

# KRMILNA TEHNIKA

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	Krmilna tehnika
<b>Course title:</b>	CONTROL TECHNOLOGY
<b>Članica nosilka/UL Member:</b>	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - razvojno raziskovalni program, prva stopnja, univerzitetni (od študijskega leta 2023/2024 dalje)	Ni členitve (študijski program)	2. letnik	2. semester	obvezni

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

0577596

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

2021-U

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

**Nosilec predmeta/Lecturer:**

Dominik Kozjek

**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:**

1. Predavanje: Uvod, predstavitev predmeta
  - Značilni primeri krmiljenja sodobnih naprav. Vloga računalnika v krmiljenju.
  - Zgradba in delovanje krmilnih sistemov, gradniki. Grafični opisi sistemov: semioperacijski in blokovni diagrami.
  - Signali v krmilnih sistemih (informacijski tokovi). Osnovna delitev: preklopna in proporcionalna krmilja.
2. Predavanje: Kombinatorni logični sklopi
  - Osnova opisa preklopnih krmilij (logične spremenljivke, osnovne logične funkcije).
  - Zapisi logičnih funkcij (pravilnostne tabele, enačbe, logigrami).
  - Poenostavljanje logičnih funkcij.
  - Sinteza kombinatornih sklopov
  - Implementacija s PLK (lestvični diagrami, funkcijski bloki, strukturirani tekst)
3. Predavanje: Sekvenčni logični sklopi
  - Zgradba, opisi
  - Pomnilniški gradniki
  - Standardni sekvenčni moduli

**Content (Syllabus outline):**

- Lecture 1: Introduction
- Typical examples of control of modern devices. The role of the computer in control.
  - Construction and operation of control systems, building blocks. Graphic descriptions of systems: semioperative and block diagrams.
  - Signals in control systems (information flows). Basic types: switching and proportional controls.
- Lecture 2: Combinatorial logic
- Basis for the description of switching controls (logic variables, basic logic functions).
  - Description of logical functions (truth tables, equations, logic diagrams).
  - Simplification of logical functions.
  - Design of combinatorial modules.
  - PLC implementation (ladder diagrams, function blocks, structured text)
- Lecture 3: Sequential logic
- Structure, descriptions
  - Memory cells
  - Standard sequential modules
  - Usage examples
- Lecture 4: Step-transition control

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primeri uporabe</li> </ul> <p>4. Predavanje: Koračna krmilja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sintaksa jezika SFC</li> <li>• Izbrani primeri</li> </ul> <p>5. Predavanje: Implementacija koračnih krmilij s PLK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vhodne enote in vmesniki</li> <li>• Izhodne enote in vmesniki</li> </ul> <p>6. Predavanje: Zančno krmiljenje</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gradniki, zgradba in delovanje sistema zančnega krmilnega sistema</li> <li>• Tipi: zvezni, diskretni, hibridni</li> <li>• Posebnosti digitalnih krmilnih sistemov</li> <li>• Značilnosti zančnega krmiljenja, pomen, primeri uporabe</li> </ul> <p>7. Predavanje: Modeliranje krmilnih sistemov</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zvezni gradniki: diferencialne enačbe, primeri iz mehanike in elektromehanike</li> <li>• Diskretni gradniki: diferenčne enačbe, primeri krmilnih algortimov</li> <li>• Primer opisa zančnega krmilnega sistema: krmilnik, objekt, enotska povratna zveza</li> <li>• Analiza v stacionarnem stanju (statična karakteristika)</li> <li>• Linearizacija opisov</li> </ul> <p>8. Predavanje: Laplaceova transformacija</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardni vbujevalni signali</li> <li>• Laplaceova transformacija: pravila, transformiranje standardnih signalov</li> <li>• Metode inverzne L. transformacije, reševanje lin. dif. enačb</li> </ul> <p>9. Predavanje: Prenosna funkcija</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definicija PF, upodabljanje v kompleksni ravnini,</li> <li>• Izračun PF sestavljenih sistemov: vzporedna, zaporedna, povratna vezava</li> <li>• Ničle in poli PF, njihov vpliv na dinamiko odziva in stabilnost sistema</li> <li>• Izračun odzivov na standardne vzhujevalne signale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SFC language syntax</li> <li>• Selected examples</li> </ul> <p>Lecture 5: Implementation of step-transition controls with PLCs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input units and interfaces</li> <li>• Output units and interfaces</li> </ul> <p>Lecture 6: Feedback control</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Building blocks, structure and operation of a feedback control system.</li> <li>• Types: continuous, discrete, hybrid</li> <li>• Specific features of digital control systems</li> <li>• The characteristics of feedback control, meaning, use cases</li> </ul> <p>Lecture 7: Modeling of control systems</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuous building blocks: differential equations, examples in mechanics and electromechanics</li> <li>• Discrete building blocks: differential equations, examples of control algorithms</li> <li>• Example description of loop control system: controller, object, unity feedback</li> <li>• Steady state analysis (static characteristic)</li> <li>• Linearization of descriptions</li> </ul> <p>Lecture 8: Laplace transform</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard excitation signals</li> <li>• Laplace transform: rules, transforms of standard signals</li> <li>• Inverse L. transformation methods, solving linear ODEs</li> </ul> <p>Lecture 9: Transfer function (TF)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition of TF, plots in complex plane,</li> <li>• Calculation of TF for composite systems: parallel, sequential, feedback</li> <li>• Zeros and poles of TF, their influence on response dynamics and system stability</li> <li>• Calculation of responses to standard excitation signals</li> <li>• Lecture 10: Transient response analysis</li> </ul>
--	--

