 388 slik, 138 razpredelnice, 1. natis. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 1995, str. IX, 639. ISBN 86-7217-117-9, [COBISS.SI-ID [50564352](#)]
5. F. Čuš, Visokohitrostno rezanje in posebni postopki obdelav, 1. nat. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2004, str. 338. ISBN 86-435-0639-7, [COBISS.SI-ID [53430785](#)]
6. Goligranc, F. (1987). Uvod v preoblikovanje (2. predelana in razširjena izd., str. III, 180). Fakulteta za strojništvo. <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-VB79Z4G6>, [COBISS.SI-ID [401413](#)]
7. Kampuš, Z., & Kuzman, K. (2016). Priporočila preoblikovanja (2. izd., str. IV, 78). Fakulteta za strojništvo., [COBISS.SI-ID [283051776](#)]
8. Injection molding handbook (str. XVII, 748). (2002). C. Hanser Verlag; Hanser Gardner Publications., [COBISS.SI-ID [4936475](#)]

Cilji in kompetence:

Cilji: 1. Pridobiti splošna znanja o izdelovalnih tehnologijah (odrezavanje in preoblikovanje), ki so potrebne za optimalno in tržno sprejemljivo snovanje končnega izdelka. 2. Praktični prikaz in seznanitev s tehnologijami in stroji za preoblikovanje in odrezovanje. 3. Poznavanje izračunov časa obdelave za doseg optimalnih parametrov. 4. Predstavitev ekonomske upravičenosti obdelovalnih tehnologij ob upoštevanju fiksnih in variabilnih stroškov, glede na število kosov/izdelkov v seriji. Kompetence: 1. P3-RRP + S1-RRP: Temeljna usposobljenost na področju obdelovalnih tehnologij, ki omogoča nadaljevanje študija v magistrskem študijskem programu. 2. P5-RRP + S4-RRP: Sposobnost strokovnega sporazumevanja in pisnega izražanja s področja obdelovalnih tehnologij. 3. P6-RRP + S7-RRP: Sposobnost iskanje virov, kritične presoje informacij, samostojnega nadgrajevanja pridobljenih znanj in poglobljanje znanj na posameznih področjih obdelovalnih tehnologij.
--

Objectives and competences:

Objectives: 1. To acquire general knowledge of production technologies (machining and forming) necessary for the optimal and commercially acceptable design of the finished product. 2. Practical demonstration and familiarization with technologies and machines for forming and machining. 3. Knowledge of processing time calculations to achieve optimal parameters. 4. Presentation of the economic viability of the processing technologies, taking into account fixed and variable costs, depending on the number of pieces / products in the batch. Competences: 1. P3-RRP + S1-RRP: Basic competence in the field of manufacturing technologies, enabling further study in the master's degree program. 2. P5-RRP + S4-RRP: Ability to communicate professionally and express themselves in the field of manufacturing technologies. 3. P6-RRP + S7-RRP: Ability to search for resources, critically evaluate information, independently upgrade acquired knowledge and deepen knowledge in particular fields of manufacturing technologies.

Predvideni študijski rezultati:

Znanja: Z.1: Poglobljeno strokovno teoretično in praktično znanje na področju tehnologij odrezavanja in preoblikovanja materialov, podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo za izbiro in izvedbo ustrezne tehnologije. Spretnosti: S1.1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih opravil s področja tehnologij odrezavanja in preoblikovanja kovinskih in nekovinskih materialov, ki vključujejo tudi uporabo metodoloških orodij in modelov. S1.2 Obvladovanje zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov ob samostojni uporabi znanja s področja tehnologij odrezavanja in preoblikovanja materialov v novih delovnih situacijah. S1.4 Izvajanje kritične presoje izbire tehnološkega postopka odrezavanja, preoblikovanja ali njune kombinacije za kakovostno proizvodnjo izdelkov z redno kritično refleksijo izbrane kombinacije tehnologij.
--

Intended learning outcomes:

Knowledge: Z.1: In-depth professional theoretical and practical knowledge in the field of machining and forming technologies, supported by a broader theoretical and methodological basis for the selection and implementation of appropriate technology. Skills: S1.1 Performing complex operational and technical tasks in the field of machining and forming technologies of metal and non-metallic materials, which also include the use of methodological tools and models. S1.2 Mastering demanding, complex workflows while independently using knowledge of cutting and material forming technologies in new work situations. S1.4 Perform a critical appraisal on the selected technological process of machining, forming or a combination thereof for quality production of products with regular critical reflection of the selected combination of technologies.

Metode poučevanja in učenja:

P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih – za področje značilnih – teoretičnih in praktično uporabnih primerov. P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri

Learning and teaching methods:

P1 Lectures by solving selected - typical - theoretical and practical examples. P3 Practical classes where theoretical knowledge from lectures is supported by computational examples

P4 Laboratorijske vaje v laboratoriju na obdelovalnih strojih P6 Interaktivna predavanja P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog P15 Uporaba video vsebin kot priprava na predavanje in vaje.	P4 Laboratory exercises in the laboratory on machine tools P6 Interactive Lectures P8 Design and presentation of applied seminar work P15 Use video content to prepare for lectures and tutorials.
---	---

Načini ocenjevanja:	Delež/Weight	Assessment:
Teoretične vsebine (predavanja).	50,00 %	Theoretical content (lectures).
Delo na laboratorijskih vajah (vključno s poročili).	50,00 %	Laboratory work (including reports).

