

# KRMILJENJE MEHATRONSKIH SISTEMOV

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	Krmiljenje mehatronskih sistemov
<b>Course title:</b>	MECHATRONIC SYSTEM CONTROL
<b>Članica nosilka/UL Member:</b>	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni (od študijskega leta 2023/2024 dalje)	Mehatronika (smer)	3. letnik	1. semester	obvezni

<b>Univerzitetna koda predmeta/University course code:</b>	0563958
<b>Koda učne enote na članici/UL Member course code:</b>	3075-V

Predavanja /Lectures	Seminar /Seminar	Vaje /Tutorials	Klinične vaje /Clinical tutorials	Druge oblike študija /Other forms of study	Samostojno delo /Individual student work	ECTS
30		30			40	4

<b>Nosilec predmeta/Lecturer:</b>	Dominik Kozjek, Primož Podržaj
-----------------------------------	--------------------------------

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

**Izvajalci praktičnega usposabljanja:**

**Vrsta predmeta/Course type:**

Izbirni strokovni predmet/Elective specialised course

**Jeziki/Languages:**

Predavanja/Lectures:

Slovenščina

Vaje/Tutorial:

Slovenščina

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

**Prerequisites:**

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Visokošolski strokovni študijski program I. stopnje Strojništvo - Projektno aplikativni program.

Meeting the enrollment conditions for the MECHANICAL ENGINEERING - Project Oriented Applied Programme.

**Vsebina:**

**Content (Syllabus outline):**

1. Uvod  
□ Zgodovinski pregled razvoja krmilne tehnike  
□ Osnovni pojmi povezani s krmiljenjem (povratna zveza, referenca, motnja, upravljanje, krmiljenje)  
□ Krmiljenje položaja in hitrosti

2. Predstavitev mehatronskih sistemov s pomočjo blokovnih diagramov  
□ Krmiljenje gladine  
□ Krmiljenje temperature  
□ Vlak na magnetno levitacijo

3. Dif. enačba in prenosna karakteristika  
□ Dif. enačba in linearizacija  
□ Definicija prenosne karakteristike

4. Delitev sistemov glede na prenosne karakteristike  
□ Proporcionalni, diferencirni in integrirni sistem ničtega, prvega in drugega reda  
□ Primeri in opis analogij (mehatronski)

5. Poenostavitev krmilnih sistemov predstavljenih s pomočjo blokovnih diagramov

1. Introduction  
□ Historical overview of the control engineering development  
□ The basic terms related to control (feedback, reference, disturbance, open loop, closed loop control)  
□ Control of position and velocity

2. Block diagram representation of mechatronic systems  
□ Water level control  
□ Temperature control  
□ Magnetic levitation train control

3. Dif. equation and transfer characteristics  
□ Dif. equation and linearization  
□ Definition of transfer characteristics

4. System division based on the transfer characteristics  
□ Proportional, differential in integral system of zeroth, first and second order  
□ Applications and analogies (mechatronic)