<p>10. Predavanje: Analiza prehodnega odziva</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Osnovni modeli sistemov: sistem 1. reda P1, sistem 2. reda P2, integrirni člen I1, diferencirni člen D1, člen s časovnim zadržkom</li> <li>• Prehodni odzivi osnovnih sistemov</li> <li>• Karakteristike na osnovi prehodnega odziva (dvižni čas, prenihanje, odstop v stac. stanju)</li> <li>• Specifikacije krmilnih sistemov</li> </ul> <p>11. Predavanje: PID krmiljenje</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Značilnosti P, I, D členov</li> <li>• P, PD, PI, PID krmilniki in njihovi parametri</li> <li>• Algoritmi implementacije diskretnih PID krmilnikov</li> </ul> <p>12. Predavanje: Empirično nastavljanje PID krmilnikov</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metode Ziegler-Nichols (in sorodne)</li> <li>• Povezava med prehodnimi karakteristikami in nastavitvami krmilnika</li> </ul> <p>13. Predavanje: Primer sinteze zančnega krmilnega sistema</p> <p>14. Predavanje: Implementacija PID krmilnikov s krmilnimi računalniki</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vhodne enote in vmesniki</li> <li>• Izhodne enote in vmesniki</li> <li>• Izbira periode vzorčenja</li> <li>• Preprečitev integralskega pobega</li> <li>• Testiranje</li> </ul> <p>15. Predavanje: Pregled alternativnih konceptov zančnega krmiljenja</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nelinearni krmilniki</li> <li>• optimalno krmiljenje</li> <li>• adaptivno krmiljenje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic systems models: 1st order P1 system, 2nd order P2 system, integrating member I1, differentiating member D1, time-delay member</li> <li>• Transient response of basic systems</li> <li>• Characteristics based on transient response (rise time, overshoot, steady state error)</li> <li>• Specifications of control systems</li> </ul> <p>Lecture 11: PID control</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Features of P, I, D terms</li> <li>• P, PD, PI, PID controllers and their parameters</li> <li>• Implementation algorithms for discrete PID controllers</li> </ul> <p>Lecture 12: Empirical tuning of PID controllers</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziegler-Nichols Methods (and related)</li> <li>• Influence of controller settings on transient characteristics</li> </ul> <p>Lecture 13: Feedback control system design (by example)</p> <p>Lecture 14: Computer implementation of PID controllers</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input units and interfaces</li> <li>• Output units and interfaces</li> <li>• Selection of sampling period</li> <li>• Preventing integral windup</li> <li>• Testing</li> </ul> <p>Lecture 15: An overview of alternative concepts of feedback control</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nonlinear controllers</li> <li>• Optimal control</li> <li>• Adaptive control</li> </ul>
---	---

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. F.D. Petruzella, Programmable Logic Controllers 5th Ed., McGraw-Hill, 2016.
2. J. Sun, Control Engineering: Fundamentals, De Gruyter, 2018.
3. N.S. Nise, Control Systems Engineering, John Wiley & Sons; 8th EMEA edition, 2019.

