

KONSTRUIRANJE NAPREDNIH SISTEMOV

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Konstruiranje naprednih sistemov
Course title:	DESIGN OF ADVANCED SYSTEMS
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski (od študijskega leta 2024/2025 dalje)	Konstruiranje (smer)	1. letnik	1. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0566873
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	6026-M

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			65	5

Nosilec predmeta/Lecturer:	Jernej Klemenc, Marko Nagode
-----------------------------------	------------------------------

Izvajalci predavanj:	
Izvajalci seminarjev:	
Izvajalci vaj:	
Izvajalci kliničnih vaj:	
Izvajalci drugih oblik:	
Izvajalci praktičnega usposabljanja:	

Vrsta predmeta/Course type:

Obvezni strokovni predmet na smeri Konstruiranje, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Design Engineering, which is an elective specialised course in other fields of study.

Jeziki/Languages:

Predavanja/Lectures:

Slovenščina

Vaje/Tutorial:

Slovenščina

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

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Magistrski študijski program II. stopnje Strojništvo - Razvojno raziskovalni program.

Meeting the enrollment conditions for the Master's study programme of Mechanical Engineering - Research and Development program.

Vsebina:**Content (Syllabus outline):**

1. Predavanje: Izhodišča za konstruiranje naprednih sistemov:
 - Hierarhija izdelka in veriga vrednosti;
 - Učinkovitost kot presek izdelka, obratovalnih razmer in vplivov okolja;
 - Okvara kot naključni dogodek.
2. Predavanje: Učinkovitost in vrednost izdelka:
 - Zanesljivost, vzdrževalnost in logistična podpora kot osnova razpoložljivosti;
 - Vplivi na vrednost izdelka (učinkovitost, stroški, človeški viri, časovni okvir);
 - Atributi izdelka in strošek življenjskega cikla izdelka;
 - Razvojne informacije in vplivi na stroške;
 - RMS razvojni postopek kot nadgradnja konvencionalnega konstrukcijskega procesa.
3. Predavanje: Osnove statistične analize kompleksnih sistemov:
 - Porazdelitev verjetnosti časa do okvare;

1. Lecture: Prerequisites for design of complex systems:
 - Product hierarchy and value chain;
 - Effectiveness as a cross-section of product, operating conditions and environment;
 - Failure as a random event.
2. Lecture: Effectiveness and value of product:
 - Reliability, maintainability and supportability as basis for product availability;
 - Influential factors for the product's value (effectiveness, costs, human resources, time frame);
 - Product's attributes and life-cycle costs;
 - R&D informations and influence to costs;
 - RMS development process as an upgrade of the conventional R&D process.
3. Lecture: Statistical analysis of complex systems (basics):
 - Probability distribution of a time to failure;

