

KRMILNA TEHNIKA

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Krmilna tehnika
Course title:	Control Technology
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - razvojno raziskovalni program, prva stopnja, univerzitetni	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:	doc. dr. Dominik Kozjek, prof. dr. Primož Podržaj
-----------------------------------	---

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.

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.

• 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 • Primeri uporabe 4. Predavanje: Koračna krmilja • Sintaksa jezika SFC • Izbrani primeri 5. Predavanje: Implementacija koračnih krmilij s PLK • Vhodne enote in vmesniki • Izhodne enote in vmesniki 6. Predavanje: Zanjeno krmiljenje • Gradniki, zgradba in delovanje sistema zanjega krmilnega sistema • Tipi: zvezni, diskretni, hibridni • Posebnosti digitalnih krmilnih sistemov • Značilnosti zanjega krmiljenja, pomen, primeri uporabe 7. Predavanje: Modeliranje krmilnih sistemov • Zvezni gradniki: diferencialne enačbe, primeri iz mehanike in elektromehanike • Diskretni gradniki: diferenčne enačbe, primeri krmilnih algoritmov • Primer opisa zanjega krmilnega sistema: krmilnik, objekt, enotska povratna zveza • Analiza v stacionarnem stanju (statična karakteristika) • Linearizacija opisov 8. Predavanje: Laplaceova transformacija • Standardni vbujevalni signali • Laplaceova transformacija: pravila, transformiranje standardnih signalov • Metode inverzne L. transformacije, reševanje lin. dif. enačb 9. Predavanje: Prenosna funkcija • Definicija PF, upodabljanje v kompleksni ravnini, • Izračun PF sestavljenih sistemov: vzporedna, zaporedna, povratna vezava • Ničle in poli PF, njihov vpliv na dinamiko odziva in stabilnost sistema • Izračun odzivov na standardne vbujevalne signale 10. Predavanje: Analiza prehodnega odziva • Osnovni modeli sistemov: sistem 1. reda P1, sistem 2. reda P2, integrirni člen I1, diferencirni člen D1, člen s časovnim zadržkom	• 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 • SFC language syntax • Selected examples Lecture 5: Implementation of step-transition controls with PLCs • Input units and interfaces • Output units and interfaces Lecture 6: Feedback control • Building blocks, structure and operation of a feedback control system. • Types: continuous, discrete, hybrid • Specific features of digital control systems • The characteristics of feedback control, meaning, use cases Lecture 7: Modeling of control systems • Continuous building blocks: differential equations, examples in mechanics and electromechanics • Discrete building blocks: differential equations, examples of control algorithms • Example description of loop control system: controller, object, unity feedback • Steady state analysis (static characteristic) • Linearization of descriptions Lecture 8: Laplace transform • Standard excitation signals • Laplace transform: rules, transforms of standard signals • Inverse L. transformation methods, solving linear ODEs Lecture 9: Transfer function (TF) • Definition of TF, plots in complex plane, • Calculation of TF for composite systems: parallel, sequential, feedback • Zeros and poles of TF, their influence on response dynamics and system stability • Calculation of responses to standard excitation signals Lecture 10: Transient response analysis • Basic systems models: 1st order P1 system, 2nd order P2 system, integrating member I1, differentiating member D1, time-delay member
--	---

• Prehodni odzivi osnovnih sistemov • Karakteristike na osnovi prehodnega odziva (dvižni čas, prenihanje, odstop v stac. stanju) • Specifikacije krmilnih sistemov 11. Predavanje: PID krmiljenje • Značilnosti P, I, D členov • P, PD, PI, PID krmilniki in njihovi parametri • Algoritmi implementacije diskretnih PID krmilnikov 12. Predavanje: Empirično nastavljanje PID krmilnikov • Metode Ziegler-Nichols (in sorodne) • Povezava med prehodnimi karakteristikami in nastavitvami krmilnika 13. Predavanje: Primer sinteze zančnega krmilnega sistema 14. Predavanje: Implementacija PID krmilnikov s krmilnimi računalniki • Vhodne enote in vmesniki • Izhodne enote in vmesniki • Izbira periode vzorčenja • Preprečitev integralskega pobega • Testiranje 15. Predavanje: Pregled alternativnih konceptov zančnega krmiljenja • nelinearni krmilniki • optimalno krmiljenje • adaptivno krmiljenje	• Transient response of basic systems • Characteristics based on transient response (rise time, overshoot, steady state error) • Specifications of control systems Lecture 11: PID control • Features of P, I, D terms • P, PD, PI, PID controllers and their parameters • Implementation algorithms for discrete PID controllers Lecture 12: Empirical tuning of PID controllers • Ziegler-Nichols Methods (and related) • Influence of controller settings on transient characteristics Lecture 13: Feedback control system design (by example) Lecture 14: Computer implementation of PID controllers • Input units and interfaces • Output units and interfaces • Selection of sampling period • Preventing integral windup • Testing Lecture 15: An overview of alternative concepts of feedback control • Nonlinear controllers • Optimal control • Adaptive control
---	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. F.D. Petruzella, Programmable Logic Controllers 5th Ed., McGraw-Hill, 2016. [COBISS.SI-ID [27426309](#)]
2. N.S. Nise, Control Systems Engineering, John Wiley & Sons; 8th EMEA edition, 2019. [COBISS.SI-ID [22568709](#)]

