



UNIVERZITET CRNE GORE MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA



81000 Podgorica, Džordža Vašingtona bb, Žiro račun broj: 510-154-63, tel: +382 20 245 003,

Web : www.ucg.ac.me/mf, Mail: mf@ucg.ac.me

Broj: 1-358/4

Podgorica, 24. 04. '24

UNIVERZITET CRNE GORE
CENTAR ZA UNAPREĐENJE KVALITETA
Direktorica prof. dr Svetlana Perović

Predmet: Izmjena nastavnog plana i programa na doktorskim studijama usvajanjem ECTS kataloga novog izbornog predmeta

Poštovana kolegice Perović,

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Mašinskog fakulteta br. 1-358/3 od 24. 4. 2024. godine, kojom smo inicirali izmjenu nastavnog plana i programa na doktorskim studijama, st. program Mašinstvo usvajanjem ECTS kataloga novoplaniranog izbornog predmeta *Napredni mehatronički sistemi*, i molimo za sprovođenje odgovarajuće procedure pred nadležnim tijelima i organima UCG.

Prilog:

- Označena Odluka;
- ECTS katalog predmeta ;
- Mišljenje Komisije za doktorske studije Fakulteta br. 1-358/2 od 4. 4. 2024. godine,
- Inicijativa za izmjenu nastavnog plana i programa evid. kod Mašinskog fakulteta pod br. 1-358/1 od 20. 3. 2024. godine, sa prilogom;



DEKAN

Radoje Vujadinović
Prof. dr Radoje Vujadinović



UNIVERZITET CRNE GORE MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA



81000 Podgorica, Džordža Vašingtona bb, Žiro račun broj: 510-154-63, tel: +382 20 245 003,

Web : www.ucg.ac.me/mf, Mail: mf@ucg.ac.me

Broj: 1-358/3

Podgorica, 24. 4. 2024. godine

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore (Bilten UCG br. 337/15 - posebno izdanje i 447/18), Vijeće Mašinskog fakulteta, na sjednici održanoj 24. aprila 2024. godine, donijelo je

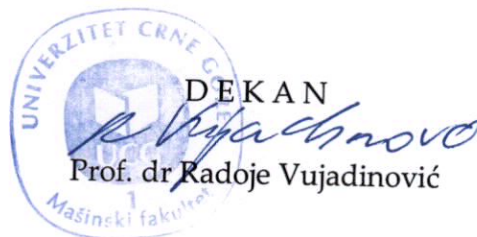
ODLUKU

I Usvaja se Odluka o izmjeni nastavnog plana i programa na doktorskim studijama, studijski program Mašinstvo, usavajanjem ECTS kataloga za izborni predmet Napredni mehatronički sistemi.

II Usklađivanje nastavnog plana i programa vrši se po osnovu rada i analiza u okviru ERASMUS+ projekta *Internet of Things* (IoT ECO).

III Prilog ove odluke čini ECTS katalog Predmeta.

IV Odluka se dostavlja Centru za unapređenje kvaliteta, na dalji postupak.



Dostaviti:

- Centru za unapređenje kvaliteta na UCG;
- Prodekanu za nastavu;
- Rukovodiocu st. programa;
- Rukovodiocu projekta *IoT ECO*;
- Sekretaru;
- A/a

KONAČNO!

Naziv predmeta: NAPREDNI MEHATRONIČKI SISTEMI				
Šifra predmeta	Status predmeta	Semestar	Broj ECTS kredita	Fond časova
	Izborni	II	8	4P+0L