<ul style="list-style-type: none"> - Intenzivnost okvar; - Osnove Weibullove analize. <p>4. Predavanje: Uspešnost zagotavljanja funkcije kompleksnega sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osnovne strukture izdelka za izračun verjetnosti delovanja; - Napredne strukture izdelka za izračun verjetnosti delovanja; - Kompleksni sistemi in funkcija strukture izdelka. <p>5. Predavanje: Vrste poškodb in poškodbeni modeli za kompleksne sisteme in njihove sestavne elemente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uni-modalni model poškodbe; - Več-modalni modeli poškodb (tekmovalni model poškodb, mešani model poškodb). <p>6. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> - V-model za projektiranje kompleksnih tehniških sistemov; - Definicija zahtev za tehniški sistem; - Dekompozicija zahtev na nižje hierarhične nivoje tehničnega sistema. <p>7. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Merjenje, napovedovanje in analiza obremenitvenih stanj v eksploataciji (stacionarne in nestacionarne obremenitve, periodične in neperiodične obremenitve, Gumbelova teorija); - Prenos obremenitev med sestavnimi deli kompleksnih sistemov; <p>8. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modularnost tehniških sistemov (nivoji modularnosti za različne nivoje vzdrževanja); - Redundanca kot cenovno neugodna možnost zagotavljanja funkcije kompleksnega izdelka. <p>9. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Odločitev za lastni razvoj in proizvodnjo sestavnih delov (kovariantni, statični in dinamični modeli ocenjevanja okvarljivosti); - Odločitev za nakup sestavnih delov in delegiranje razvoja zunanjim izvajalcem. <p>10. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hazard rate; - Basics of the Weibull's analysis. <p>4. Lecture: Assuring the functional performance of a complex system:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Basic product structures and their influence to probability of service; - Advanced product structures and their influence to probability of service; - Complex systems and a function of the product's structure. <p>5. Lecture: Failure modes and failure models for complex systems and their components:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Single-mode failure model; - Multi-mode failure models (competing-failures model, mixed-failures model). <p>6. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - V-model for design of the complex-product; - Definition of requirements for a technical system; - Allocation of requirements to the lower hierarchical level of the product. <p>7. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Measurement, prediction and analysis of load states in exploitation (stationary and non-stationary loads, periodic and non-periodic loads, Gumbel's theory); - Load distribution among the building blocks of the complex system; <p>8. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modularity of technical systems (modularity levels for different maintenance levels); - Redundancy as a cost in-effective approach for assuring the functional performance of the complex system. <p>9. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Decision for in-house development and manufacturing of components (co-variate, static and dynamic models for estimating the failures); - Decision for procurement of components and their outsourcing. <p>10. Lecture: Design of advanced and</p>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> - Integracija osnovnih elementov v komponente in le-ta v sestavi; - Povezava med fazami dekompozicije in integracije tehniškega sistema; - Validacija parcialnih tehniških rešitev; - FMEA analiza. <p>11. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Validacija celotnega izdelka; - FTA analiza; - Digitalni dvojček kot orodje za analizo interakcij med sestavi kompleksnega sistema. <p>12. Predavanje: Vzdrževanje izdelkov kot potreben pogoj za njihovo razpoložljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vrste vzdrževanja in časovna struktura vzdrževalnega posega; - Vpliv preventivnega vzdrževanja na okvarljivost tehniških sistemov; - Remont kot vzdrževanje na novo. <p>13. Predavanje: Vzdrževanje izdelkov kot potreben pogoj za njihovo razpoložljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planiranje intenzivnosti vzdrževanja kot funkcija pričakovane okvarljivosti sestavnih delov izdelka; - Proaktivno preventivno vzdrževanje; - Kurativno vzdrževanje; - Planiranje preskrbe z rezervnimi deli - logistična podpora vzdrževanja. <p>14. Predavanje: Primer razvojnega postopka za kompleksni veliko-serijski izdelek – izbrane tematike iz razvojnega postopka osebnega vozila:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Razvoj koncepta vozila, definicija zahtev glede na pričakovane obremenitvene primere in alokacija zahtev do nivoja dobaviteljev prvega razreda; - Odločitev za lasten razvoj in proizvodnjo glede na kompetence podjetja; - Definicija podrobnih zahtev in postopkov za validacijo sestavnih delov, ki jih prispevajo dobavitelji; - Definicija zahtev za izdelavo digitalnih dvojčkov vozila za različne namene: validacija interakcij med sestavi, simulacije obratovalnih razmer, 	<p>complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integration of basic elements into the components and sub-systems; - Linkage between the product decomposition and integration phases; - Validation of partial technical solutions; - FMEA analysis. <p>11. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Validation of the complex product; - FTA analysis; - Digital twin as a tool for analysis of interactions between the system's building blocks. <p>12. Lecture: Product maintainability as a prerequisite for its availability:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maintenance types and a time structure of a maintenance intervention; - Influence of preventive maintenance to failure distribution of technical systems; - Remont kot vzdrževanje na novo. <p>13. Lecture: Product maintainability as a prerequisite for its availability:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planning of maintenance intensity as a function of an expected hazard rate of the product's components; - Proactive preventive maintenance; - Reactive maintenance; - Spare-parts supply and logistic support. <p>14. Lecture: Case study of a R&D process for a complex high-series product – selected topics from a passenger-car development process:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conceptual vehicle design, definition of requirements according to the expected loads, allocation of requirements to a tier-1 supply level; - Decision between the own development and manufacturing or outsourcing; - Definition of detailed requirements for validation of supplied elements and components; - Definition of requirements for vehicle digital twins for different purposes: interaction validations, simulations of the vehicle's operation, production planning etc.;
--	--

