

HIDRAVLIKA IN PNEVMATIKA - RRP

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Hidravlika in pnevmatika - RRP
Course title:	Hydraulics and Pneumatics - RRP
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - razvojno raziskovalni program, prva stopnja, univerzitetni (od študijskega leta 2026/2027 dalje)	Ni členitve (študijski program)	3. letnik	1. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0562767
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	2030-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:	prof. dr. Niko Herakovič, izr. prof. dr. Franc Majdič, izr. prof. dr. Marko Šimic
-----------------------------------	---

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:

- Predavanje: Opredelitev področja H+P in osnove
- Osnovne definicije in kratek zgodovinski pregled
- Principiela zgradba H+P sistema
- Prednosti in slabosti H+P krmilij in naprav ter

Content (Syllabus outline):

- Lecture: Defining the field of H+P and basics
- Basic definitions and a brief historical overview
- Principal structure of the H+P system
- Advantages and disadvantages of H+P controls

uporabnost v praksi - Opredelitev osnovnih parametrov H+P in fizikalne osnove ter osnovni zakoni 2. Predavanje: Pnevmatična krmilja - Struktura pnevmatičnih krmilnih sistemov in krmilna shema - Simboli v pnevmatiki - Funkcija in tipi ventilov, načini vklapljanja, označevanje ventilov, krmilnih signalov in priključkov - Pnevmatični linearni in rotacijski motorji, tipi in preračuni - Piezoventili 3. Predavanje: Krmilja strojev in naprav - Zaporedje gibov - besedni, poenostavljen, tabelarični zapis, pogoji za posamezne gibe - Blokovni diagram, diagram pot-korak in gib korak - Diagram stanja krmilnih komponent - Osnovne krmilne sheme 4. Predavanje: Osnovna pnevmatična krmilna vezja - Krmilja s seštevanjem in prekinjanjem signalov - Posredno in neposredno krmiljenje - Dvoročni in dvoročni varnostni vklop - Polavtomatska in avtomatska krmilja 5. Predavanje: Krmiljenje gibanja več valjev - Krmilni signali in nosilniki informacij - Zaporedna pnevmatična vezja in metode krmiljenja - Vezja s ponavljajočimi gibi 6. Predavanje: Elektropnevmatika - Pomen, električna stikala, reed kontakti, releji in simboli - Metodologija načrtovanja elektropnevmatičnega krmilja za monostabilne in bistabilne ventile - Podrobni diagrami pot-korak, funkcijski načrti in osnovne električne krmilne sheme 7. Predavanje: PLK krmilja in energetska učinkovitost pnevmatičnih krmilj - Koncept krmiljenja s programirljivimi logočnimi krmilniki (PLK) - Osnovni primeri - Poraba in izgube energije stisnjenega zraka in stroški - Ukrepi za povečanje energijske učinkovitosti pnevmatičnih sistemov in krmilij 8. Predavanje: Priprava zraka in uvod v hidravliko - Značilnosti, priprava in pridobivanje stisnjenega zraka - Tipi, pogon in potrebna moč ter krmiljenje kompresorjev - Dimenzioniranje tlačne posode - Metode in postopki sušenja zraka in filtriranje zraka - Razdelilna mreža za zrak, izračun porabe stisnjenega zraka in premera cevi - Teoretične osnove, hidravlične kapljevine in njihove lastnosti, - vrste in razlogi za obrabo znotraj hidr. sestavin, notranje puščanje, nepravilnost oblike krožnice in	and devices and practical applicability - Definition of basic parameters of H+P, physical basics and fundamental laws 2. Lecture: Pneumatic controls - Structure of pneumatic control systems and control schematics - Pneumatic symbols - Function and types of valves, modes of switching, marking of valves, control signals and connections - Pneumatic linear and rotary motors, types and calculations - Piezo valves 3. Lecture: Control of machines and devices - Sequence of movements - verbal, simplified, tabular notation, conditions for individual movements) - Block diagram, path-step diagram and stroke- step diagram - Chart of state of control components - Basic control schematics 4. Lecture: Basic pneumatic control circuits - Controls by adding and interrupting signals - Direct and indirect control - Two-hand and two-hand safety switch on - Semi-automatic and automatic controls 5. Lecture: Control of multiple cylinders - Control signals and information carriers - Serial pneumatic circuits and control methods - Circuits with repetitive motions 6. Lecture: Electro-pneumatics - Meaning, electrical switches, reed switches, relays and symbols - Electro-pneumatic control design methodology for mono-stable and bi-stable valves - Detailed path-step diagrams, function plans and basic electrical control schematics 7. Lecture: PLC control and energy efficiency of pneumatic control - Concept of control with programmable logic controllers (PLCs) - Basic examples - Costs of energy consumption and loss of compressed air - Measures to increase the energy efficiency of pneumatic systems and control 8. Lecture: Air preparation and introduction to hydraulics - Characteristics, preparation and production of compressed air - Types, drives and required power and control of compressors - Determining the dimensions of the pressure vessel - Air drying methods and processes and air filtration - Air distribution network, calculation of compressed air consumption and pipe diameter - Theoretical bases, hydraulic fluids and their properties,
--	---