Cilji in kompetence:

Cilji:

1. Spoznati zgradbo in delovanje krmilnih sistemov, njihovo razčlenitev na osnovne gradnike, osvojiti načine opisa takih sistemov, razumeti njihove karakteristike in specifikacije.
2. Spoznati metode razvoja takih sistemov s posebnim poudarkom na interdisciplinarnem pristopu ter fizikalnem, matematičnem in numeričnem modeliranju ter uporabi računalniških simulacij.
3. Spoznati metode implementacije krmilnikov s programirljivimi logičnimi krmilniki in krmilnimi računalniki.

Kompetence:

1. S1-RRP + P2-RRP: Sposobnost uporabe pridobljenega strokovnega znanja za reševanje manj zahtevnih nalog s področja krmiljenja in avtomatizacije.
2. P4-RRP: Sposobnost osnovnega fizikalnega, matematičnega in numeričnega modeliranja problemov na področju krmiljenja z razvito

Objectives and competences:

Objectives:

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.
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.
3. Learn the methods of implementing controllers with programmable logic controllers and control computers.

Competencies:

1. S1-RRP + P2-RRP: Ability to use acquired knowledge to accomplish less demanding control and automation tasks.
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.

spodobnostjo kritične analize dobljenih rezultatov. 3. S8-RRP: Usposobljenost za interdisciplinarno povezovanje s strokovnjaki drugih strok na področju krmiljenja in avtomatizacije.	3. S8-RRP: Ability for interdisciplinary collaboration with experts in other fields of control and automation.
---	---

Predvideni študijski rezultati:

Znanja: 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. Spretnosti: S1.3: Diagnosticiranje in reševanje problemov na področju krmiljenja v različnih specifičnih delovnih okoljih. S1.2: Obvladovanje zahtevnih, kompleksnih metod krmiljenja delovnih procesov ter samostojna uporaba znanja v novih delovnih situacijah.	Intended learning outcomes: Knowledge: 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. Skills: S1.3: Diagnosing and solving control problems in different specific work environments. 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 podkrepi 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: predstavitev 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, pisni preizkus).	50,00 %	Theory (lectures, written exam).
Praktični del (vključno s prisotnostjo in sodelovanjem na vajah, pisni preizkus).	50,00 %	Practical part (including presence and participation at tutorials, written exam).

Ocenjevalna lestvica:

Grading system:

5 - 10, pri čemer velja, da je pozitivna ocena od 6 - 10	5 - 10, a student passes the exam if he is graded from 6 to 10
--	--

Reference nosilca/Lecturer's references:

Dominik Kozjek:

1. **KOZJEK, Dominik**, CARTER, Fred M., PORTER, Conor, MOGONYE, Jon-Erik, EHMANN, Kornel F., CAO, Jian. Data-driven prediction of next-layer melt pool temperatures in laser powder bed fusion based on co-axial high-resolution Planck thermometry measurements. *Journal of manufacturing processes*. [Print ed.]. Jul. 2022, vol. 79, str. 81-90, ilustr. ISSN 1526-6125.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612522002687>, DOI: [10.1016/j.jmapro.2022.04.033](https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.04.033). [COBISS.SI-ID 115853571]