5. Raduction of control systems represented by block diagrams

<p> <input type="checkbox"/> Osnove blokovne algebre  <input type="checkbox"/> Primer kompleksnejšega krmilnega sistema (mehatronske primer; dve zanki) </p> <p> 6. Stabilnost sistemov  <input type="checkbox"/> Definicija stabilnosti  <input type="checkbox"/> Povezava med stabilnostjo in modeli sistemov  <input type="checkbox"/> Kako jo v praksi zagotovimo </p> <p> 7. PID krmilnik  <input type="checkbox"/> Prenosna funkcija PID krmilnika  <input type="checkbox"/> Lastnosti posameznih komponent  <input type="checkbox"/> P, PI, PD in PID krmilnik </p> <p> 8. Odstopki v stacionarnem stanju  <input type="checkbox"/> Odstopki glede na referenco  <input type="checkbox"/> Odstopki glede na motnjo  <input type="checkbox"/> Vpliv P in I komponente PID krmilnika  <input type="checkbox"/> Demonstracija na preprostem primeru krmiljenja gladine </p> <p> 9. Maksimalen prenehaj sistema in čas trajanja prehodnega pojava  <input type="checkbox"/> Vpliv P in I komponente PID krmilnika  <input type="checkbox"/> Vpliv D komponente PID krmilnika </p> <p> 10. Nastavljanje parametrov PID krmilnika  <input type="checkbox"/> Nastavljanje parametrov po Ziegler-Nicholsu  <input type="checkbox"/> Nastavljanje parametrov po Samalu </p> <p> 11. Realizacija PID krmilnika  <input type="checkbox"/> Realni PID krmilnik na Arduino  <input type="checkbox"/> Obravnava problemov v praksi (integralsko nasičenje I komponente, šum in D komponenta) </p> <p> 12. Uporaba Matlab/Simulinka  <input type="checkbox"/> Control System Toolbox  <input type="checkbox"/> Blokovski diagrami v Simulinku  <input type="checkbox"/> Sinteza sistema s pomočjo Matlaba </p> <p> 13. Preprost mehanski sistem kot krmiljeni sistem (obrnava v Matlab/Simulinku)  <input type="checkbox"/> Prenosna karakteristika </p>	<p> <input type="checkbox"/> The basics of block diagram algebra  <input type="checkbox"/> Example of a complex control system (mechatronic; two loops) </p> <p> 6. System stability  <input type="checkbox"/> Definition of stability  <input type="checkbox"/> The relation between system model and stability  <input type="checkbox"/> How to provide it in practice </p> <p> 7. PID controller  <input type="checkbox"/> Transfer function of PID controller  <input type="checkbox"/> Properties of the components  <input type="checkbox"/> P, PI, PD and PID controller </p> <p> 8. Steady state errors  <input type="checkbox"/> Errors in relation to the reference  <input type="checkbox"/> Errors in relation to the disturbance  <input type="checkbox"/> Influence of P and I component of PID controller  <input type="checkbox"/> Demonstration on a simple water level control system </p> <p> 9. Maximal overshoot and transient time  <input type="checkbox"/> Influence of P and I component of PID controller  <input type="checkbox"/> Influence of D component of PID controller </p> <p> 10. PID tuning  <input type="checkbox"/> Ziegler-Nichols tuning method  <input type="checkbox"/> Samalu tuning method </p> <p> 11. PID controller realization  <input type="checkbox"/> Real PID controller with Arduino  <input type="checkbox"/> Real environment challenges (integral wind-up, noise and D component) </p> <p> 12. Matlab/Simulink application  <input type="checkbox"/> Control System Toolbox  <input type="checkbox"/> Block diagrams in Simulink  <input type="checkbox"/> Matlab based system synthesis </p> <p> 13. Simple mechanical system as a control system (Matlab/Simulink based analysis)  <input type="checkbox"/> Transfer characteristics  <input type="checkbox"/> Response using P, PI, PD and PID </p>
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Določitev odzivov pri uporabi P, PI, PD in PID krmilnik</li> </ul> <p>14. Servomotor kot primer krmilnega sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Servomotor, koordinatne osi oziroma linearna vodila</li> <li>□ Krmiljenje položaja in hitrosti</li> </ul> <p>15. Sinteza odprtozankno nestab. sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Mag. Levitacija (vlak Maglev)</li> </ul>	<p>controller</p> <p>14. Servomotor as an example of a control system</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Servomotor, axes of motion – linear guides</li> <li>□ Position and velocity control</li> </ul> <p>15. Open loop unstable system synthesis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Mag. Levitation (Maglev train)</li> </ul>
---	---

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Norman S. Nise: Control Systems Engineering (7th Ed.), Wiley, 2015
2. Christopher T. Kilian: Modern Control Technology: Components and Systems (2nd Ed.), Delmar Thomson Learning, 2001
3. Primož Podržaj: Linearna teorija krmiljenja sistemov, Univerza v Ljubljani, 2017

### Cilji in kompetence:

#### Cilji:

1. Spoznati temeljne principe analize in sinteze krmilnih sistemov.
2. Spoznati najosnovnejše naprave, s katerimi je moč krmiliti mehatronske sisteme.
3. Spoznati programsko opremo namenjeno krmiljenju mehatronskih sistemov.

#### Kompetence:

1. S2-PAP: Sposobnost samostojnega dela v okviru znanj pridobljenih pri predmetu
2. S12-PAP, P7-PAP: Sposobnost uporabe namenske programske opreme za krmiljenje specifičnih mehatronskih sistemov
3. P3-PAP: Obvlada temeljna strokovna znanja s področja krmiljenja
4. P4-PAP: Pozna osnovne naprave, s katerimi je moč krmiliti mehatronske sisteme
5. P9-PAP: Diplomant je sposoben samostojno opravljati razvojno aplikativna, inženirska in strokovna dela ter reševati posamezne dobro definirane naloge na področju

### Objectives and competences:

#### Objectives:

1. Knowledge of basic control system analysis and synthesis.
2. Knowledge of the most basic devices used to control mechatronic systems.
3. Knowledge of the software used for mechatronic system control purposes.

#### Competences:

1. S2-PAP: The ability to work autonomously in the framework of the obtained knowledge.
2. S12-PAP, P7-PAP: The ability to use software used to control specific mechatronic systems.
3. P3-PAP: Mastering the fundamental specialised knowledge in the field of control engineering.
4. P4-PAP: Knowing the basic devices used to control mechatronic systems.
5. P9-PAP: The graduates are able to independently perform applied developmental, engineering and professional work, and solve well-defined individual tasks in the field of mechatronic system control.

**Predvideni študijski rezultati:**

**Znanja:**

Z1: Poznavanje analize in sinteze krmiljenja mehatronskih sistemov, ter uporaba krmilnih naprav in s tem povezane programske opreme.

**Spretnosti:**

S1.2: Obvladovanje krmiljenja zahtevnih, kompleksnih mehatronskih sistemov ob samostojni uporabi znanja.

S1.3: Diagnosticiranje in reševanje problemov, ki se pojavljajo v zvezi s krmiljenjem mehatronskih sistemov.