valja hidravličnih drsno-tesnilnih elementov, hrapavost, - aksialne in radialne sile znotraj hidravličnih sestavin. 9. Predavanje: Čistoča hidravličnih kapljev in filtracija: - povezava z vzdrževanjem, - kriteriji stabilnosti hidravličnih sistemov, - vrste in viri nečistoč, - razlogi za okvare hidravličnih sistemov, - standardi, - načini merjenja. 10. Predavanje: Črpalke s konstantno in spremenljivo iztisnino: - razlike med hidrostatičnimi in hidrodinamičnimi črpalkami, - vrste in karakteristike hidrostatičnih črpalk, - krmiljene črpalke in osnovne izvedbe krmilja, - simboli. 11. Predavanje: Hidravlični valji: - konstrukcijske značilnosti hidravličnih valjev, - simboli, - trajnostni testi HV, - vrste tesnil, - statično in dinamično tesnjenje, - materiali, ... 12. Predavanje: Potni in protipovratni ventili: - delitev po funkciji in konstrukcijskih rešitvah, - načini vkrmljenja, - vrste prekritij, - simboli, - način vgradnje, - vertikalno verženje, - dvostopenjski, - dušenje prekrmljenja, - hidrološki ventili. 13. Predavanje: Tlačni in tokovni ventili: - tlačni omejitveni in tlačni reducirni ventili, - eno- in dvostopenjski, - dušenje prekrmljenja, - različne konstrukcijske rešitve, - načini regulacije pretoka, - zaslonke in dušilke, - povratno-dušilni ventili, - ventili s talčno kompenzacijo, - delilniki toka, - simboli. 14. Predavanje: Pomožne hidravlične sestavine: - hidravlični rezervoarji in njihova oprema, - cevovodi: gibke, način pritrditve, cevni priključki, spoji, sheme cevnega razvoda, - filtri in filtracija. 15. Predavanje: Zvezno-delujoči ventili: - prednosti uporabe zveznih ventilov, - krmiljenje / regulacija, - vrste prekritij, - prehodna funkcija, - bodejev diagram ventila,	- Types and reasons for wear within the hydr. components, internal leakage, irregularity of the shape of the circle and cylinder of the hydraulic slide elements, roughness, - Axial and radial forces within the hydraulic components. 9. Lecture: Hydraulic fluid cleanliness and filtration: - Connection to maintenance, - Stability criteria for hydraulic systems, - Types and sources of impurities/particles, - The reasons for the failure of the hydraulic systems, - Standards, - Methods of measurement. 10. Lecture: Pumps with constant and variable displacement: - Differences between hydrostatic and hydrodynamic pumps, - Types and characteristics of hydrostatic pumps, - Variable displacement pumps and basic controls, - Symbols. 11. Lecture: Hydraulic cylinders: - Design characteristics of hydraulic cylinders, - Symbols, - Hydraulic cylinder sustainability tests, - Types of seals, - Static and dynamic sealing, - Materials,... 12. Lecture: Directional control and check valves: - Division by function and design, - Control methods, - Types of spool overlaps, - Symbols, - Mounting types, - Vertical chain, - Two-stage valves, - Hydraulic damping of two-stage valves, - Hydrological valves. 13. Lecture: Pressure and flow valves: - Pressure relief and pressure reducing valves, - One- and two-stage valves, - Hydraulic damping of two-stage valves, - Different construction solutions, - Flow control methods, - Throttles and nozzles, - Flow control with check valves, - Valves with pressure compensation, - Flow dividers, - Symbols. 14. Lecture: Hydraulic auxiliary components: - Hydraulic tanks and their equipment, - Pipelines: hoses, mounting method, pipe fittings, piping diagrams, - Filters and filtration. 15. Lecture: Continuously operated valves: - Advantages of using continuous valves, - Control / regulation, - Types of overlap,
---	---