Studijski programi za koje se organizuje: Akademske doktorske studije MASINSTVA (studije traju 6 semestara, 180 ECTS kredita).	
Uslovljenost drugim predmetima: Nema uslova za prijavljivanje i slušanje predmeta.	
Ciljevi predmeta: Cilj ovog predmeta je projektovanje i implementacija mehatroničkih sistema. Fokus predmeta je na razvijanju vještina studenata u sistemskom razmišljanju i analizi integracije i interakcije sistema za postizanje određenih performansi sistema, u proračunu kinematike i dinamike sistema, u modeliranju aktuatora i pogonskih sistema za komponente mašina, u funkcionalnoj analizi senzora i njihovoj integraciji sa upravljanjem u mehatroničkom sistemu.	
Ishodi predmeta: Nakon položenog ispita iz ovog predmeta studenti će biti sposobni da: <ol style="list-style-type: none"> 1. Riješe direktni i inverzni kinematski problem 2. Projektuju i implementiraju mehatroničke sisteme 3. Modeliraju i analiziraju dinamičko ponašanje mehatroničkih sistema 4. Vršer izbor i integraciju adekvatnog pogonskog i senzorskog sistema 5. Modeliraju upravljački sistem 6. Objasne IoRT i njegovu ulogu u Industriji 5.0. 	
Ime i prezime nastavnika i saradnika: Prof.dr Milanko Damjanović	
Metod nastave i savladanja građiva: Predavanja, domaći zadaci, kolokvijumi.	
PLAN RADA:	
Pripremna nedjelja	Priprema i upis semestra
I- nedjelja	Hronologija razvoja mehatroničkih sistema. Mehatronika i inteligentni sistemi. Uvod u napredne mehatroničke sisteme. Vještačka inteligencija i ekspertski sistemi. Uvođenje integrisane kompleksne mehatronike sistema: koncept, struktura i aplikacije.
II- nedjelja	Direktna kinematika-Homogene koordinate: uvod, koordinatni sistemi i njihove transformacije, elementarne rotacije, slaganje rotacija, rotacija oko proizvoljne ose, Ojlerovi uglovi, rotacija definisana uglovima skretanja, valjanja i propinjanja, određivanje ose i ugla rotacije za poznatu matricu rotacije, homogene transformacije. Primjeri.
III- nedjelja	Direktna kinematika-DH notacija i kinematika: Denavit-Hartenbergova notacija, direktni kinematski problem. Primjeri.
IV- nedjelja	Inverzna kinematika. Primjeri.
V- nedjelja	Diferencijalna kinematika-Jakobijan: uvod, analitičko određivanje Jakobijana, numeričko određivanje Jakobijana. Primjeri.
VI- nedjelja	Planiranje kretanja: definisanje problema planiranja kretanja, planiranje PTP kretanja, linearna interpolacija, trapezni profil brzine, interpolacija polinomom trećeg i petog stepena, primjena normalizovanih interpolacionih polinoma, nadovezivanje trajektorije. Primjeri.
VII- nedjelja	I kolokvijum
VIII- nedjelja	Dinamika mehaničkih sistema: sila i prenos obrtnog momenta pomoću mehanizama, Njutn-Ojlerove i Lagranžove metode u modeliranju dinamičkog ponašanja krutih složenih sistema sa pokretnim masama. Primjeri.
IX- nedjelja	Pogonski sistemi: uvod, pneumatski pogoni, hidraulični pogoni (linearni cilindri, obrtni motori, razvodnici, servo ventili, servoregulisani hidraulični ventili), električni pogoni (DC motori, AC motori, koračni motori), harmonični motori. Primjeri.
X- nedjelja	Analiza elektromehaničkog sistema: modeliranje električnih aktuatora; diferencijalne jednačine dinamičkog ponašanja; modeliranje DC motora, modeliranje ruke manipulatora na DC pogon, uvođenje blok dijagrama za opisivanje dinamičkog ponašanja.
XI- nedjelja	Senzorski sistemi: uvod, podjela senzora, senzori unutrašnjeg stanja, senzori položaja (inkrementalni enkoder, apsolutni enkoder, rezolver, induktosin, potenciometar, linearni diferencijalni transformator), senzori brzine (tahogenerator, digitalni tahometar), senzori otklona (SI senzori, pjezoelektrični senzor), Inercijalni navigacioni sistem (mehanički žiroskop, geomagnetični senzor), senzori spoljašnjeg stanja (taktilni senzor, klizni senzor, senzori bazirani na promjeni otpora, elektromagnetni induktivni senzori, kapacitivni taktilni senzori). Primjeri.
XII- nedjelja	Senzorski sistemi: senzori sile i momenta (primjena mjernih traka u sensorima sile/momenta, šestokomponentni senzori sile šake, induktivni šestokomponentni senzor sile), senzori blizine (induktivni, kapacitivni, ultrazvučni i optički senzori blizine), senzori vizije (struktura senzora vizije, CCD poluprovodničke kamere, primjena senzora vizije u robotici, 3D senzori vizije). Primjeri.
XIII- nedjelja	Upravljački sistemi: otvorene i zatvorene upravljačke petlje, PID upravljanje (ON-OFF kontroler, P kontroler, PI kontroler, PID kontroler, podešavanje parametara PID kontrolera, Ziegler-Nichols metode), kaskadno upravljanje. Primjeri.

