

# CAM SISTEMI

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	CAM sistemi
<b>Course title:</b>	CAM systems
<b>Članica nosilka/UL Member:</b>	UL FS

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

<b>Univerzitetna koda predmeta/University course code:</b>	0566842
<b>Koda učne enote na članici/UL Member course code:</b>	6051-M

<b>Predavanja /Lectures</b>	<b>Seminar /Seminar</b>	<b>Vaje /Tutorials</b>	<b>Klinične vaje /Clinical tutorials</b>	<b>Druge oblike študija /Other forms of study</b>	<b>Samostojno delo /Individual student work</b>	<b>ECTS</b>
30		30			65	5

<b>Nosilec predmeta/Lecturer:</b>	Franci Pušavec, Peter Krajnik
-----------------------------------	-------------------------------

<b>Izvajalci predavanj:</b>	
<b>Izvajalci seminarjev:</b>	
<b>Izvajalci vaj:</b>	
<b>Izvajalci kliničnih vaj:</b>	
<b>Izvajalci drugih oblik:</b>	
<b>Izvajalci praktičnega usposabljanja:</b>	

<b>Vrsta predmeta/Course</b>	Obvezni strokovni predmet na smeri Proizvodno
------------------------------	---

**type:**

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):**

1. Umestitev CAM
  - Uvod v CAD/CAM
  - Kaj je CAM
  - Pomembnost in potencial CAM
2. Obremenitve odrezovalnih strojev
  - Sile pri odrezavanju
  - Obremenjevanje rezalnih orodij in obdelovancev
  - Obremenitve na obdelovalni stroj
3. Koraki CAD-CAM
  - Vhodi in izhodi CAM
  - Koraki CAD-CAM
  - Vloga postprocesorjev
4. Obdelovalni sistemi
  - Koncept obdelovalnih sistemov
  - Programiranje/krmiljenje strojev
  - Geometrijske relacije
5. Kinematika obdelovalnih strojev
  - Obdelovalni stroji
  - Osi in kinematika obdelovalnih strojev
  - Izhodišča za CAM
6. Zgradba obdelovalnih strojev
  - Zgradba konkretnih obdelovalnih strojev
  - Osnovni elementi

- CAM placement
  - Introduction to CAD/CAM
  - What is CAM
  - Importance and potential of CAM
- 2. Loads of machine tools
  - Cutting forces
  - Loading of cutting tools and workpieces
  - Loading of machine tool
- 3. Steps of CAD-CAM
  - CAM inputs and outputs
  - CAD-CAM steps
  - The role of post-processors
- 4. Manufacturing systems
  - Concept of manufacturing systems
  - Machine tools programming/control
  - Geometric relations
- 5. Kinematics of machine tools
  - Machine tools
  - Axes and kinematics of machine tools
  - CAM initial conditions
- 6. Construction of machine tools
  - Contruction of concrete machine tools
  - Basic elements

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Togostne lastnosti</li> </ul> <p>7. Dinamika odrezovalnih procesov in strojev</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vpliv obdelovalnih strojev na obdelovalni proces</li> <li>- Dinamika procesa odrezavanja</li> <li>- Dinamična togost in dušenje</li> </ul> <p>8. Krmiljenje odrezovalnih procesov</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Krmiljenje obdelovalnih strojev</li> <li>- Povratna zanka pozicije in hitrosti</li> <li>- G-koda</li> </ul> <p>9. Načrtovanje odrezovalnih poti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tehnološki načrt</li> <li>- Ekonomski načrt</li> <li>- Celostno ocenjevanje obdelovalnosti</li> </ul> <p>10. Postavitev in zagon strojev</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prezemna kontrola strojev</li> <li>- Zagon in umerjanje strojev</li> <li>- Tehnične regulative</li> </ul> <p>1 Posebnosti CAM struženja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnovni elementi CAM na struženju</li> <li>- Postopek programiranja</li> <li>- Preračuni in simulacije</li> </ul> <p>12. Posebnosti CAM frezanja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnovni elementi CAM na frezanju</li> <li>- Postopek programiranja</li> <li>- Preračuni in simulacije</li> </ul> <p>13. Posebnosti CAM 5 osnih obdelovalnih strojev</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnovni elementi CAM na kompleksnih oblikah</li> <li>- Postopek programiranja</li> <li>- Preračuni in simulacije</li> </ul> <p>14. Posebnosti CAM pri obdelavi z roboti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnovni elementi CAM na frezanju z robotom</li> <li>- Postopek programiranja</li> <li>- Preračuni in simulacije</li> </ul> <p>15. Gostujoče predavanje</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gostujoče predavanje eksperta s področja iz industrije (dr. Primož Kržič, A-CAM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stiffness properites</li> </ul> <p>7. Dynamics of machining processes and tools</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Influence of machine tools on machining process</li> <li>- Dynamics of the cutting process</li> <li>- Dynamic stiffness and damping</li> </ul> <p>8. Control of machining processes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control of machine tools</li> <li>- Position and velocity feedback loop</li> <li>- G-code</li> </ul> <p>9. Planning of cutting paths</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Technology plan</li> <li>- Economic plan</li> <li>- Comprehensive machining performance evaluation</li> </ul> <p>10. Installation and set-up of machine tools</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Take-over control of machine tools</li> <li>- Start and calibration of machine tools</li> <li>- Tehnical regulations</li> </ul> <p>1 Features of CAM in turning</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic elements of CAM in turning</li> <li>- Programming procedure</li> <li>- Calculations and simulations</li> </ul> <p>12. Features of CAM milling</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic elements of CAM in milling</li> <li>- Programming procedure</li> <li>- Calculations and simulations</li> </ul> <p>13. Special features of CAM in 5 axis machines tools</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic CAM elements on complex shapes</li> <li>- Programming procedure</li> <li>- Calculations and simulations</li> </ul> <p>14. Special features of CAM in machining with robot</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic concepts of CAM in robot milling</li> <li>- Programming procedure</li> <li>- Calculations and simulations</li> </ul> <p>15. Guest lecture</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guest lecture by expert from industry (dr. Primož Kržič, A-CAM)</li> </ul>
--	--