### Cilji in kompetence:

### Objectives and competences:

<p><b>Cilji:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Spoznati zgradbo in delovanje krmilnih sistemov, njihovo razčlenitev na osnovne gradnike, osvojiti načine opisa takih sistemov, razumeti njihove karakteristike in specifikacije.</li> <li>2. Spoznati metode razvoja takih sistemov s posebnim poudarkom na interdisciplinarnem pristopu ter fizikalnem, matematičnem in numeričnem modeliranju ter uporabi računalniških simulacij.</li> <li>3. Spoznati metode implementacije krmilnikov s programirljivimi logičnimi krmilniki in krmilnimi računalniki.</li> </ol> <p><b>Kompetence:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S1-RRP + P2-RRP: Sposobnost uporabe pridobljenega strokovnega znanja za reševanje manj zahtevnih nalog s področja krmiljenja in avtomatizacije.</li> <li>2. P4-RRP: Sposobnost osnovnega fizikalnega, matematičnega in numeričnega modeliranja problemov na področju krmiljenja z razvito sposobnostjo kritične analize dobljenih rezultatov.</li> <li>3. S8-RRP: Usposobljenost za interdisciplinarno povezovanje s strokovnjaki drugih strok na področju krmiljenja in avtomatizacije.</li> </ol>	<p><b>Objectives:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. To understand the structure and operation of control systems, their breakdown into basic building blocks, to learn to describe such systems, to understand their characteristics and specifications.</li> <li>2. To learn the methods of development of control systems with special emphasis on the interdisciplinary approach and the physical, mathematical and numerical modeling and application of computer simulations.</li> <li>3. Learn the methods of implementing controllers with programmable logic controllers and control computers.</li> </ol> <p><b>Competencies:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S1-RRP + P2-RRP: Ability to use acquired knowledge to accomplish less demanding control and automation tasks.</li> <li>2. P4-RRP: Ability to perform basic physical, mathematical and numerical modeling of control problems with the developed ability to critically analyze the results obtained.</li> <li>3. S8-RRP: Ability for interdisciplinary collaboration with experts in other fields of control and automation.</li> </ol>
--	---

<p><b>Predvideni študijski rezultati:</b></p> <p><b>Znanja:</b></p> <p>Z1: Strokovno teoretično in praktično znanje na področju krmiljenja, podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo, ki omogočata vključevanje v interdisciplinarne razvojne skupine na teh področjih.</p> <p><b>Spretnosti:</b></p> <p>S1.3: Diagnosticiranje in reševanje problemov na področju krmiljenja v različnih specifičnih delovnih okoljih.</p>	<p><b>Intended learning outcomes:</b></p> <p><b>Knowledge:</b></p> <p>Z1: Expert theoretical and practical knowledge in the field of control, supported by a broader theoretical and methodological basis, enabling integration into interdisciplinary development teams in these fields.</p> <p><b>Skills:</b></p> <p>S1.3: Diagnosing and solving control problems in different specific work environments.</p>
---	---

S1.2: Obvladovanje zahtevnih, kompleksnih metod krmiljenja delovnih procesov ter samostojna uporaba znanja v novih delovnih situacijah.	S1.2: Mastering demanding, complex methods of controlling work processes and applying knowledge independently in new work situations.
---	---

### 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.

P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepí z računskimi primeri.

P4 Laboratorijske vaje z namenski didaktičnimi pripomočki (preklopno krmiljenje zapornice, tekočega traku, PID krmiljenje temperature, vezje z mikrokrmilnikom, mobilni robot).