XIV- nedjelja	Industrija 5.0. IoRT - Internet of Robotic Things (komunikaciona arhitektura, decentralizovana i automatizovana infrastruktura, aplikacije). Robotika u oblaku (komponente, ograničenja i izazovi)				
XV- nedjelja	II kolokvijum				
XVI- nedjelja	Završni ispit				
XVII- nedjelja	Ovjera semestra i upis ocjena				
XVIII-XXI- nedjelja	Dopunska nastava i popravni ispitni rok				
Obaveze studenta u toku nastave: Studenti su obavezni da redovno pohađaju nastavu i vježbe, rade i predaju domaće zadatke, rade kolokvijume.					
Konsultacije: 2 puta nedjeljno					
Opterećenje studenta u časovima:					
<u>Nedjeljno</u>	<u>U toku semestra</u>				
8 kredita x 40/30 = <u>10 sati i 40 minuta</u>	Nastava i završni ispit: (10 sati 40 minuta) x 16 = <u>170 sati 40 minuta</u>				
Struktura: 4 sata predavanja 6 sat i 40 minuta samostalnog rada, uključujući konsultacije	Neophodne pripreme prije početka semestra (administracija, upis, ovjera): 2 x (10 sati 40 minuta) = <u>21 sati 20 minuta</u> Ukupno opterećenje za predmet: 8x30 = <u>240 sati</u> Dopunski rad: <u>48 sati</u> za pripremu ispita u popravnom ispitnom roku, uključujući i polaganje popravnog ispita (preostalo vrijeme od prve dvije stavke do ukupnog opterećenja za predmet 180 sati) Struktura opterećenja: 170 sati 40 minuta (Nastava)+21 sati 20 minuta (Priprema)+48 sata (Dopunski rad)				
Literatura:					
1. Bradley, D., Seward, D., Dawson, D., Burge, S., Mechatronics and the design of intelligent machines and systems, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis, 2017					
2. Indri, M., Oboe, R., Mechatronics and Robotics, CRC Press, 2020, ISBN 9780429347474					
3. Bishop, R.,(Ed.), Mechatronic Systems, Control, Logic and Data Acquisition, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2008, ISBN 978-0-8493-9260-3					
4. Spong, M.W., Hutchinson, S, Vidyasagar, M., Robot Modeling and Control, John Wiley & Sons, Inc., 2020, ISBN 9781119523994					
4. Nastavni materijal pripremljen u okviru ERASMUS projekta IoT ECO.					
Oblici provjere znanja i ocjenjivanje: 2 domaća zadatka 2x5 = 10 poena 2 kolokvijuma 2x20 = 40 poena završni ispit 50 poena					
Prelazna ocjena se dobija ako se kumulativno sakupi namanje 50 poen					
Ocjena	A	B	C	D	E
Broj poena	90-100	80-89	70-79	60-69	50-59
Ime i prezime nastavnika koji je pripremio podatke: Prof.dr Janko Jovanović, Prof. dr Milanko Damjanović					
Napomena:					

UNIVERZITET CRNE GORE
MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA

Broj: 1-358/2

Podgorica, 04. 04. 2024.

**PREDMET: PREDLOG KOMISIJE O UVOĐENJU NOVOG IZBORNOG
PREDMETA NA DOKTORSKIM STUDIJAMA**

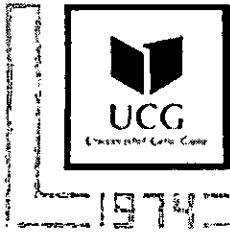
Komisija za doktorske studije na Mašinskom fakultetu je razmatrala dopis o uvođenju novog izbornog predmeta na doktorskim studijama studijskog programa Mašinstvo. Predlog je dat o strane Prof. dr Janka Jovanovića, prof. dr Jelene Šaković Jovanović i prof. dr Aleksandra Vujovića a na osnovu rada i analiza na Erasmus+ projektu Internet of Things. Predloženi naziv predmeta je »Napredni mehatronički sistemi« a ECTS katalog je pripremio prof. dr Janko Jovanović. Kao jedan od predlagača prof. dr Aleksandar Vujović je detaljno obrazložio dati predlog i razjasnio sve razloge vezano za uvođenje novog izbornog predmeta.

