

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	Laserski merilni sistemi
<b>Course title:</b>	LASER MEASUREMENT SYSTEMS
<b>Članica nosilka/UL Member:</b>	UL FS

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

**Univerzitetna koda predmeta/University course code:** 0566820

**Koda učne enote na članici/UL Member course code:** 6060-M

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

**Nosilec predmeta/Lecturer:** Matija Jezeršek

**Vrsta predmeta/Course type:** Obvezni strokovni predmet na smeri Mehatronika in laserska tehnika, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Mechatronics and laser technology, which is an elective specialised course in other fields of study.

<b>Jeziki/Languages:</b>	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):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>Uvod in predstavitev predmeta <ul style="list-style-type: none"> <li>Pregled vsebine, ciljev in kompetenc</li> <li>Predstavitev dela na laboratorijskih vajah</li> <li>Predstavitev ocenjevanja</li> </ul> </li> <li>Interferenca</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Introduction and presentation of the course <ul style="list-style-type: none"> <li>Subject review, goals and competencies</li> <li>Presentation of lab work</li> <li>Presentation of assessment</li> </ul> </li> <li>Interference</li> </ol>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kompleksni popis EM valovanja,</li> <li>- matematični popis,</li> <li>- tvorba in interpretacija interferogramov,</li> <li>- primeri.</li> </ul> <p>3. Koherenca</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fizikalna razlaga,</li> <li>- Matematični popis,</li> <li>- vplivi na meritve.</li> </ul> <p>4. Uklon svetlobe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Huygens-Fresnel-ov princip,</li> <li>- Fraunhoferjev uklon,</li> <li>- Fourierjev popis,</li> <li>- Primeri.</li> </ul> <p>5. Laserska pegavost</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fizikalna razlaga,</li> <li>- matematični popis,</li> <li>- vplivi na meritve.</li> </ul> <p>6. Laserski in alternativni svetlobni izvori</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- NEkoherentni izvori,</li> <li>- koherentni izvori,</li> <li>- temeljne lastnosti in primerjava uporabnosti</li> </ul> <p>7. Detekcijski sistemi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Točkovni, linijski in ploskovni fotodetektorji</li> </ul> <p>detektorji,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- enobarvna, večbarvna in hiperspektralna detekcija.</li> </ul> <p>8. Računalniška obdelava optičnih signalov</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Digitalizacija signalov,</li> <li>- predobdelava,</li> <li>- detekcija značilk (prehodov, vrhov, kontur).</li> </ul> <p>9. Interferometrija</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konfiguracije: Newton, Fizeau, Twyman-Green, Mach-Zehnder.</li> <li>- Stržna interferometrija</li> <li>- Fazno zamikanje</li> <li>- Primeri uporabe</li> </ul> <p>10. Laserska triangulacija</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasifikacija,</li> <li>- princip merjenja,</li> <li>- zaznava svetlobnega vzorca,</li> <li>- rekonstrukcija v 3D obliko,</li> <li>- primeri uporabe.</li> </ul> <p>11. Kalibracija laserskih 3D merilnikov</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parametri modela 3D rekonstrukcije,</li> <li>- izmera referenčnega telesa,</li> <li>- kriterijska funkcija,</li> <li>- numerična optimizacija.</li> </ul> <p>12. Konfokalni merilni sistemi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klasifikacija po merilnih principih,</li> <li>- enobarvni in večbarvni merilniki razdalje,</li> <li>- skenirni sistemi,</li> <li>- primeri uporabe.</li> </ul> <p>13. 3D merjenje na osnovi časa preleta</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- klasifikacija,</li> <li>- merilni principi,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complex description of EM waves,</li> <li>- mathematical description,</li> <li>- creation and interpretation of interferograms,</li> <li>- examples.</li> </ul> <p>3. Coherence</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Physical interpretation,</li> <li>- Mathematical description,</li> <li>- effects on measurements.</li> </ul> <p>4. Light diffraction</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Huygens-Fresnel principle,</li> <li>- Fraunhofer diffraction,</li> <li>- Fourier diffraction,</li> <li>- Examples.</li> </ul> <p>5. Laser speckles</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Physical interpretation,</li> <li>- mathematical description,</li> <li>- effects on measurements.</li> </ul> <p>6. Laser and alternative light sources</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Non-coherent sources,</li> <li>- coherent sources,</li> <li>- basic features and usability comparison</li> </ul> <p>7. Detection systems</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Point, line and plane photodetectors detectors,</li> <li>- monochromatic, color and hyperspectral detection.</li> </ul> <p>8. Computer processing of optical signals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Digitalization of signals,</li> <li>- pre-processing,</li> <li>- detection of features (transitions, peaks, contours)</li> </ul> <p>9. Interferometry</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interferometer configurations: Newton, Fizeau, Twyman-Green, Mach-Zehnder.</li> <li>- Shearing interferometry</li> <li>- Phase-shifting techniques</li> <li>- Examples</li> </ul> <p>10. Laser triangulation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classification,</li> <li>- measurement principle,</li> <li>- detection of light pattern,</li> <li>- 3D reconstruction,</li> <li>- examples.</li> </ul> <p>11. Calibration of Laser 3D Meters</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D reconstruction model,</li> <li>- measurement of the reference body,</li> <li>- criterion function,</li> <li>- numerical optimization.</li> </ul> <p>12. Confocal measurement systems</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classification by measurement principles,</li> <li>- monochrome and multicolor techniques,</li> <li>- scanning systems,</li> <li>- use cases.</li> </ul> <p>13. Time-of-flight measurement</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- classification,</li> <li>- measurement principles,</li> <li>- single point methods,</li> </ul>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- enotočkovne metode,</li> <li>- matrične metode,</li> <li>- primeri uporabe.</li> </ul> <p>14. Vlakenski senzorji</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- notranji/zunanji senzorji,</li> <li>- modulacija intenzitete,</li> <li>- faze in polarizacija,</li> <li>- primeri merilnikov tlakov, deformacij, temperature.</li> </ul> <p>15. Lasersko merjenje hitrih pojavov</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tehnike hitrega osvetljevanja, optične konfiguracije (senčna, schlieren, interferometrična).</li> <li>- Primeri uporabe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matrix methods,</li> <li>- use cases.</li> </ul> <p>14. Fiber Sensors</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- internal / external sensors,</li> <li>- intensity modulation,</li> <li>- phases and polarization,</li> <li>- examples of pressure gauges, deformations, temperature.</li> </ul> <p>15. Laser measurement of ultra-fast phenomena</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fast lighting techniques, optical configurations (shady, schlieren, interferometric).</li> <li>- examples.</li> </ul>
--	---