- izračun pretoka, - diether nihanje, - digitalna hidravlika, - simboli, - vrste proporcionalnih ventilov, - tlačna tehnika, - nastavitve PID parametrov, vrste servo-ventilov.	- Transition function, - Valve frequency response, - Flow calculation, - Diether oscillations, - Digital hydraulics, - Symbols, - Types of proportional valves, - Pressure balance valve, - Setting of PID parameters, - Types of servo valves.
---	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Herakovič, N., Noe, D.: Osnove pnevmatičnega krmiljenja, Učno gradivo, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2006, [COBISS.SI-ID 8962843]. 2. Parambath, Joji: Pneumatic systems and circuits: basic level: in the SI units, [S. l. : J. Parambath], cop. 2022, [COBISS.SI-ID 146675203]. 3. Esposito, A.: Fluid mechanics with applications, Prentice-Hall, 1998. – Izbrana poglavja, [COBISS.SI-ID 3794198]. 4. Murrenhoff, H.: Grundlagen der Fluidtechnik, Teil 1 Aachen, 2011– Izbrana poglavja, [COBISS.SI-ID 12046619]. 5. Pezdirnik J., Majdič F. Krmiljene črpalke in hidravlični motorji ter hidrostatični pogoni : seminarsko gradivo. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2006. [COBISS.SI-ID 9562651]. 6. Pezdirnik J., Majdič F. Hidravlika in pnevmatika : zapiski za predavanja. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2011. 381 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 12024603].
--

Cilji in kompetence:

Cilji: 1. Usvojiti osnovna znanja na področju konvencionalne ter proporcionalne hidravlike in pnevmatike. 2. Usvojiti teoretične osnove za preračun hidravličnih in pnevmatičnih krmilij in sistemov v praktični uporabi. 3. Usvojiti osnovna znanja za snovanje elektrohidravličnih in elektropnevmatičnih krmilij vključno s programirnimi krmilji ter hidravličnimi in pnevmatičnimi mikro pogoni 4. Usvojiti znanja za integracijo elektronskih komponent v H&P sisteme. Kompetence: 1. Razumevanje osnov hidravličnih in pnevmatičnih gradnikov, krmilij in sistemov konvencionalne, kakor tudi proporcionalne hidravlike in pnevmatike. 2. Sposobnost preračunov realnih hidravličnih in pnevmatičnih krmilij ter sistemov. 3. Sposobnost zasnovati osnovna in tudi bolj kompleksna (elektro)hidravlična in (elektro)pnevmatična krmilja, vključno s programirnimi krmilji ter hidravličnimi in pnevmatičnimi mikro pogoni. 4. Sposobnost nadgraditi klasične hidravlične in pnevmatične komponente in sisteme z elektronskimi komponentami v kompleksnejše mehatronske sisteme.	Objectives: 1. To acquire basic knowledge in the field of conventional and proportional hydraulics and pneumatics. 2. To gain the theoretical basis for the calculation of hydraulic and pneumatic controls and systems in practical use. 3. Acquire basic knowledge of the design of electro-hydraulic and electro-pneumatic controls including programming controls and hydraulic and pneumatic micro actuators 4. Acquire knowledge of integrating electronic components into H&P systems. Competencies: 1. Understanding the basics of hydraulic and pneumatic components, controls and systems of conventional as well as proportional hydraulics and pneumatics. 2. Ability to calculate real hydraulic and pneumatic controls and systems. 3. Ability to design basic as well as more complex (electro) hydraulic and (electro) pneumatic controls, including programming controls, and hydraulic and pneumatic micro actuators. 4. Ability to upgrade classic hydraulic and pneumatic components and systems with electronic components to more complex mechatronic systems.
--	--

Predvideni študijski rezultati:	Intended learning outcomes:
Znanja Študent pozna in razume: - osnove konvencionalne hidravlike in pnevmatike, - osnove proporcionalne hidravlike in pnevmatike, - osnove snovanja hidravličnih in pnevmatičnih krmilij in sistemov. Spretnosti: - Načrtovanje osnovnih (elektro)hidravličnih in (elektro)pnevmatičnih mehatronskih sistemov in krmilij na mikro in makro nivoju - Reševanju konstruktorskih, tehnoloških, in krmilnih izzivov ter vzdrževalnih problemov z uporabo hidravličnih in pnevmatičnih rešitev. - Snovanje osnovnih simulacijskih modelov hidravličnih in pnevmatičnih krmilij - Upraba računalniško podprtih orodij za načrtovanje in analizo hidravličnih in pnevmatičnih krmilij in sistemov	Knowledge: A student knows and understands: - the basics of conventional hydraulics and pneumatics, - the basics of proportional hydraulics and pneumatics, - the basics of design of hydraulic and pneumatic controls and systems. Skills: - Design of basic (electro) hydraulic and (electro) pneumatic mechatronic systems and controls at the micro and macro levels - Solve design, technological and control challenges and maintenance problems using hydraulic and pneumatic solutions. - Design of basic simulation models of hydraulic and pneumatic controls - Use of computer-aided design and analysis tools for hydraulic and pneumatic controls and systems