Nakon iscrpne rasprave Komisija je zaključila da bi uvođenje novog izbornog predmeta pod navedenim nazivom obogatilo ponudu predmeta na doktorskim studijama i učinilo ih još atraktivnijim za svršene studente master studijskog programa Mehatronika. Komisija se složila da je potrebno dodatno unaprijediti predloženi ECTS katalog i zadužila je prodekana za nastavu prof. dr Aleksandra Vujovića da organizuje sastanak predlagača sa šefom studijskog programa Mehatronika prof. dr Radoslavom Tomovićem i nastavnikom na predmetu Mehatronički sistemi prof. dr Milankom Damjanovićem kako bi zajedno došli do ECTS kataloga koji bi najviše odgovarao potrebama studenata doktorskih studija.

Predlog Komisije: Predlažemo Vijeću Mašinskog fakulteta da usvoji dodavanje predloženog predmeta na listu izbornih predmeta na doktorskim studijama studijskog programa Mašinstvo i pošalje materijal Centru za studije i kontrolu kvaliteta na dalje postupanje.

ZA KOMISIJU ZA DOKTORSKE STUDIJE

Prof. dr Uroš Karadžić, predsjednik



UNIVERZITET CRNE GORE MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA



81000 Podgorica, Džordža Vašingtona bb, Žiro račun broj: 510-154-63, tel: +382 20 245 003,

Web : www.ucg.ac.me/inf, Mail: mf@ucg.ac.me

Broj: 1-358/1

Podgorica, 20. 03. '24

VIJEĆE MAŠINSKOG FAKULTETA
n/r Prof. dr Radoje Vujadinović, dekan

Poštovani Dekane,

Obraćamo Vam se sa inicijativom za izmjenu Nastavnog plana i programa na doktorskim studijama (u prilogu) u dijelu ponudjenih izbornih mjesta sa liste IP2/IP3 .

Ovaj predlog je iniciran na osnovu analiza i rada na Erasmus + projektu Internet of Things, a realizovao bi se uvođenjem novog predmeta pod nazivom Napredni mehatronički sistemi. Ova procedura se pokreće i nakon konsultacija sa nadležnima iz Centra za studije i kontrolu kvaliteta i njihove potvrde da za ovaj postupak nije potrebna akreditacija uz naglasak da se mijenja, odnosno proširuje samo lista izbornih predmeta i time obogaćuje ponuda, a suštinski to ne utiče na strukturu programa. Ovaj predmet je ima moderan sadržaj i svakako će pozitivno uticati na kvalitet doktorskih studija, i ukupne ishode učenja. Dodatno, ovim predmetom se obogaćuje i ponuda predmeta iz oblasti Mehatronike, i time stvaraju još bolji preduslovi za potencijalne kandidate sa master studija Mehatronike.

Napominjemo, da ovaj predmet prate i odlični literaturni izvori, sa naglaskom na četvrti literaturni izvor iz ECTS kataloga, koji je gotovo spreman da bude objavljen kao udžbenik na našem jeziku. U prilogu šaljemo i ECTS kataloge na našem i engleskom jeziku.

Nakon, nadamo se pozitivne odluke Vijeća fakulteta, materijal treba uputiti Centru za studije i kontrolu kvaliteta na dalje postupanje.

Uz srdačne pozdrave,

Prof. dr Janko Jovanović

Prof. dr Jelena Šaković Jovanović

Prof. dr Aleksandar Vujović

NAPREDNI MEHATRONIČKI SISTEMI				
Šifra predmeta	Status predmeta	Semestar	Broj ECTS kredita	Fond časova
	Izborni	II	8	4P+0L