<p>planiranje proizvodnje itn.;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komunikacija med dobaviteljem in kupcem; - Integracija parcialnih rešitev v digitalni dvojček kompleksnega sistema za namen numeričnih analiz. <p>15. Predavanje: Primer razvojnega postopka za kompleksen malo-serijski izdelek - razvoj naprednega orodja za tlačno litje kovin ali brizganja plastike:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sestav orodja kot integracija različnih podsistemov; - Kinematične povezave pogonov; - Napovedovanje termomehanskih obremenitvenih stanj v sestavu orodja; - Zagotavljanje učinkovitosti delovanja z ustreznimi konstrukcijskimi rešitvami; - Napovedovanje preventivnih vzdrževanj glede na predvidene obratovalne pogoje orodja. 	<ul style="list-style-type: none"> - Communication between a customer and supplier in an inter-industrial market; - Integration of partial solutions into the digital twin of the complex product for the purpose of numerical simulations. <p>15. Lecture: Case study of a R&D process for a complex low-series product</p> <ul style="list-style-type: none"> - selected topics from a development of an injection-molding tool: - Injection-molding tool as an integration of various sub-systems; - Kinematic links of driving units; - Prediction of thermomechanical loads in the tool assembly; - Assuring effectiveness of operations by applying appropriate design solutions; - Prediction of preventive maintenance according to the planned operating conditions.
---	---

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Snovanje izdelkov z vidika zanesljivosti - Nagode, Marko ; Oman, Simon, 1979- ; Šeruga, Domen [COBISS.SI-ID [104685315](#)]
2. An introduction to reliability and maintainability engineering - Ebeling, Charles E. [COBISS.SI-ID [11713819](#)]
3. Reliability and risk assessment - Andrews, J. D. ; Moss, T. R. [COBISS.SI-ID [858139](#)]

Cilji in kompetence:

Objectives and competences:

<p>Cilji:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pridobiti celovit pregled naprednih metod konstruiranja, ki omogočajo ponovljivost procesov razvoja kompleksnih izdelkov. 2. Spoznati poglobljene teoretične osnove za izbrane statistične metode konstruiranja izdelkov. 3. Spoznati pristope reševanja konstrukcijskih problemov v primeru naključnih obratovalnih razmer ali vplivov okolja. 4. Pridobiti sposobnost iskanja dodatnih informacij na področju 	<p>Objectives:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. To acquire a thorough insight in advanced design methods that enable consequent R&D processes of complex products. 2. To learn a thorough theoretical basics of selected statistical methods for product design. 3. To train approaches for solving design challenges in the case of random operating and environmental conditions. 4. To acquire skills of searching for additional design informations in
---	--

<p>konstruiranja v primeru pomanjkljivih vhodnih podatkov in/ali informacij.</p> <p>5. Pridobiti izkušnjo timskega dela.</p> <p>Kompetence:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S1-MAG: Sposobnost za opredelitev, razumevanje temeljnih znanstvenih problemov in ustvarjalno reševanje strokovnih izzivov na področju naprednega konstruiranja izdelkov. 2. S3-MAG: Sposobnost prevzeti odgovornost za lasten poklicni razvoj in učenje z evalvacijo in refleksijo lastnega dela. 3. S6-MAG: Sposobnost uporabe informacijsko-komunikacijske tehnologije za iskanje in obdelavo informacij. 4. P2-MAG: Obvladovanje temeljnih teoretičnih kakor tudi aplikativnih znanj, ki so bistvena za obvladovanje metod konstruiranja, ki temeljijo na statističnih principih. 5. P5-MAG: Sposobnost samostojnega pridobivanja novih znanj in veščin. 	<p>the case of limited input data and/or informations.</p> <p>5. To acquire team-work skills.</p> <p>Competences:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S1-MAG: The ability to define and understand fundamental scientific problems and to creatively deal with professional challenges in the field of advanced product-design methods. 2. S3-MAG: The ability to assume responsibility for one's own professional development and learning by evaluation and reflection on one's own work. 3. S6-MAG: The ability to use information and communications technology for information search and data processing. 4. P2-MAG: Using the fundamental theoretical and applied knowledge that are crucial for mastering the statistical-based product-design methods. 5. P5-MAG: The ability to autonomously acquire new knowledge and skills.
---	---

