

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Napredni preoblikovalni procesi
Course title:	ADVANCED FORMING PROCESSES
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

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

Univerzitetna koda predmeta/University course code: 0566835

Koda učne enote na članici/UL Member course code: 6047-M

Predavanja	Seminar	Vaje	Klinične vaje	Druge oblike študija	Samostojno delo	ECTS
30		30			65	5

Nosilec predmeta/Lecturer: Tomaž Pepelnjak

Vrsta predmeta/Course type: Obvezni strokovni predmet na smeri Proizvodno strojništvo, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Production Engineering, 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):**

<p>1. Predavanje: Kriteriji vrednotenja postopkov preoblikovanja kovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Predstavitev preoblikovalnih lastnosti pomembnih za izvedbo zahtevnih preoblikovalnih operacij - Preoblikovalnost materiala - krivulje mejnih deformacij pločevine in masivnih materialov, vplivi na 	<p>1. Predavanje: Kriteriji vrednotenja postopkov preoblikovanja kovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Predstavitev preoblikovalnih lastnosti pomembnih za izvedbo zahtevnih preoblikovalnih operacij - Preoblikovalnost materiala - krivulje mejnih deformacij pločevine in masivnih materialov, vplivi na
--	--

<p>preoblikovalnost</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procesne omejitve - Omejitve orodja - Omejitve stroja <p>2. Predavanje: Natezno-tlačno preoblikovanje pločevin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovni pojmi in procesne omejitve - Napredni koncepti natezno-tlačnega preoblikovanja pločevine - Prilagodljiva orodja (polimerna, slojevita orodja ...) - Prilagajanje procesnih parametrov med izvedbo procesa (prilagodljivo pridrževanje) - kombinacije natezno-tlačnega preoblikovanja pločevine in masivnega preoblikovanja (stanjševalni vlek, izdelava ozobij ...) <p>3. Predavanje: Upogibno preoblikovanje pločevin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovni pojmi, procesne omejitve - Napredni koncepti upogibanja pločevine - Uporaba prilagodljivih orodij - Prilagajanje procesnih parametrov med proizvodnjo glede na vhodne parametre materiala - 3D fleksibilno krivljenje <p>4. Predavanje: Mikropreoblikovanje</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovni pojmi koncepta mikropreoblikovanja - Procesne omejitve pogojene s potekom postopka in uporabljanim materialom - Vpliv velikosti (size effect) na proces preoblikovanja <p>5. Predavanje: Preoblikovanje visokotrdnostnih jekel in vroče preoblikovanje pločevine</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problematika preoblikovanja visokotrdnostnih jekel - Koncepti za dvig kakovosti pri preoblikovanju - Ukrepi za zmanjševanje elastičnega izravnavanja - Opredelitev pogojev vročega preoblikovanja - Tehnologija vročega preoblikovanja pločevine (hot stamping) <p>6. Predavanje: Postopki preoblikovanja z medijem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev pogojev preoblikovanja z medijem, delitev postopkov glede na izvedbo procesa - Karakterizacija visokotlačnega in nizkotlačnega preoblikovanja - Procesni parametri in njihovi vplivi na kakovost preoblikovanja <p>7. Predavanje: Tehnologije maloserijske izdelave pločevinskih izdelkov s preoblikovanjem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inkrementalno preoblikovanje - karakterizacija procesa, prednosti in slabosti - Omejitve procesa s stališča materialov, procesnih parametrov, izvedbe procesa - Dosegljiva izdelovalna natančnost procesa, vplivi na natančnost procesa <p>8. Predavanje: Večosno tlačno preoblikovanje kovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev napetostno-deformacijskih pogojev pri iztiskavanju - Omejitve posameznih postopkov, tehnološke meje - Dopustne obremenitve orodij in določitev 	<p>preoblikovalnost</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procesne omejitve - Omejitve orodja - Omejitve stroja <p>2. Predavanje: Natezno-tlačno preoblikovanje pločevin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovni pojmi in procesne omejitve - Napredni koncepti natezno-tlačnega preoblikovanja pločevine - Prilagodljiva orodja (polimerna, slojevita orodja ...) - Prilagajanje procesnih parametrov med izvedbo procesa (prilagodljivo pridrževanje) - kombinacije natezno-tlačnega preoblikovanja pločevine in masivnega preoblikovanja (stanjševalni vlek, izdelava ozobij ...) <p>3. Predavanje: Upogibno preoblikovanje pločevin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovni pojmi, procesne omejitve - Napredni koncepti upogibanja pločevine - Uporaba prilagodljivih orodij - Prilagajanje procesnih parametrov med proizvodnjo glede na vhodne parametre materiala - 3D fleksibilno krivljenje <p>4. Predavanje: Mikropreoblikovanje</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovni pojmi koncepta mikropreoblikovanja - Procesne omejitve pogojene s potekom postopka in uporabljanim materialom - Vpliv velikosti (size effect) na proces preoblikovanja <p>5. Predavanje: Preoblikovanje visokotrdnostnih jekel in vroče preoblikovanje pločevine</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problematika preoblikovanja visokotrdnostnih jekel - Koncepti za dvig kakovosti pri preoblikovanju - Ukrepi za zmanjševanje elastičnega izravnavanja - Opredelitev pogojev vročega preoblikovanja - Tehnologija vročega preoblikovanja pločevine (hot stamping) <p>6. Predavanje: Postopki preoblikovanja z medijem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev pogojev preoblikovanja z medijem, delitev postopkov glede na izvedbo procesa - Karakterizacija visokotlačnega in nizkotlačnega preoblikovanja - Procesni parametri in njihovi vplivi na kakovost preoblikovanja <p>7. Predavanje: Tehnologije maloserijske izdelave pločevinskih izdelkov s preoblikovanjem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inkrementalno preoblikovanje - karakterizacija procesa, prednosti in slabosti - Omejitve procesa s stališča materialov, procesnih parametrov, izvedbe procesa - Dosegljiva izdelovalna natančnost procesa, vplivi na natančnost procesa <p>8. Predavanje: Večosno tlačno preoblikovanje kovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev napetostno-deformacijskih pogojev pri iztiskavanju - Omejitve posameznih postopkov, tehnološke meje - Dopustne obremenitve orodij in določitev
---	---