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. G. Boothroyd, P. Dewhurst, in W. A. Knight, Product design for manufacture and assembly, 3rd ed., let. 74. Boca Raton; London; New York: CRC Press, 2011, str.

XXXVIII, 670. ISBN 978-1-4200-8927-1, [COBISS.SI-ID [11685403](#)]

2. Z. Bi in X. Wang, Computer aided design and manufacturing. Hoboken, NJ; [New York, New York]: John Wiley & Sons, Inc.; ASME Press, 2020, str. XXI, 18 f., 617. ISBN 978-1-119-53421-1, [COBISS.SI-ID [44464899](#)]
3. Handbook of manufacturing industries in the world economy. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015, str. XVII, 519. ISBN 978-1-78100-392-3, [COBISS.SI-ID [15869979](#)]
4. J. Novak Marcinčin, I. Kuric, T. Mikac, in B. Barišić, Computer support for improvement of engineering and manufacturing activities. Košice: Faculty of Manufacturing Technologies, 2009, str. 241. ISBN 978-953-6326-63-1, [COBISS.SI-ID [14028059](#)]
5. J. Kopač, Obdelovalni stroji, orodja in naprave: modulna gradnja obdelovalnih strojev. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2005, str. 224. ISBN 961-6238-99-X, [COBISS.SI-ID [222746880](#)]
6. F. Pušavec in J. Kopač, Učno gradivo za predmet CAM: študijski program Strojništvo - razvojno raziskovalni program (RRP): študijska smer Proizvodno strojništvo: skripta predavanj. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2012, str. 175. [COBISS.SI-ID [12423707](#)]

### **Cilji in kompetence:**

### **Objectives and competences:**

#### **Cilji:**

1. Pridobiti poglobljena znanja o CAM tehnologijah, kot nadgradnja odrezovalnih procesov.
2. Seznanitev z naprednimi CAM principi in njihovim apliciranjem na različne odrezovalne tehnologije.
3. Poznavanje uporabe CAM pri postavljanju kompleksnih obdelovalnih tehnologij/izdelkov, izračuni časov obdelav, obremenitve orodij, ter obstojnosti za optimalno delovanje procesov.
4. Poznavanje orodij in modelov za virtualno simuliranje odrezovalnih procesov, ter temeljno znanje krmiljenja obdelovalnih strojev.

#### **Kompetence:**

1. P3-RRP: Temeljna usposobljenost na področju CAM in krmiljenja obdelovalnih strojev, ki omogoča samostojno postavljanje najnaprednejših obdelovalnih tehnologij.
2. S4-RRP: Sposobnost strokovnega sporazumevanja in izražanja s področja CAM in principov obdelovalnih poti/strategij.

#### **Objectives:**

1. To acquire in-depth knowledge of CAM technologies as an upgrade of machining processes.
2. Familiarity with advanced CAM principles and their application to various cutting technologies.
3. Knowledge on CAM usage in complex machining technologies / products, calculations of machining times, tool loads, and durability for optimal process performance.
4. Knowledge on tools and models for virtual simulation of machining processes, and basic knowledge on machine tool control.