Predvideni študijski rezultati:

Intended learning outcomes:

<p>Znanja:</p> <p>Z2: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje z elementi raziskovanja, ki je osnova za zelo zahtevno strokovno delo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Razumevanje zveze med obratovanimi razmerami, vplivi okolja in funkcijo kompleksnega izdelka. • Razumevanje naključne narave učinkovitosti in vrednosti izdelka. • Razumevanje teoretičnih osnov metod konstruiranja za kompleksne izdelke, ki temeljijo na statističnem pristopu. <p>Spretnosti:</p> <p>S2.1 Obvladovanje zelo zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov in</p>	<p>Knowledge:</p> <p>Z2: Thorough theoretical, methodological and analytical knowledge with elements of a research work that form a basis for very demanding professional work:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Understanding a relationship between the operating conditions, environment and function of the complex product. • Understanding a random nature of the product's effectiveness and value. • Understanding a theoretical background of the design methods for complex products that are based on a statistical approach. <p>Skills:</p>
---	--

<p>metodoloških orodij na specializiranih področjih:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sposobnost analitičnega in numeričnega napovedovanja obnašanja izdelkov v nepredvidljivih obratovalnih razmerah. <p>S2.3 Sposobnost izvirnih dognanj/stvaritev in kritične refleksije:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sposobnost izvajanja raziskav na področju učinkovitosti kompleksnih izdelkov. 	<p>S2.1 Mastering very demanding and complex work processes and methodological tools in specialised professional fields:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ability of analytical and numerical prediction of the product's operation in an unpredictable operating conditions. <p>S2.3 Ability of unique innovations and critical reflections:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ability of research in the field of the complex-product effectiveness.
---	---

Metode poučevanja in učenja:

Learning and teaching methods:

<ol style="list-style-type: none"> P1: Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov. P3: Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri. P7: Študij literature in razprava. P8: Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog. P15: Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje. 	<ol style="list-style-type: none"> P1: Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases. P3: Auditorial exercises, in which theoretical content from the lectures is supplemented with practical examples. P7: Literature study and discussion. P8: Making and presenting applied seminar exercises. P15: Application of videos for preparations to the lectures and exercises.
--	--

Načini ocenjevanja:

Delež/ Weight

Assessment:

Teoretična znanja (pisni kolokviji in izpit z opcijskim ustnim zagovorom).	50,00 %	Theoretical knowledge (written colloquia and exam with an optional oral examination).
Praktična znanja (pisni kolokviji in izpit z opcijskim ustnim zagovorom).	50,00 %	Practical knowledge (written colloquia and exam with an optional oral examination).