Studijski programi za koje se organizuje: Akademske doktorske studije MAŠINSTVA (studije traju 6 semestara, 180 ECTS kredita).	
Uslovljenost drugim predmetima: Nema uslova za prijavljivanje i slušanje predmeta.	
Ciljevi predmeta: Ovaj predmet ima za cilj da pruži detaljan uvid u analizu i modeliranje različitih aspekata jednog mehatroničkog sistema na primjeru manipulacionih robota. Fokus predmeta je na razvijanju vještina studenata u sistemskom razmišljanju i analizi integracije i interakcije sistema za postizanje određenih performansi sistema, u proračunu kinematike i dinamike sistema, u modeliranju aktuatora i pogonskih sistema za komponente mašina, u funkcionalnoj analizi senzora i njihovoj integraciji sa upravljanjem u mehatroničkom sistemu.	
Ishodi predmeta: Nakon položenog ispita iz ovog predmeta studenti će biti sposobni da: 1. Riješe direktni i inverzni kinematski problem 2. Planiraju kretanje manipulacionog robota 3. Modeliraju i analiziraju dinamičko ponašanje manipulacionog robota 4. Vršu izbor i integraciju adekvatnog pogonskog i senzorskog sistema 5. Modeliraju upravljački sistem 6. Objasne IoRT i njegovu ulogu u Industriji 5.0.	
Ime i prezime nastavnika i saradnika: Prof.dr Janko Jovanović	
Metod nastave i savladanja gradiva: Predavanja, domaći zadaci, kolokvijumi.	
PLAN RADA:	
Pripremna nedjelja	Priprema i upis semestra
I-nedjelja	Hronologija razvoja mehatroničkih sistema. Primjena mehatroničkih sistema u svakodnevnom životu. Uvod u napredne mehatroničke sisteme na primjeru manipulacionih robota: osnovni pojmovi, koordinatni sistemi, radni parametri, konfiguracije manipulacionih robota. Primjeri.
II-nedjelja	Direktna kinematika-Homogene koordinate: uvod, koordinatni sistemi i njihove transformacije, elementarne rotacije, slaganje rotacija, rotacija oko proizvoljne ose, Ojlerovi uglovi, rotacija definisana uglovima skretanja, valjanja i propinjanja, određivanje ose i ugla rotacije za poznatu matricu rotacije, homogene transformacije. Primjeri.
III-nedjelja	Direktna kinematika-DH notacija i kinematika: Denavit-Hartenbergova notacija, direktni kinematski problem. Primjeri.
IV-nedjelja	Inverzna kinematika. Primjeri.
V-nedjelja	Diferencijalna kinematika-Jakobijan: uvod, analitičko određivanje Jakobijana, numeričko određivanje Jakobijana. Primjeri.
VI-nedjelja	Planiranje kretanja: definisanje problema planiranja kretanja, planiranje PTP kretanja, linearna interpolacija, trapezni profil brzine, interpolacija polinomom trećeg i petog stepena, primjena normalizovanih interpolacionih polinoma, nadovezivanje trajektorije. Primjeri.
VII-nedjelja	I kolokvijum
VIII-nedjelja	Dinamika mehaničkih sistema: sila i prenos obrtnog momenta pomoću mehanizama, Njutn-Ojlerove i Lagranžove metode u modeliranju dinamičkog ponašanja krutih složenih sistema sa pokretnim masama. Primjeri.
IX-nedjelja	Pogonski sistemi: uvod, pneumatski pogoni, hidraulični pogoni (linearni cilindri, obrtni motori, razvodnici, servo ventili, servoregulisani hidraulični ventili), električni pogoni (DC motori, AC motori, koračni motori), harmonični motori. Primjeri.
X-nedjelja	Analiza elektromehaničkog sistema: modeliranje električnih aktuatora; diferencijalne jednačine dinamičkog ponašanja; modeliranje DC motora, modeliranje ruke manipulatora na DC pogon, uvođenje blok dijagrama za opisivanje dinamičkog ponašanja.
XI-nedjelja	Senzorski sistemi: uvod, podjela senzora, senzori unutrašnjeg stanja, senzori položaja (inkrementalni enkoder, apsolutni enkoder, rezolver, induktosin, potencijometar, linearni diferencijalni transformator), senzori brzine (tahogenerator, digitalni tahometar), senzori otklona (SI senzori, pjezoelektrični senzor), Inercijalni navigacioni sistem (mehanički žiroskop, geomagnetični senzor), senzori spoljašnjeg stanja (taktilni senzor, klizni senzor, senzori bazirani na promjeni otpora, elektromagnetni induktivni senzori, kapacitivni taktilni senzori). Primjeri.
XII-nedjelja	Senzorski sistemi: senzori sile i momenta (primjena mjernih traka u sensorima sile/momenta, šestokomponentni senzori sile šake, induktivni šestokomponentni senzor sile), senzori blizine (induktivni, kapacitivni, ultrazvučni i optički senzori blizine), senzori vizije (struktura senzora vizije, CCD poluprovodničke kamere, primjena senzora vizije u robotici, 3D senzori vizije). Primjeri.
XIII-nedjelja	Upravljački sistemi: otvorene i zatvorene upravljačke petlje, PID upravljanje (ON-OFF kontroler, P kontroler, PI kontroler, PID kontroler, podešavanje parametara PID kontrolera, Ziegler-Nichols metode),