#### **Competences:**

1. P3-RRP: Basic proficiency in CAM and machine tool control, enabling the most advanced machining technologies to be set up independently.
2. S4-RRP: Ability to communicate professionally and express themselves in the CAM area and principles of processing paths / strategies.
3. S7-RRP: Ability to search for

3. S7-RRP: Sposobnost iskanje virov, kritične presoje informacij, samostojnega nadgrajevanja pridobljenih znanj in poglobljanje znanj na posameznih področjih CAM in obdelovalnih poti/strategij.	resources, critically evaluate information, independently upgrade acquired knowledge and deepen knowledge in particular CAM areas and processing paths / strategies.
---	--

### **Predvideni študijski rezultati:**

### **Intended learning outcomes:**

<p>Znanja:</p> <p>Z2: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje s področja principov računalniškega določevanje obdelovalnih poti/strategij, ki je osnova za raziskovalno in aplikativno delo.</p> <p>Spretnosti:</p> <p>S2.1 Poznavanje in obvladovanje zahtevnih, kompleksnih krmiljen obdelovalnih strojev in metodoloških orodij za računalniško postavljanje obdelovalnih tehnologij.</p> <p>S2.2 Načrtovanje strategij odrezavanja na podlagi reševanja problemov.</p> <p>S2.3 Sposobnost kritične refleksije in inovativnega nadgrajevanja.</p>	<p>Knowledge:</p> <p>Z2: In-depth theoretical, methodological and analytical knowledge on the principles of computer-aided machining pathways / strategies, which is the basis for research and application work.</p> <p>Skills:</p> <p>S2.1 Knowledge and mastery of sophisticated, complex controllable machine tools and methodological tools for computer-aided machining technology.</p> <p>S2.2 Designing of machining strategies based on problem solving.</p> <p>S2.3 Ability to reflect critically and innovate upgrades.</p>
---	--

### **Metode poučevanja in učenja:**

### **Learning and teaching methods:**

<p>P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih – za področje značilnih – teoretičnih in praktično uporabnih primerov.</p> <p>P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki</p> <p>P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri</p> <p>P4 Laboratorijske vaje v laboratoriju na obdelovalnih strojih</p> <p>P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki e-verzije predstavitve predavanj.</p> <p>P15 Uporaba video vsebin kot priprava</p>	<p>P1 Lectures by solving selected - typical - theoretical and practical examples.</p> <p>P2 Treatment of the substance according to an orderly and pre-interpreted systematics</p> <p>P3 Practical classes where theoretical knowledge from lectures is supported by computational examples</p> <p>P4 Laboratory exercises in the laboratory on machine tools</p> <p>P5 Use of study materials in the form of an e-version of the lecture presentation.</p>
--	--

na predavanje in vaje.	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)	30,00 %	- Laboratory work (including reports)
- Seminar	20,00 %	- Seminar

**Ocenjevalna lestvica:**
**Grading system:**

--	--

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

1. DUGAR, Jaka, IKRAM, Awais, KLOBČAR, Damjan, **PUŠAVEC, Franci**. Sustainable hybrid manufacturing of AlSi5 alloy turbine blade prototype by robotic direct energy layered deposition and subsequent milling : an alternative to selective laser melting?. Materials. Dec. 2022, vol. 15, no. 23, str. 1-39, ilustr. ISSN 1996-1944. <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/23/8631>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=144948>, DOI: 10.3390/ma1523863 [COBISS.SI-ID [146512387](#)]
2. DUGAR, Jaka, IKRAM, Awais, **PUŠAVEC, Franci**. Comparative characterization of different cutting strategies for the sintered ZnO electroceramics. Applied sciences. Oct. 2021, vol. 11, iss. 20, str. 1-15, ilustr. ISSN 2076-3417. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/20/9410>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=132410>, DOI: 10.3390/app11209410. [COBISS.SI-ID [80372739](#)]
3. GRGURAŠ, Damir, STERLE, Luka, KRAJNIK, Peter, **PUŠAVEC, Franci**. A novel cryogenic machining concept based on a lubricated liquid carbon dioxide. International journal of machine tools & manufacture. [Print ed.]. Oct. 2019, vol. 145, str. 1-6, ilustr. ISSN 0890-6955. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695519307953?via%3Dihub>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=126432>, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2019.103456. [COBISS.SI-ID [16781851](#)]
4. KASTELIC, Luka, KRAMAR, Davorin, **PUŠAVEC, Franci**. Abrasive flow machining of 3D printed metal parts : a scientific review with extension on industrial needs. V: WANG, Lihui (ur.). Proceedings of 5th International Conference on the Industry 0 Model for Advanced Manufacturing : AMP 2020. Cham: Springer Nature, 2020. Str. 270-278, ilustr. Lecture Notes in Mechanical Engineering. ISBN 978-3-030-46211-6, ISBN 978-3-030-46212-3. ISSN 2195-4356. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-46212-3\\_20](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-46212-3_20), DOI: 10.1007/978-3-030-46212-3\_20. [COBISS.SI-ID [16601091](#)]
5. **PUŠAVEC, Franci**, STERLE, Luka, GRGURAŠ, Damir. A device and a method

for mixing a coolant and lubricant : EP3744422 (A1), 2020-12-02. München: Europäisches Patentamt, 2020. 17 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [16671771](#)]