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:

Franci Pušavec:

1. GRGURAŠ, Damir, KERN, M., **PUŠAVEC, Franci**. Cutting performance of solid ceramic and carbide end milling tools in machining of nickel based alloy Inconel 718 and stainless steel 316L. Advances in production engineering & management. Mar. 2019, vol. 14, no. 1, str. 27-38, ilustr. ISSN 1854-6250. http://apem-journal.org/Archives/2019/APEM14-1_027-038.pdf, <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-G1MG23EE>, DOI: 10.14743/apem2019.1.309. [COBISS.SI-ID [16539931](#)]
2. **PUŠAVEC, Franci**, GRGURAŠ, Damir, KOCH, Matthias, KRAJNIK, Peter. Cooling capability of liquid nitrogen and carbon dioxide in cryogenic milling. CIRP annals. 2019, vol. 68, iss. 1, str. 73-76, ilustr. ISSN 0007-8506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850619300174>, DOI: 10.1016/j.cirp.2019.03.016. [COBISS.SI-ID [16614427](#)]
3. KHANNA, Navneet, SHAH, Prassan, AGRAWAL, Chetan, **PUŠAVEC, Franci**, HEGAB, Hussien. Inconel 718 machining performance evaluation using indigenously developed hybrid machining facilities : experimental investigation and sustainability assessment. International journal of advanced manufacturing technology. 2020, vol. 106, str. 4987-4999, ilustr. ISSN 0268-3768. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-04921-x#Abs1>, DOI: 10.1007/s00170-020-04921-x. [COBISS.SI-ID [17046299](#)]
4. IKRAM, Awais, AWAIS, Muhammad, SHERIDAN, Richard Stuart, WALTON, Allan, KOBE, Spomenka, **PUŠAVEC, Franci**, ŽUŽEK ROŽMAN, Kristina. Limitations in the grain boundary processing of the recycled HDDR Nd-Fe-B system ... [et al.]. Materials. Aug. 2020, vol. 13, iss. 16, f. 1-17, ilustr. ISSN 1996-1944. <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/16/3528>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=134379>, DOI: 10.3390/ma13163528. [COBISS.SI-ID [25316867](#)]
5. COURBON, Cedric, STERLE, Luka, CICI, Mehmet, **PUŠAVEC, Franci**. Tribological effect of lubricated liquid carbon dioxide on TiAl6V4 and AISI1045 under extreme contact conditions. V: BAMBACH, Markus (ur.). 23rd International Conference on Material Forming : [4th - 8th May, 2020, online]. Amsterdam: Elsevier, 2020. Vol. 47, str. 511-516, ilustr. Procedia manufacturing, vol. 47. ISSN 2351-9789. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920311951>, DOI: 10.1016/j.promfg.2020.04.139. [COBISS.SI-ID [74462979](#)]

Tomaž Pepelnjak:

1. MILUTINOVIĆ, Mladimir, LENDJEL, Robert, BALOŠ, Sebastian, LABUS ZLATANOVIĆ, Danka, SEVŠEK, Luka, **PEPELNJAK, Tomaž**. Characterisation of geometrical and physical properties of a stainless steel denture framework manufactured by single-point incremental forming. Journal of Materials Research and Technology. Jan.-Feb. 2021, vol. 10, str. 605-623, ilustr. ISSN 2238-7854. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420320883?via%3Dihub>, Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL, DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.12.014. [COBISS.SI-ID [45026819](#)]
2. STEINER PETROVIĆ, Darja, ŠTURM, Roman, **PEPELNJAK, Tomaž**. Characterization of macroscopic mechanical anisotropy of magnetocaloric gadolinium cylinders. JOM : The journal of

minerals, metals and materials society. 2019, vol. 71, no. 9, str. 3151-3158, ilustr. ISSN 1047-4838. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03521-9>, DOI: 10.1007/s11837-019-03521-9. [COBISS.SI-ID [1509034](#)]

3. STARMAN, Bojan, MAČEK, Andraž, **PEPELNJAK, Tomaž**, HALILOVIČ, Miroslav, COPPIETERS, Sam. Out-of-plane shear testing of anisotropic sheet metals using double bridge shear test. V: Material Forming : ESAFORM 2025 : the 28th International ESAFORM Conference on Material Forming – ESAFORM 2025, Paestum (Italy), 7-9 May, 2025. Millersville: Materials Research Forum LLC, 2025. Str. 1520-1527, ilustr. Materials research proceedings (Online), 54. ISBN 978-1-64490-359-9. ISSN 2474-395X. <https://mrforum.com/product/9781644903599-164/>, DOI: 10.21741/9781644903599-164. [COBISS.SI-ID [236162563](#)]
4. SEVŠEK, Luka, **PEPELNJAK, Tomaž**. Optimisation of flexible forming processes using multilayer perceptron artificial neural networks and genetic algorithms : a generalised approach for advanced high-strength steels. Materials. 2024, vol. 17, iss. 22, [art. no.] 5459, str. 1-36, ilustr. ISSN 1996-1944. <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/22/5459>, Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL, DOI: 10.3390/ma17225459. [COBISS.SI-ID [214479619](#)]
5. BIČEK, Matej, **PEPELNJAK, Tomaž**, PUŠAVEC, Franci. Production aspect of direct drive in-wheel motors. V: BUTALA, Peter (ur.), GOVEKAR, Edvard (ur.), VRABIČ, Rok (ur.). 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS), Ljubljana, Slovenia, June 12-14, 2019. Amsterdam: Elsevier, 2019. Vol. 81, f. 1278-1283, ilustr. Procedia CIRP, vol. 81. ISSN 2212-8271. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119306237>, DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.308. [COBISS.SI-ID [16676379](#)]