	kaskadno upravljanje. Primjeri.				
XIV- nedjelja	Industrija 5.0. IoT - Internet of Robotic Things (komunikaciona arhitektura, decentralizovana i automatizovana infrastruktura, aplikacije), Robotika u oblaku (komponente, ograničenja i izazovi)				
XV- nedjelja	II kolokvijum				
XVI- nedjelja	Završni ispit				
XVII- nedjelja	Ovjera semestra i upis ocjena				
XVIII-XXI- nedjelja	Dopunska nastava i popravni ispitni rok				
Obaveze studenta u toku nastave: Studenti su obavezni da redovno pohađaju nastavu i vježbe, rade i predaju domaće zadatke, rade kolokvijume.					
Konsultacije: 2 puta nedjeljno					
Opterećenje studenta u časovima:					
<u>Nedjeljno</u>			<u>U toku semestra</u>		
8 kredita x 40/30 = <u>10 sati i 40 minuta</u>			Nastava i završni ispit: (10 sati 40 minuta) x 16 = <u>170 sati 40 minuta</u>		
Struktura: 4 sata predavanja 6 sat i 40 minuta samostalnog rada, uključujući konsultacije			Neophodne pripreme prije početka semestra (administracija, upis, ovjera): 2 x (10 sati 40 minuta) = <u>21 sati 20 minuta</u> Ukupno opterećenje za predmet: 8x30 = <u>240 sati</u> Dopunski rad: <u>48 sati</u> za pripremu ispita u popravnom ispitnom roku, uključujući i polaganje popravnog ispita (preostalo vrijeme od prve dvije stavke do ukupnog opterećenja za predmet 180 sati) Struktura opterećenja: 170 sati 40 minuta (Nastava)+21 sati 20 minuta (Priprema)+48 sata (Dopunski rad)		
Literatura:					
1. Indri, M., Oboe, R., Mechatronics and Robotics, CRC Press, 2020, ISBN 9780429347474					
2. Bishop, R.,(Ed.), Mechatronic Systems, Control, Logic and Data Acquisition, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2008, ISBN 978-0-8493-9260-3					
3. Spong, M.W., Hutchinson, S, Vidyasagar, M., Robot Modeling and Control, John Wiley & Sons, Inc., 2020, ISBN 9781119523994					
4. Nastavni materijal pripremljen u okviru ERASMUS projekta IoT ECO.					
Oblici provjere znanja i ocjenjivanje: 2 domaća zadatka 2x5 = 10 poena 2 kolokvijuma 2x20 = 40 poena završni ispit 50 poena					
Prelazna ocjena se dobija ako se kumulativno sakupi namanje 50 poen					
Ocjena	A	B	C	D	E
Broj poena	90-100	80-89	70-79	60-69	50-59
Ime i prezime nastavnika koji je pripremio podatke: Prof.dr Janko Jovanović					
Napomena:					

	Course Title:	ADVANCED MECHATRONIC SYSTEMS		
Course Code	Course Status	Semester	ECTS Credits	Course Load
	Elective	II	8	4P+0L