<p>preoblikovalnih sil</p> <p>9. Predavanje: Orodja in orodni sistemi za preoblikovanje kovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev problematike obremenjevanja aktivnih delov preoblikovalnega orodja - Koncepti zgradbe preoblikovalnih orodij, glavni sklopi orodja in njihove karakteristike - Uravnavanje razmerij napetosti preoblikovalnih orodij skladno z njihovimi obremenitvami <p>10. Predavanje: Brizganje in napredni postopki brizganja podprti s plinom/vodo (GIT in WIT)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Karakteristike in parametri procesa brizganja - Karakteristike procesa brizganja podprtega s plinom - Karakteristike procesa brizganja podprtega z vodo - Procesne izboljšave brizganja podprtega s plinom/vodo in specifične obeh procesov napram procesu klasičnega brizganja - Napake pri brizganju podprtem s plinom/vodo - Potrebna oprema za brizganje podprto s plinom/vodo <p>11. Predavanje: Brizganje večkomponentnih izdelkov (2K in več-K)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnove in koncepti 2K tehnologije brizganja - Izvedbe postopkov 2K brizganja in specifične posamezne različice - Orodni koncepti 2K brizganja, prednosti in slabosti 2K tehnologije <p>12. Predavanje: Tehnologije predelave polimerov za izdelave malih serij funkcionalnih izdelkov</p> <ul style="list-style-type: none"> - Karakterizacija maloserijske proizvodnje - Polimerni orodni koncepti za brizganje malih serij, njihove prednosti in slabosti - Inkrementalno preoblikovanje polimernih plošč v hladnem ali lokalno ogretem stanju, prednosti in slabosti postopka <p>13. Predavanje: Sodobna oprema za brizganje</p> <ul style="list-style-type: none"> - Predstavitev sestavnih delov orodja - Delitev orodij glede na način dovajanja taline - Senzorika v brizgalnih orodjih, načini krmiljenja procesa in sodobni avtomatizirani brizgalni stroji <p>14. Predavanje: Preoblikovanje polimernih kompozitnih materialov</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev pojma kompozitnega materiala in njegovih prednosti pred neojačanim polimernim materialom - Preoblikovanje kratko-vlakenskih kompozitov - Preoblikovanje dolgo-vlakenskih termoplastičnih kompozitov - Preoblikovanje dolgo-vlakenskih duroplastičnih kompozitov <p>15. Predavanje: Kriteriji izbire tehnologije preoblikovanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev kriterijev za izbiro tehnologije preoblikovanja kovinskih izdelkov 	<p>preoblikovalnih sil</p> <p>9. Predavanje: Orodja in orodni sistemi za preoblikovanje kovin</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev problematike obremenjevanja aktivnih delov preoblikovalnega orodja - Koncepti zgradbe preoblikovalnih orodij, glavni sklopi orodja in njihove karakteristike - Uravnavanje razmerij napetosti preoblikovalnih orodij skladno z njihovimi obremenitvami <p>10. Predavanje: Brizganje in napredni postopki brizganja podprti s plinom/vodo (GIT in WIT)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Karakteristike in parametri procesa brizganja - Karakteristike procesa brizganja podprtega s plinom - Karakteristike procesa brizganja podprtega z vodo - Procesne izboljšave brizganja podprtega s plinom/vodo in specifične obeh procesov napram procesu klasičnega brizganja - Napake pri brizganju podprtem s plinom/vodo - Potrebna oprema za brizganje podprto s plinom/vodo <p>11. Predavanje: Brizganje večkomponentnih izdelkov (2K in več-K)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnove in koncepti 2K tehnologije brizganja - Izvedbe postopkov 2K brizganja in specifične posamezne različice - Orodni koncepti 2K brizganja, prednosti in slabosti 2K tehnologije <p>12. Predavanje: Tehnologije predelave polimerov za izdelave malih serij funkcionalnih izdelkov</p> <ul style="list-style-type: none"> - Karakterizacija maloserijske proizvodnje - Polimerni orodni koncepti za brizganje malih serij, njihove prednosti in slabosti - Inkrementalno preoblikovanje polimernih plošč v hladnem ali lokalno ogretem stanju, prednosti in slabosti postopka <p>13. Predavanje: Sodobna oprema za brizganje</p> <ul style="list-style-type: none"> - Predstavitev sestavnih delov orodja - Delitev orodij glede na način dovajanja taline - Senzorika v brizgalnih orodjih, načini krmiljenja procesa in sodobni avtomatizirani brizgalni stroji <p>14. Predavanje: Preoblikovanje polimernih kompozitnih materialov</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev pojma kompozitnega materiala in njegovih prednosti pred neojačanim polimernim materialom - Preoblikovanje kratko-vlakenskih kompozitov - Preoblikovanje dolgo-vlakenskih termoplastičnih kompozitov - Preoblikovanje dolgo-vlakenskih duroplastičnih kompozitov <p>15. Predavanje: Kriteriji izbire tehnologije preoblikovanja</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev kriterijev za izbiro tehnologije preoblikovanja kovinskih izdelkov
---	---

<ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev kriterijev za izbiro tehnologije preoblikovanja nekovinskih izdelkov - Vrednotenje izvedljivosti postopka - Vrednotenje obremenitev orodij, izbira vrste stroja (kinematika gibanja, hitrosti procesa ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Opredelitev kriterijev za izbiro tehnologije preoblikovanja nekovinskih izdelkov - Vrednotenje izvedljivosti postopka - Vrednotenje obremenitev orodij, izbira vrste stroja (kinematika gibanja, hitrosti procesa ...)
--	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Heinz Tschätsch: Metal Forming Practise: Processes - Machines - Tools, Springer Verlag, 2007.
2. Skupina avtorjev: Sheet Metal Forming: Processes and Applications, urednika: Taylan Altan, A. Erman Tekkaya, ASM International, 2012.
3. Dixit, Uday S., Narayanan, R. Ganesh: Metal Forming: Technology and Process Modelling, Tata McGraw-Hill Education, 2013.
4. Osswald, T.A.; Turng, L.S., Gramann, P. J.: Injection molding handbook: C. Hanser Verlag; 2002.
5. Vollertsen, F.: Micro Metal Forming, Springer Science & Business Media, 2013.
6. Skupina avtorjev: Advanced materials in automotive engineering, (Ed. J. Rowe), Woodhead Publishing Limited, 2012.
7. Kampuš, Z.; Kuzman, K.: Priporočila preoblikovanja, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, 2014.
8. Gologranc, F.: Preoblikovanje, 1.del; Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, 1991.
9. Gologranc, F.: Preoblikovanje, 2.del - Masivno preoblikovanje; Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, 1999.