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Gasvik K.J. Optical metrology, 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.
2. Malacara, Optical Shop Testing, 3rd ed., Wiley, 2007.
3. Toru Yoshizawa, Handbook of Optical Metrology: Principles and Applications, CRC Press, 2009.

### Cilji in kompetence:

### Objectives and competences:

<p>Cilji:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Spoznati zakonitosti in pojave širjenja laserske svetlobe in njihovo uporabo v merilnih laserskih sistemih.</li> <li>2. Spoznati metode razvoja laserskih merilnih sistemov s posebnim poudarkom na interdisciplinarnem pristopu, fizikalnem, matematičnem in numeričnem modeliranju.</li> <li>3. Spoznati metode in postopke eksperimentalne evaluacije laserskih merilnih sistemov.</li> </ol> <p>Kompetence:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S1-MAG: Sposobnost za opredelitev, razumevanje temeljnih znanstvenih problemov in ustvarjalno reševanje strokovnih izzivov na področju laserskih merilnih sistemov.</li> <li>2. S8-MAG in S9-MAG: Sposobnost iskanja virov, kritične presoje informacij, samostojnega nadgrajevanja pridobljenih znanj in poglobljanja znanja na področjih laserskih merilnih sistemov. Ter usposobljenost za delo v skupini in interdisciplinarno povezovanje.</li> <li>3. P2-MAG: Obvladovanje temeljnih teoretičnih kakor tudi aplikativnih znanj, ki so bistvena za obvladovanje tehničnega področja laserskih merilnih sistemov.</li> </ol>	<p>Objectives:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. To understand the laws and phenomena of laser light propagation and their application in laser measuring systems.</li> <li>2. To learn the methods of development of laser measuring systems with special emphasis on interdisciplinary approach, physical, mathematical and numerical modeling.</li> <li>3. To understand the methods and procedures of experimental evaluation of laser measuring systems.</li> </ol> <p>Competences:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S1-MAG: The ability to define and understand fundamental scientific problems and to creatively deal with professional challenges in the field of laser measurement systems.</li> <li>2. S8-MAG and S9-MAG: The ability to find sources, critically evaluate information, independently upgrade the attained knowledge and deepen the knowledge in the individual specialized fields of laser measurement systems. The ability for teamwork and for interdisciplinary networking.</li> <li>3. P2-MAG: Using the fundamental theoretical and applied knowledge, crucial for having command of technical field of laser measurement systems.</li> </ol>
--	---