Study Programme: Academic doctoral studies of Mechanical Engineering, 3 years (6 semesters), 180 ECTS credits	
Admission Requirement: No prerequisites for course enrolment and attending	
Course Goals: This course aims to provide a detailed insight into the analysis and modeling of different aspects of a mechatronic system on the example of manipulators. The focus of the course is on developing students' skills in system thinking and analysis of system integration and interaction to achieve certain system performance, in calculating kinematics and system dynamics, in modeling actuators and drive systems for machine components, in functional sensor analysis and their integration with controllers of mechatronic system.	
Learning Outcomes: Upon successful completion of this subject the student will be able to: <ol style="list-style-type: none"> 1. Solve forward and inverse kinematics problem 2. Plan motion for manipulators 3. Model and analyze dynamic behaviour of manipulators 4. Select and integrate proper actuator and sensors 5. Model control systems 6. Explain IoRT and its role in Industry 5.0. 	
Teacher and Assistant: Prof.dr Janko Jovanović	
Teaching Methods: Lectures, exercises, homework, tests, consultations.	
COURSE CONTENT:	
Preparatory week	Preparation and semester enrolment
I week	Chronology of development of mechatronic systems. Application of mechatronic systems in everyday life. Introduction in advanced mechatronic systems in the example of manipulators: basic terms, coordinate systems, working parameters, configuration of manipulators. Examples.
II week	Forward kinematics – Homogenous coordinates: introduction, coordinate systems and transformations, basic rotations, complex rotations, rotation around arbitrary axis, Euler angles, rotations defined by roll, pitch and yaw angles, determination of axis and angle of rotations for defined rotation matrix, homogenous transformations. Examples
III week	Forward kinematics – DH parameters and kinematics: Denavit-Hartenberg parameters, forward kinematics problem. Examples.
IV week	Inverse kinematics. Examples.
V week	Differential kinematics – Jacobian: introduction, analytical Jacobian determination, numerical Jacobian determination. Examples.
VI week	Motion planning: motion planning problem definition, PTP motion planning, linear interpolation, trapezoidal profile of velocity, third and fifth degree polynomial interpolation, application of normalized polynomial interpolation, connection of the trajectory. Examples.
VII week	1 st test
VIII week	Dynamics of mechanical systems: transmission of force and torque by means of mechanisms, Newton-Euler and Lagrangian methods for modelling of dynamic behaviour of complex rigid systems with mobile masses. Examples.
IX week	Actuators: introduction, pneumatic actuators, hydraulic actuators (linear cylinders, rotating actuators, servo valves, servo regulated hydraulic valves), electric actuators (DC motors, AC motors, stepper motors), harmonic drive. Examples.
X week	Analysis of electromechanical systems: modelling of electric actuator, differential equations of dynamic behaviour, modelling of DC motors, modelling of robotic arm with DC drive, block diagram for dynamic behaviour description.
XI week	Sensory systems: introduction, sensors of internal state, position sensors (incremental encoder, absolute encoder, resolver, inductosyn, potentiometer, linear variable differential transformer), sensors of speed (tachogenerator, digital tachometer), deflection sensors (SI sensor, piezoelectric sensor), inertial navigating system (mechanical gyroscope, geomagnetic sensor), sensors of external state (tactile sensor, sliding sensor, resistive sensor, electromagnetic inductive sensor, capacitive tactile sensor). Examples.
XII week	Sensory systems: force and torque sensors (application of strain gauge in force and torque sensors, six axis arm force and torque sensor, inductive six axis force sensor), proximity sensor (inductive, capacitive, ultrasound and optical proximity sensors), vision sensor (structure of vision sensor, CCD semiconductor cameras, application of vision sensors in robotics, 3D vision sensors). Examples.
XIII week	Control systems: open and closed loop control, PID control (ON-OFF controller, P controller, PI controller, PID controller, PID tuning, Ziegler-Nichols methods), cascade control. Examples.
XIV week	Industry 5.0. IoRT - Internet of Robotic Things (communication architecture, decentralized and autonomous infrastructure, applications). Cloud robotics (components, limitations and challenges)

XV week	2 nd test				
XVI week	Final exam.				
XVII week	Semester verification and administrative procedures.				
XVIII-XXI week	Make-up exam.				
Student' obligations: Students are obliged to attend lectures, submit homework assignments and take tests and final exam.					
Consultations: 2 times per week					
Students' workload per subject:					
<u>Peer week</u>	<u>Per semester</u>				
8 credits x 40/30 = <u>10 hours and 40 minutes</u> Structure: 4 hours of lectures 6 hours and 40 minutes individual work including consultations	Classes and final exam: (10 hours and 40 minutes) x 16 weeks = <u>170 hours and 40 minutes</u> Necessary preparations before the semester start (administration, enrolment, verification): (10 hours and 40 minutes) x 2 weeks = <u>21 hours and 20 minutes</u> Total load for the subject: 8 x 30 = <u>240 hours</u> Remedial classes for the corrective term, including the corrective exam: 240 hours – (170 hours and 40 minutes) + (21 hours and 20 minutes) = <u>48 hours</u> Load structure: 170 hours and 40 minutes (Classes) + 21 hours and 20 minutes (Preparation) + 48 hours (Remedial classes)				
Literature: 1. Indri, M., Oboe, R., Mechatronics and Robotics, CRC Press, 2020, ISBN 9780429347474 2. Bishop, R.,(Ed.), Mechatronic Systems, Control, Logic and Data Acquisition, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2008, ISBN 978-0-8493-9260-3 3. Spong, M.W., Hutchinson, S, Vidyasagar, M., Robot Modeling and Control, John Wiley & Sons, Inc., 2020, ISBN 9781119523994 4. Teaching materials prepared in frame of ERASMUS+ project IoT ECO.					
Methods of knowledge assessment and marking: 2 homeworks 2x5 = 10 points 2 compulsory tests 2x20 = 40 points Final exam 50 points Passing mark is awarded if the student collects more than 50 points					
Grade	A	B	C	D	E
Points	90-100	80-89	70-79	60-69	50-59
Prepared by: Prof.dr Janko Jovanović					
Note:					