Cilji in kompetence:

Objectives and competences:

<p>Cilji:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Spoznati sposobnosti izdelave proizvodov z naprednimi procesi preoblikovanja in izbirati ustrezen tehnološki proces. 2. Poglobljeno spoznati standardne in inovativne procese preoblikovanja kovinskih in nekovinskih gradiv in optimirati njihove vplivne parametre. 3. Na osnovi poznavanja obstoječih preoblikovalnih procesov snovati preoblikovalne procese in njihove ključne tehnološke parametre. 4. Poglobljeno razumevanje inovativnih preoblikovalnih konceptov, sintetično razumevanje pridobljenih znanj iz dostopnih virov in snovanje novih inovativnih rešitev preoblikovalnih postopkov. <p>Kompetence:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S2-MAG+S8-MAG+P5-MAG Sposobnost identifikacije ustreznosti naprednega preoblikovalnega procesa za izdelavo produkta. 2. P7-MAG +S10-MAG Sposobnosti izbire preoblikovalne tehnologije, in optimalnih parametrov procesa. 3. S10-MAG+P3-MAG+P4-MAG: Sposobnost snovanja naprednih in inovativnih preoblikovalnih procesov za izdelavo tehnološko najzahtevnejših 	<p>Objectives:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Acquire the ability to manufacture products using advanced forming processes and to select the appropriate technological process. 2. In-depth knowledge of standard and innovative processes for forming metallic and non-metallic materials and the optimisation of their influencing parameters 3. Based on the knowledge of existing forming processes, design of the forming processes and their key technological parameters. 4. In-depth knowledge of innovative forming concepts, synthetic understanding of the acquired knowledge from accessible sources, and design of new innovative solutions of forming processes. <p>Competences:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S2-MAG+S8-MAG+P5-MAG: The ability to identify the appropriateness of an advanced forming process for the manufacture of the product. 2. P7-MAG +S10-MAG: The ability to select the forming technology and optimum process parameters. 3. S10-MAG+P3-MAG+P4-MAG: The ability to
---	---

izdelkov. 4. S1-MAG+S2-MAG+S7-MAG+P6-MAG: Sposobnost razvoja inovativnih preoblikovalnih konceptov in njihove aplikacijev proizvodnjo obstoječih in/ali novih izdelkov.	develop advanced and innovative forming processes to produce the most technologically advanced products. 4. S1-MAG+S2-MAG+S7-MAG+P6-MAG: The ability to develop innovative forming concepts and their applications to produce existing and/or new products.
--	--

Predvideni študijski rezultati:

<p>Znanja:</p> <p>Z2: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje o naprednih preoblikovalnih postopkih predelave kovinskih in polimernih materialov z elementi raziskovanja, ki je osnova za zelo zahtevno strokovno delo.</p> <p>Spretnosti:</p> <p>S2.1 Obvladovanje naprednih procesov zahtevnih tehnologij preoblikovanja kovinskih gradiv in polimernih materialov.</p> <p>S2.2 Načrtovanje inovativnih preoblikovalnih postopkov na podlagi ustvarjalnega reševanja problemov in sinteze pridobljenih znanj.</p> <p>S2.3 Sposobnost kritičnega presojanja ustreznosti izbire tehnologije preoblikovanja in prenos izvirnih dognanj/stvaritev in kritične refleksije v tehnološke aplikacije.</p>	<p>Knowledge:</p> <p>Z2: Thorough theoretical, methodological and analytical knowledge of advanced forming processes of processing metal and polymer materials with elements of a research work that form a basis for very demanding professional work.</p> <p>Skills:</p> <p>S2.1 Mastering advanced processes of very demanding technologies of forming metal and polymer materials.</p> <p>S2.2 Planning innovative forming processes on the basis of creative solving of problems that are linked to the teaching and training content.</p> <p>S2.3 Ability to critically evaluate the appropriateness of the selection of forming technology and to transfer the original findings/creations and critical reflections into technology applications.</p>
--	--