P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki e-verzij: predstavitve predavanj, zbirke nalog z vaj, navodil za izvedbo laboratorijskih vaj

P14 Virtualni eksperimenti

P15 Uporaba video vsebin kot priprava na vaje

### Learning and teaching methods:

P1 Lectures by solving selected - typical - theoretical and practical examples.

P2 Treatment of the substance in an orderly and pre-interpreted systematic manner.

P3 Practical classes where theoretical knowledge from lectures is supported by computed examples.

P4 Laboratory exercises with dedicated didactic aids (switching gate control, conveyor belt, PID temperature control, microcontroller circuit, mobile robot).

P5 Use of study materials in the form of e-lectures: presentation of lectures, workbooks, instructions for laboratory work

P14 Virtual experiments

P15 Use video content to prepare for tutorials

### Načini ocenjevanja:

### Delež/ Weight

### Assessment:

Teoretična snov (predavanja).	50,00 %	Theoretical matter (lectures).
Samostojno delo na vajah.	25,00 %	Independent work in exercises.
Laboratorijsko delo na vajah (vključno s poročili).	25,00 %	Laboratory work in exercises (including reports).

### Reference nosilca/Lecturer's references:

#### Dominik Kozjek:

1. **KOZJEK, Dominik**, MALUS, Andreja, VRABIČ, Rok. Reinforcement-learning-based route generation for heavy-traffic autonomous mobile robot systems. Sensors. Jul. 2021, vol. 21, iss. 14, str. 1-19, ilustr. ISSN 1424-8220. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4809>, DOI: 10.3390/s21144809. [COBISS.SI-ID 76747779].
2. **KOZJEK, Dominik**, VRABIČ, Rok, KRALJ, David, BUTALA, Peter, LAVRAČ,

Nada. Data mining for fault diagnostics : a case for plastic injection molding. In: BUTALA, Peter (ed.), GOVEKAR, Edvard (ed.), VRABIČ, Rok (ed.). 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS), Ljubljana, Slovenia, June 12-14, 2019. Amsterdam: Elsevier, 2019. Vol. 81, f. 809-814, ilustr. Procedia CIRP, vol. 81. ISSN 2212-8271.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119305098>, DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.204. [COBISS.SI-ID [16687643](#)].

3. **KOZJEK, Dominik**, BUTALA, Peter, VRABIČ, Rok. Information support framework for processes in manufacturing systems based on big data. In: JOKIČ, Andrej (ed.). Book of abstracts : PhD study of mechanical engineering, naval architecture, aeronautical engineering and metallurgical engineering. 5th Annual FAMENA PhD Workshop and 2nd joint Conference of Postgraduate Students DrLMZ, June 28, 2019. Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture; [Sisak]: Faculty of Metallurgy, 2019. Str. 82. [COBISS.SI-ID [16687387](#)].
4. **KOZJEK, Dominik**, VRABIČ, Rok, KRALJ, David, BUTALA, Peter. Smart usage and advanced management of data in plastic injection moulding systems. In: HANČIČ, Aleš (ed.), GRUM, Janez (ed.), GRUM, Janez (ed.). Conference proceedings. 10th International Conference on Industrial Tools and Advanced Processing Technologies, Ljubljana, Slovenia, April 24th - 26th 2017. Celje: TECOS, Slovenian Tool and Die Development Centre, 2017. F. 1. ISBN 978-961-6692-04-5. [COBISS.SI-ID [15506971](#)].
5. **KOZJEK, Dominik**, VRABIČ, Rok, RIHTARŠIČ, Borut, BUTALA, Peter. Big data analytics for operations management in engineer-to-order manufacturing. In: WANG, Lihui (ed.). 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, 16-18 May, 2018, Stockholm, Sweden. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, 16-18 May, 2018, Stockholm, Sweden. [Amsterdam etc.]: Elsevier, 2018. Vol. 72, f. 209-214, ilustr. Procedia CIRP, Vol. 72. ISSN 2212-8271. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118302531?via%3Dihub>, DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.098. [COBISS.SI-ID [16190235](#)].