Fakultet	<i>Mašinski fakultet</i>
Studijski program	<i>Mašinstvo</i>
Nivo studija	<i>Doktorske studije</i>
Godina studija	

Semest ar	Redni broj	Predmet (puni naziv)	Fond časova			Broj ECTS kredita	Obavezan Izborni (O/I)	Nastavnik (zvanje, ime i prezime)	Saradnik
			Predavanja	Vježbe	Laboratorija				
I Semestar	1	OSNOVE CVFEM NUMERIČKE METODE ZA FLUIDE I ČVRSTA TIJELA	4	0	0	8	OB ¹		
	2	METODE NAUČNO-ISTRAŽIVAČKOG RADA	4	0	0	6	SIP ²		
	3	PREDMET SA LISTE Izborni predmet 1 (IP1)	4	0	0	8	IP1 ³		
	4	PREDMET SA LISTE Izborni predmet 2 (IP2) + Izborni predmet 3 (IP3)	4	0	0	8	IP2 ⁴		
	5								
	6								
UKUPNO						30,00			
II Semestar	7	PREDMET SA LISTE Izborni predmet 2 (IP2) + Izborni predmet 3 (IP3)	4	0	0	8	IP3 ⁵		
	8	POLAZNA ISTRAŽIVANJA	4	0	0	22,00	OB		
	9								
UKUPNO						30			

¹ Obavezni predmet;

² Slobodni izborni predmet;

³ Izborni predmet 1 (U dogovoru sa potencijalnim mentorom, izborni predmet student može da bira sa lista koje nude drugi fakulteti Univerziteta Crne Gore

⁴ Izborni predmet 2

⁵ Izborni predmet 3

Izborni predmet 1 (IP1)

R.br	Predmet (puni naziv)	Fond časova			ECTS	Obavezan Izborni (O/I)	Nastavnik	Saradnik
		P	V	L				
1.	AKVIZICIJA I OBRADA EKSPERIMENTALNIH PODATAKA	4	0	0	8	IP1		
2.	VIŠA DINAMIKA	4	0	0	8	IP1		

Izborni predmet 2 (IP2)+Izborni predmet 3 (IP3)

R.br	Predmet (puni naziv)	Fond časova			ECTS	Obavezan Izborni (O/I)	Nastavnik	Saradnik
		P	V	L				
1.	MODELIRANJE I SIMULACIJA PROIZVODNIH PROCESA	4	0	0	8	IP2		
2.	EKONOMIKA INVESTICIJA	4	0	0	8	IP2		
3.	PONAŠANJE I POUZDANOST MATERIJALA U EKSPLOATACIJI	4	0	0	8	IP2		
4.	ODABRANA POGLAVLJA IZ MAŠINSKIH ELEMENTA	4	0	0	8	IP2		
5.	ODABRANA POGLAVLJA IZ KONSTRUKCIJA OD AL LEGURA	4	0	0	8	IP2		
6.	AUTONOMNI UREĐAJI, MAŠINE I PROCESI	4	0	0	8	IP2		
7.	DVOFAZNI TOK	4	0	0	8	IP2		
8.	KONSTRUISANJE MAŠINA I MEHANIZAMA	4	0	0	8	IP2		
9.	ENERGETSKA I EKSERGETSKA ANALIZA	4	0	0	8	IP2		
10.	TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA	4	0	0	8	IP3		
11.	ODABRANA POGLAVLJA IZ LOGISTIKE	4	0	0	8	IP3		
12.	CAD/CAM SISTEMI I INTEGRACIJA PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOGIJA	4	0	0	8	IP3		
13.	ANALIZA I PROJEKTOVANJE ROTACIONIH MAŠINA	4	0	0	8	IP3		
14.	VREDNOVANJE PERFORMANSI PROCESA	4	0	0	8	IP3		
15.	POSLOVNA IZVRSNOST	4	0	0	8	IP3		
16.	TOTALNI MENADŽMENT KVALITETOM-TQM	4	0	0	8	IP3		
17.	MODELIRANJE I OPTIMIZACIJA TEHNOLOŠKIH PROCESA	4	0	0	8	IP3		
18.	ODABRANA POGLAVLJA IZ TURBINA	4	0	0	8	IP3		
19.	ODABRANA POGLAVLJA IZ HIDRODINAMIKE	4	0	0	8	IP3		
20.	ODABRANA POGLAVLJA IZ KLIMATIZACIJE	4	0	0	8	IP3		