Metode poučevanja in učenja:	Learning and teaching methods:
- P1, P2 Avditorna predavanja podprta z interaktivnim prikazom praktičnih primerov - P3 Avditorne vaje z reševanjem praktičnih primerov - P4 Laboratorijske vaje s timskim reševanjem aplikativnih problemov in uporabo programske opreme ter njihova predstavitev z razpravo. - P5 Uporaba študijskega gradiva v e-obliki, skripta in e-verzija predavanj. - P6 Interaktivna predavanja	- P1, P2 Lectures supported by interactive presentation of practical examples - P3 Tutorials solving practical examples - P4 Laboratory exercises with team solving of application problems, using software and presenting them with discussion. - P5 Use of study material in e-form, lecture notes and e-version of lectures. - P6 Interactive lectures

Načini ocenjevanja:	Delež/Weight	Assessment:
Teoretične vsebine (predavanja): kolokviji, pisni in/ali ustni izpit.	60,00 %	Theoretical contents (lectures): partial exams, written and/or oral exam.
Samostojno delo na avditornih in laboratorijskih vajah (vključno s poročili).	40,00 %	Individual work in exercises, individual laboratory work (including reports).

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:
Niko Herakovič: - ŠIMIC, Marko, HERAKOVIČ, Niko. Experimental analysis of tribological behaviour of advanced composite spools used in commercial pneumatic spool valves. Tribology international. May 2016, vol. 97, str. 151-162, ilustr. ISSN 0301-679X. DOI: 10.1016/j.triboint.2016.01.012. [COBISS.SI-ID 14459675]. - ŠIMIC, Marko, HERAKOVIČ, Niko. Characterization of energy consumption of new piezo actuator system used for hydraulic on/off valves. Journal of cleaner production. [Print ed.]. Feb. 2021, vol. 284, str. 1-11, ilustr. ISSN 0959-6526. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620347922?via%3Dihub, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124748. [COBISS.SI-ID 39947267]. - ŠIMIC, Marko, HERAKOVIČ, Niko. Advanced composite spools used as alternative approach to reduce the actuation force in pneumatic valves. V: PEPELNJAK, Tomaž (ur.), CAR, Zlatan (ur.), KUDLÁČEK, Jan (ur.). IN-TECH 2017 : proceedings. International Conference on Innovative

Technologies, Ljubljana, [11. - 13. 9.] 2017. Rijeka: Faculty of Engineering, 2017. Str. 209-212, ilustr. Proceedings (International Conference on Innovative Technologies). ISSN 1849-0662. [COBISS.SI-ID [15673883](#)].

4. ŠIMIC, Marko, JANKOVIČ, Denis, MATOŠA, Klemen, **HERAKOVIČ, Niko**. Simulation analysis of influential parameters effecting the hydraulic press behaviour. V: LOVREC, Darko (ur.), TIČ, Vito (ur.). International conference Fluid Power 2023 : conference proceedings : [Maribor, Slovenia, 20th - 21st September 2023]. 1st ed. Maribor: University of Maribor, University Press, 2023. Str. [219]-233, ilustr. ISBN 978-961-286-782-9. <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/811>. [COBISS.SI-ID [165508867](#)].
5. ŠIMIC, Marko, **HERAKOVIČ, Niko**. Projektiranje hidravličnega krmilja osi CNC obdelovalnega centra : zaključno poročilo o rezultatih raziskovalno razvojnega dela. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko, 2020. [54] f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [17020443](#)].