### **Peter Krajnik:**

1. MACEROL, Nastja, FRANCA, Luiz, ATTIA, Helmi, **KRAJNIK, Peter**. A lapping-based test method to investigate wear behaviour of bonded-abrasive tools. CIRP annals. 2022, vol. 71, iss. 1, str. 305-308, ilustr. ISSN 0007-8506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850622001020>, DOI: 10.1016/j.cirp.2022.04.049. [COBISS.SI-ID [136385283](#)], [JCR, SNIP, WoS do 6. 2. 2023: št. citatov (TC): 2, čistih citatov (CI): 2, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0,50, Scopus do 4. 2. 2023: št. citatov (TC): 4, čistih citatov (CI): 4, čistih citatov na avtorja (CIAu): 1,00]
2. DRAŽUMERIČ, Radovan, BADGER, Jeffrey A., GUSTAVSSON, Tomas, **KRAJNIK, Peter**. Mechanics of self-rotating double-disc grinding process. CIRP annals. 2022, vol. 71, iss. 1, str. 309-312, ilustr. ISSN 0007-8506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850622000348>, DOI: 10.1016/j.cirp.20203.033. [COBISS.SI-ID [117677059](#)], [JCR, SNIP, WoS, Scopus], kategorija: 1A2 (Z, A1/2); uvrstitev: SCIE, Scopus, MBP (INSPEC, COMPENDEX); tip dela je verificiral OSICT, točke: 22, št. avtorjev: 4
3. LAAKSO, Sampsa Vili Antero, MALLIPEDDI, Dinesh, **KRAJNIK, Peter**. Evaluation of subcooled MQL in cBN hard turning of powder-based Cr-Mo-V tool steel using simulations and experiments. International journal of advanced manufacturing technology. 2022, vol. 118, str. 511-531, ilustr. ISSN 0268-3768. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-021-07901-x>, DOI: 10.1007/s00170-021-07901-x. [COBISS.SI-ID [86384899](#)], [JCR, SNIP, WoS, Scopus], kategorija: 1A2 (Z, A1/2); uvrstitev: SCIE, Scopus, MBP (IBZ, INSPEC, COMPENDEX, METADEX); tip dela je verificiral OSICT, točke: 28.87, št. avtorjev: 3
4. MACEROL, Nastja, FRANCA, Luiz, DRAŽUMERIČ, Radovan, **KRAJNIK, Peter**. The effects of grit properties and dressing on grinding mechanics and wheel performance : analytical assessment framework. International journal of machine tools & manufacture. [Print ed.]. Sep. 2022, vol. 180, str. 1-13, ilustr. ISSN 0890-6955. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695522000700>, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.202103919. [COBISS.SI-ID [117757955](#)], [JCR, SNIP, WoS, Scopus do 5. 2023: št. citatov (TC): 1, čistih citatov (CI): 1, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0,25], kategorija: 1A1(Z, A', A', A1/2); uvrstitev: SCIE, Scopus, MBP (INSPEC, COMPENDEX); tip dela je verificiral OSICT, točke: 43.66, št. avtorjev: 4
5. STERLE, Luka, **KRAJNIK, Peter**, PUŠAVEC, Franci. The effects of liquid-CO2 cooling, MQL and cutting parameters on drilling performance. CIRP annals. 2021, vol. 70, iss. 1, str. 79-82, ilustr. ISSN 0007-8506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850621000317>, DOI: 10.1016/j.cirp.2021.04.007. [COBISS.SI-ID [74389507](#)], [JCR, SNIP, WoS do 25. 2. 2023: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 5, čistih citatov na avtorja (CIAu): 1,67, Scopus do 25. 1. 2023: št. citatov (TC): 7, čistih citatov (CI): 7, čistih citatov na avtorja (CIAu): 2,33], kategorija: 1A2 (Z, A1/2); uvrstitev: SCIE, Scopus, MBP (INSPEC, COMPENDEX, PUBMED); tip dela je verificiral OSICT, točke: 29.33, št. avtorjev: 3