2. **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>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=130805>, DOI: [10.3390/s21144809](https://doi.org/10.3390/s21144809). [COBISS.SI-ID [76747779](#)]
3. 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>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=117881>, DOI: [10.1016/j.cirp.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.04.001). [COBISS.SI-ID [24176643](#)]
4. MALUS, Andreja, VRABIČ, Rok, **KOZJEK, Dominik**, BUTALA, Peter, GAMS, Matjaž. The influence of communication structure on performance of an agent-based distributed control system. V: LUŠTREK, Mitja (ur.), PILTAVER, Rok (ur.), GAMS, Matjaž (ur.). Slovenska konferenca o umetni inteligenci : zbornik 21. mednarodne multikonference Informacijska družba - IS 2018, 8.-12. oktober 2018, Ljubljana, Slovenia : zvezek A = Slovenian Conference on Artificial Intelligence : proceedings of the 21st International Multiconference Information Society - IS 2018, 8-12 October, 2018, [Ljubljana, Slovenia] : volume A. Ljubljana: Institut "Jožef Stefan", 2018. Str. 13-16. Informacijska družba. ISBN 978-961-264-135-1. ISSN 2630-371X. <https://is.ijs.si/archive/proceedings/2018/files/Zbornik%20-%20A.pdf>. [COBISS.SI-ID [31858727](#)]
5. BHANDARI, Suman, **KOZJEK, Dominik**, CAO, Jian, EHMANN, Kornel F. Control of the plasma-workpiece distance using a convolution neural network in laser-induced plasma micromachining. V: CASTAGNE, Sylvie (ur.). WCMNM 2022 : World Congress on Micro and Nano Manufacturing : the congress incorporates International Conference on Multi-Material Micro Manufacturing (4M), International Conference on Micro Manufacturing (ICOMM) and International Forum on Micro Manufacturing (IFMM) : 19-22 September 2022, Leuven, Belgium. Singapore: Research Publishing, 2022. Str. 184-187, ilustr. ISBN 978-981-18-5180-3. <https://rpsonline.com.sg/proceedings/wcmnm2022/html/RP37-0046.html>. [COBISS.SI-ID [170523395](#)]

Primož Podržaj:

1. REZNICHENKO, Igor, **PODRŽAJ, Primož**. Design methodology for a magnetic levitation system based on a new multi-objective optimization algorithm. *Sensors*. Jan. 2023, vol. 23, iss. 2, str. 1-22, ilustr. ISSN 1424-8220. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/2/979>, DOI: [10.3390/s23020979](https://doi.org/10.3390/s23020979). [COBISS.SI-ID [138754819](#)]
2. PLETESKI, Jan, ŠKULJ, Gašper, ESNAULT, Corentin, PUC, Jernej, VRABIČ, Rok, **PODRŽAJ, Primož**. Miniature mobile robot detection using an ultra-low resolution time-of-flight sensor. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. [Print ed.]. Sep. 2023, vol. 72, str. 1-9, ilustr. ISSN 0018-9456. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10262176>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=151584>, DOI: [10.1109/TIM.2023.3318710](https://doi.org/10.1109/TIM.2023.3318710). [COBISS.SI-ID [166014211](#)]
3. **PODRŽAJ, Primož**, SIMONČIČ, Samo. Arc welding as a control system. V: BODZÁS, Sándor (ur.), MANKOVITS, Tamás (ur.). ISCAME 2016 : proceedings. 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering, 13-15 October, 2016 Debrecen, Hungary. Debrecen: Faculty of Engineering, 2016. F. 396-401, ilustr. ISBN 978-963-473-944-9. http://eng.unideb.hu/userdir/gepesz/wp-content/uploads/2015/10/ISCAME_2016_Proceedings-1.pdf. [COBISS.SI-ID [15075099](#)]
4. SIMONČIČ, Samo, **PODRŽAJ, Primož**. High efficiency and robustness with respect to the lighting variation of the inverse compositional matching strategy. V: HACK, Ervin (ur.), RASTOGI, Pramod K. (ur.). International conference on processes in combined digital optical & imaging methods applied to mechanical engineering, Monte Verità, Ascona, Switzerland, 8-13 May 2016. [S. l.: s. n., 2016]. Str. 69-73, ilustr. [COBISS.SI-ID [14999835](#)] ISSN 2591-0442. [https://erk.fe.uni-lj.si/2024/papers/ravnikar\(enhancing_digital\).pdf](https://erk.fe.uni-lj.si/2024/papers/ravnikar(enhancing_digital).pdf). [COBISS.SI-ID [211655171](#)]
5. FINŽGAR, Miha, **PODRŽAJ, Primož**. An insight into non-contact assessment of human skin microcirculation. V: BODZÁS, Sándor (ur.), MANKOVITS, Tamás (ur.). ISCAME 2016 : proceedings. 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering, 13-15 October, 2016 Debrecen, Hungary. Debrecen: Faculty of Engineering, 2016. F. 173-177, ilustr. ISBN 978-963-473-944-9. http://eng.unideb.hu/userdir/gepesz/wp-content/uploads/2015/10/ISCAME_2016_Proceedings-1.pdf. [COBISS.SI-ID [15071771](#)]