Franc Majdič:

1. RAJKOVSKI, Ana, BARTOLJ, Jan, LEVSTEK, Tomaž, GODEŠA, Tone, SEČNIK, Matej, HOČEVAR, Marko, **MAJDIČ, Franc**. Mechanical inter- and intra-row weed control for small-scale vegetable producers. *Agriculture*. 2024, vol. 14, iss. 9, [article no.] 1483, str. 1-14, ilustr. ISSN 2077-0472. <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/9/1483>, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.3390/agriculture14091483](#). [COBISS.SI-ID [206591747](#)].
2. PUSTAVRH, Jan, HOČEVAR, Marko, PODRŽAJ, Primož, TRAJKOVSKI, Ana, **MAJDIČ, Franc**. Comparison of hydraulic, pneumatic and electric linear actuation systems. *Scientific reports*. 2023, [vol.] 13, [article no.] 20938, str. 1-13, ilustr. ISSN 2045-2322. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-47602-x#article-info>, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.1038/s41598-023-47602-x](#). [COBISS.SI-ID [180546307](#)].
3. **MAJDIČ, Franc**, PEZDIRNIK, Jože. Notranje puščanje hidravličnih sestavin - fizikalne osnove. *Ventil : revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo*. okt. 2020, letn. 26, št. 5, str. 350-356, ilustr. ISSN 1318-7279. [Digitalna knjižnica Slovenije - dLib.si](#). [COBISS.SI-ID [34112515](#)].
4. PUSTAVRH, Jan, PEPERKO, Aljoša, **MAJDIČ, Franc**. Razvoj in raziskave prototipa Stewartove ploščadi. *Ventil : revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo*. avg. 2020, letn. 26, št. 4, str. 264-271, ilustr. ISSN 1318-7279. [Digitalna knjižnica Slovenije - dLib.si](#). [COBISS.SI-ID [28293891](#)].
5. **MAJDIČ, Franc**, BARTOLJ, Jan, PUSTAVRH, Jan, NOVAK, Nejc, JELOVČAN, Rok, BABIČ, Miha, FOČIČ, Alen, TRAJKOVSKI, Ana. Mehka robotika v fluidni tehniki. V: *Akademija strojništva 2025 : inženirstvo - stabilnost v času strateških preobrazb : Ljubljana, Cankarjev dom ter prek spleta, 17. november 2025*. Ljubljana: Zveza strojnih inženirjev Slovenije - ZSIS, 2025. Letn. 14, št. 1/6, str. 150-151, ilustr. Svet strojništva, letn. 14, št. 1/6. ISSN 1855-6493. https://www.zveza-zsis.si/2025/10/29/svet-strojnistva-akademija-strojnistva-2025-november-2025/#dflip-df_14576/150, [Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL](#), DOI: [10.62020/svet.str.as2025054](#). [COBISS.SI-ID [261574659](#)].

Marko Šimic:

1. **ŠIMIC, Marko**, HERAKOVIČ, Niko. Characterization of energy consumption of new piezo actuator system used for hydraulic on/off valves. *Journal of cleaner production*. [Print ed.]. Feb. 2021, vol. 284, str. 1-11, ilustr. ISSN 0959-6526. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620347922?via%3Dihub>, DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.124748](#). [COBISS.SI-ID [39947267](#)]
2. JANKOVIČ, Denis, **ŠIMIC, Marko**, HERAKOVIČ, Niko. A data-driven simulation and Gaussian process regression model for hydraulic press condition diagnosis. *Advanced engineering informatics*. Jan. 2024, vol. 59, str. 1-22, ilustr. ISSN 1474-0346. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034623004044>, DOI: [10.1016/j.aei.2023.102276](#). [COBISS.SI-ID [174551043](#)]
3. JANKOVIČ, Denis, **ŠIMIC, Marko**, HERAKOVIČ, Niko. The concept of multi-agent smart hydraulic press. V: SCHMITZ, Katharina (ur.). Fluid power : digital, reliable, sustainable : 13. IFK : 13th - 15th June 2022, [Aachen, Germany] : proceedings. [Aachen: RWTH Aachen University], 2022. Str. 283-296, ilustr. DOI: [10.18154/RWTH-2023-04615](#). [COBISS.SI-ID [132526083](#)]
4. JANKOVIČ, Denis, NOVAK, Rok, **ŠIMIC, Marko**, HERAKOVIČ, Niko. The concept of automatic generation of hydraulic press cycle. V: LOVREC, Darko (ur.), TIČ, Vito (ur.). International Conference Fluid Power 2021 : conference proceedings : [IZUM, Maribor, Slovenia, 16. - 17. September 2021]. 1st ed. Maribor: University Press, 2021. Str. 285-300, ilustr. ISBN 978-961-286-513-9. DOI: [10.18690/978-961-286-513-9.24](#). [COBISS.SI-ID [77602051](#)]

5. **ŠIMIC, Marko**, HERAKOVIČ, Niko. Projektiranje hidravličnega krmilja osi CNC obdelovalnega centra: zaključno poročilo o rezultatih raziskovalno razvojnega dela. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko, 2020. [54] f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [17020443](#)]