**Intended learning outcomes:**

**Knowledge:**

Z1: Knowledge of analysis and synthesis of mechatronic system control, and application of control devices together with the related software.

**Skills:**

S1.2: Mastering demanding and complex mechatronic system related tasks by independent usage of knowledge in new working situations

S1.3: Mechatronic system control related diagnostics and problem solving.

**Metode poučevanja in učenja:**

P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov.

P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki.

P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki kot so mikrokrmilniki (Arduino) ali računalnik Raspberry Pi.

P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog

**Learning and teaching methods:**

P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases.

P2 Presenting the content according to the explained system.

P4 Laboratory exercises with special-purpose didactic devices (microcontrollers (Arduino) or Raspberry Pi computer.

P8 Making and presenting applied seminar exercises.

**Načini ocenjevanja:**

**Delež/  
Weight**

**Assessment:**

Pisni izpit	50,00 %	Written examination
Ustno izpraševanje	30,00 %	Oral examination
Projekt	20,00 %	Project

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

**Primož Podržaj:**

1. **PODRŽAJ, Primož**, REGOJEVIĆ, Braco, KARIŽ, Zoran. An enhanced mechanical system for studying the basics of control system dynamics. IEEE transactions on education, 2005, letn. 48, št. 1, str. 23-28. [COBISS.SI-ID [7942427](#)]

2. **PODRŽAJ, Primož**, KARIŽ, Zoran. Programljivi logični krmilniki na temelju rešitve algebraične Riccatijeve enačbe = Programmable logic controllers based on the algebraic Riccati equation solution. Strojniški vestnik, 2006, letn. 52, št. 12, str. 852-86. [COBISS.SI-ID [9821979](#)]
3. SIMONČIČ, Samo, **PODRŽAJ, Primož**. The applicability of welding force for spot weld quality assurance. International journal of microstructure and materials properties, 2014, vol. 9, iss. 3/5, str. 422-432. [COBISS.SI-ID [14332443](#)]
4. SIMONČIČ, Samo, **PODRŽAJ, Primož**. Vision-based control of a line-tracing mobile robot. Computer applications in engineering education, Sep. 2014, vol. 22, iss. 3, str. 474-480. [COBISS.SI-ID [12092187](#)]
5. FINŽGAR, Miha, **PODRŽAJ, Primož**. Machine-vision-based human-oriented mobile robots : a review. Strojniški vestnik, ISSN 0039-2480, May 2017, vol. 63, no. 5, str. 331-348, [COBISS.SI-ID [15492635](#)]

#### **Dominik Kozjek:**

1. MALUS, Andreja, **KOZJEK, Dominik**, VRABIČ, Rok. Real-time order dispatching for a fleet of autonomous mobile robots using multi-agent reinforcement learning. CIRP annals. 2020, vol. 69, iss. 1, str. 397-400, ilustr. ISSN 0007-8506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850620300226?via%3Dihub>, DOI: 10.1016/j.cirp.2020.04.001. [COBISS.SI-ID [24176643](#)]
  2. VRABIČ, Rok, ŠKULJ, Gašper, MALUS, Andreja, **KOZJEK, Dominik**, SELAK, Luka, BRAČUN, Drago, PODRŽAJ, Primož. An architecture for sim-to-real and real-to-sim experimentation in robotic systems. In: MOURTZIS, Dimitris (ed.). Towards digitalized manufacturing 4.0 : 54th CIRP CMS 2021 : 22nd-24th September 2021, University of Patras - Greece. [S. l.]: Elsevier, 2021. Vol. 104, str. 336-341, ilustr. Procedia CIRP, vol. 104. ISSN 2212-8271. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121009550>, DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.057. [COBISS.SI-ID [95688963](#)]
  3. **KOZJEK, Dominik**. Zbirka nalog in rešitev za laboratorijske vaje : Osnove mehatronskih sistemov (3. letnik, PAP). Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2021. 1 USB ključ, ilustr. [COBISS.SI-ID [74534147](#)]
  4. HOZDIČ, Elvis, **KOZJEK, Dominik**, BUTALA, Peter. A cyber-physical approach to the management and control of manufacturing systems. Strojniški vestnik. Jan. 2020, vol. 66, no. 1, str. 61-70, si 8, ilustr. ISSN 0039-2480. <https://www.sv-jme.eu/article/a-cyber-physical-approach-to-the-management-and-control-of-manufacturing-systems/>, DOI: 10.5545/sv-jme.2019.6156. [COBISS.SI-ID [17016347](#)]
- PURIĆ, Diko, ANIČIĆ, Nebojša, **KOZJEK, Dominik**, VRABIČ, Rok. Metoda globokega učenja za napovedovanje napak pri proizvodnem procesu. In: BERLEC, Tomaž (ed.), BROJAN, Miha (ed.), DROBNIČ, Boštjan (ed.). [Zbornik del]. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2017. F. 132-139, ilustr. ISBN 978-961-6980-38-8. [COBISS.SI-ID [15657499](#)]