Metode poučevanja in učenja:

<p>P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih -za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov</p> <p>P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri.</p> <p>P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidravlična stiskalnica • Stroj za brizganje polimerov • Hidravlični preizkuševalni stroj <p>P7 Študij literature in razprava</p> <p>P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarских nalog</p> <p>P12 Individualizirane domače naloge v spletni učilnici</p> <p>P15 Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja</p>	<p>P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases.</p> <p>P3 Auditorial exercises, in which theoretical content from the lectures is supplemented with practical examples.</p> <p>P4 Laboratory exercises with special-purpose didactic devices:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydraulic press • Injection moulding machine • Hydraulic testing machine <p>P7 Literature study and discussion.</p> <p>P8 Making and presenting applied seminar exercises.</p> <p>P12 Individualised homeworks in a web classroom.</p> <p>P15 Application of videos for preparations to the lectures and exercises.</p>
---	---

Intended learning outcomes:

Learning and teaching methods:

in vaje	
---------	--

Načini ocenjevanja:**Delež/Weight****Assessment:**

- Teoretične vsebine (predavanja)	50,00 %	- Theoretical content (lectures)
- Delo na laboratorijskih vajah (vključno s poročili)	30,00 %	- Laboratory work (including reports)
- Seminar	20,00 %	- Seminar

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

1. PEPELNJAK, Tomaž, KAYHAN, Erdem, KAFTANOĞLU, B. Analysis of non-isothermal warm deep drawing of dual-phase DP600 steel. International journal of material forming, ISSN 1960-6206, Mar. 2019, vol. 12, iss.2, str. 223-240, ilustr. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12289-018-1400-0>, doi: 10.1007/s12289-018-1400-0. [COBISS.SI-ID 15859227]
2. BORIC, Andrej, KALEDOVÁ, Alena, URBANEK, Michal, PEPELNJAK, Tomaž. Characterisation of polyamide (PA)12 nanocomposites with montmorillonite (MMT) filler clay used for the incremental forming of sheets. Polymers, ISSN 2073-4360, Jul. 2019, vol. 11, iss. 8, f. 1-15, ilustr. <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/8/1248/pdf>, doi: 10.3390/polym11081248. [COBISS.SI-ID 16803611]
3. SATOŠEK, Roman, VALES, Michal, PEPELNJAK, Tomaž. Study of influential parameters of the sphere indentation used for the control function of material properties in forming operations. Strojniški vestnik, ISSN 0039-2480, 2019, str. 1-14, ilustr. <https://www.sv-jme.eu/sl/article/study-of-influential-parameters-of-the-sphere-indentation-used-for-the-control-function-of-material-properties-in-forming-operations/>, doi: 10.5545/sv-jme.2019.6312. [COBISS.SI-ID 16805659]
4. PEPELNJAK, Tomaž, JESENIČNIK, Miha. The influence of screw geometry on extrusion of polypropylene. V: CAR, Zlatan (ur.), KUDLÁČEK, Jan (ur.). *IN-TECH 2016 : proceedings*, International Conference on Innovative Technologies, 6. - 8. 9. 2016, Prague, (Proceedings (International Conference on Innovative Technologies), ISSN 1849-0662). Rijeka: Faculty of Engineering. 2016, str. 357-360, ilustr. [COBISS.SI-ID 14837275]
5. PEPELNJAK, Tomaž, PLESAC, Boris, POGAČAR, Marko. Forming of stainless steel at cryogenic temperatures. V: AKKÖK, Metin (ur.), et al. 8th International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, June 18-21, 2015, Aydin, Turkey, 8th International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, June 18-21, 2015, Aydin, Turkey, (Atilim University publications, 56), (Faculty of engineering publications, 19). Ankara: Atilim University. 2015, str. 61-66, ilustr. [COBISS.SI-ID 14074651]