### Predvideni študijski rezultati:

### Intended learning outcomes:

<p>Znanja:</p> <p>Z2: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje z elementi raziskovanja, ki je osnova za zelo zahtevno strokovno delo na področju laserskih merilnih sistemov.</p> <p>Spretnosti:</p> <p>S2.2 Načrtovanje in vodenje delovnega procesa na podlagi ustvarjalnega reševanja problemov, povezanih z laserskimi merilnimi sistemi.</p>	<p>Knowledge:</p> <p>Z2: Thorough theoretical, methodological and analytical knowledge with elements of a research work that form a basis for very demanding professional work in the field of laser measurement systems.</p> <p>Skills:</p> <p>S2.2 Planning and managing of the working process on the basis of creative solving of problems that are linked to the teaching and training of the laser measurement systems.</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 z namenskimi didaktičnimi pripomočki (preklopno krmiljenje zapornice, tekočega traku, PID krmiljenje procesa, laserski merilni sistem, laserski obdelovalni sistem).</p> <p>P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki e-verzij: predstavitev predavanj, zbirke nalog z vaj, navodil za izvedbo laboratorijskih vaj</p> <p>P14 Virtualni eksperimenti</p> <p>P15 Uporaba video vsebin kot priprava na vaje</p>	<p>P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases.</p> <p>P2 Presenting the content according to the explained system.</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 (description needs to be added, max. two lines per device).</p> <p>P5 Application of study material (description needs to be added, max. one line per material, e.g. textbook, e-book, printed lecture presentations, etc.).</p> <p>P14 Virtual experiments.</p> <p>P15 Application of videos for preparations to the lectures and exercises.</p>
---	--

#### Načini ocenjevanja:

#### Delež/Weight

#### Assessment:

Skupno oceno predmeta tvori ocena teorije in vaj. Ocena teorije: - Računski del: 50%.	25,00 %	The course grade is combined of an exercise grade and a theory grade. Theory: - Practical part: 50%.
- Teoretični del: 50%.	25,00 %	- Theoretical part: 50%.
Ocena vaj: - Delo na laboratorijskih vajah (predpriprava, sodelovanje in samostojnost): 50%.	25,00 %	Exercises: - Work on exercises (preparation, collaboration, individual work): 50%.
- Poročilo o opravljenih vajah: 50%.	25,00 %	- Report for exercises: 50%.

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

**Matija Jezeršek:**

1. LALOŠ, Jernej, GREGORČIČ, Peter, JEZERŠEK, Matija. Observation of laser-induced elastic waves in agar skin phantoms using a high-speed camera and a laser-beam-deflection probe. *Biomedical optics express*. Apr. 2018, vol. 9, no. 4, str. 1893-1905, ilustr. ISSN 2156-7085. <https://www.osapublishing.org/boe/fulltext.cfm?uri=boe-9-4-1893&id=384033>, DOI: 10.1364/BOE.9.001893. [COBISS.SI-ID 15967771]
2. LUKAČ, Nejc, SUHOVRŠNIK, Tomaž, LUKAČ, Matjaž, JEZERŠEK, Matija. Ablation characteristics of quantum square pulse mode dental erbium laser. *Journal of biomedical optics*. Jan. 2016, vol. 21, iss. 1, str. 1-10, ilustr. ISSN 1083-3668. DOI: 10.1117/1.JBO.21.1.01501 [COBISS.SI-ID 14476059]
3. POVŠIČ, Klemen, FLEŽAR, Matjaž, MOŽINA, Janez, JEZERŠEK, Matija. Laser 3-D measuring system and real-time visual feedback for teaching and correcting breathing. *Journal of biomedical optics*. Mar. 2012, vol. 17, iss. 3, str. [1-7], ilustr. ISSN 1083-3668. DOI: 10.1117/1.JBO.17.036004. [COBISS.SI-ID 12258075]
4. JEZERŠEK, Matija, POVŠIČ, Klemen, KOŠIR, Jure. Raziskave in razvoj laserskega sistema za avtomatsko terapijo večjih površin : poročilo za obdobje 2015-2016. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za lasersko tehniko, 2016. 22 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 15115547]