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:

Marko Nagode:

1. KOCJAN, Tadej, **NAGODE, Marko**, KLEMENC, Jernej, OMAN, Simon. On fatigue crack growth testing and analysis of non-crystallising rubber using planar tension specimen. Polymer testing. [Print ed.]. Jan. 2023, vol. 117, str. 1-10, ilustr. ISSN 0142-9418.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941822003403>,
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=142405>, DOI:
10.1016/j.polymertesting.2022.107819. [COBISS.SI-ID [128185859](#)]
2. ŠERUGA, Domen, KAVČIČ, Matija, KLEMENC, Jernej, **NAGODE, Marko**. Heat treatment consideration in structural simulations of machine elements : analysis of a starter clutch barrel. Technologies. 2021, vol. 9, iss. 4, str. 1-10, ilustr. ISSN 2227-7080. <https://www.mdpi.com/2227-7080/9/4/73>,
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=132124>, DOI:
10.3390/technologies9040073. [COBISS.SI-ID [80331779](#)]
3. ŠOLINC, Urša, KLEMENC, Jernej, **NAGODE, Marko**, ŠERUGA, Domen. A fast and increment independent technique for continuous calculation of the strain energy dissipated during cyclic loading applied to magnesium alloy AZ31. International journal of fatigue. Oct. 2020, vol. 139, str. 1-11, ilustr. ISSN 0142-112
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142112320303108?via%3Dihub>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=117497>, DOI:
10.1016/j.ijfatigue.2020.105779. [COBISS.SI-ID [22466563](#)]
4. ŠERUGA, Domen, **NAGODE, Marko**. Comparative analysis of optimisation methods for linking material parameters of exponential and power models : an application to cyclic stress-strain curves of ferritic stainless steel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part L, Journal of materials - design and applications. [Print ed.]. 2019, vol. 233, iss. 9, str. 1802-1813, ilustr. ISSN 1464-4207.
<http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1464420718790829>,
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=105280>, DOI:
10.1177/1464420718790829. [COBISS.SI-ID [16189723](#)]
5. OMAN, Simon, GOSAR, Aleš, **NAGODE, Marko**. Research of hydrostatically pre-loaded granular elastomer elements for vibration and shock absorbers. Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering, 2022. [31] f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [107260675](#)]

Jernej Klemenc:

1. NAGODE, Marko, OMAN, Simon, **KLEMENC, Jernej**, PANIČ, Branislav. Gumbel mixture modelling for multiple failure data. Reliability engineering & systems safety. [Print ed.]. Feb. 2023, vol. 230, str. 1-12, ilustr. ISSN 0951-8320. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832022005610>,
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=142649>, DOI:
10.1016/j.ress.2022.108946. [COBISS.SI-ID [129890307](#)].
2. NAGODE, Marko, **KLEMENC, Jernej**, OMAN, Simon, ŠERUGA, Domen. A closed-form solution for temperature-dependent elastoplastic problems using the Prandtl operator approach. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. Aug. 2021, vol. 99, str. 1-24, ilustr. ISSN 1007-5704.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007570421001519?via%3Dihub>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=126176>,
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=126176>, DOI:

- 10.1016/j.cnsns.2021.105839. [COBISS.SI-ID [59481091](#)].
3. OMAN, Simon, NAGODE, Marko, **KLEMENC, Jernej**. Rubber-fibre composite modelling and its influence on fatigue damage assessment. *Fatigue & fracture of engineering materials & structures*. Feb. 2021, vol. 44, iss. 2, str. 521-532, ilustr. ISSN 8756-758X. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ffe.13377>, DOI: 10.1111/ffe.13377. [COBISS.SI-ID [37853699](#)]
 4. **KLEMENC, Jernej**, ŠERUGA, Domen, NAGODE, Marko. Plastic and total energy as the basis of durability prediction for magnesium alloy AZ31. V: JARFORS, Anders E. W. (ur.). *Processing and fabrication of advanced materials-XXVII : proceedings of a conference, The 27th International Conference on Processing and Fabrication of Advanced Materials (PFAM-XXVII)*, 27-29 May 2019, Jönköping, Sweden. Jönköping: University. 2019, str. 109-117 [COBISS.SI-ID [16644635](#)].
 5. NAGODE, Marko, **KLEMENC, Jernej**. A review on the methods for modelling loading spectra and their scatter. V: DECKER, M. (ur.), HEIM, R. (ur.), SONSINO, C. M. (ur.). VAL4. DVM: Berlin, 2020. Str. 155-163, ilustr. ISBN 978-3-9820591-0-5. https://www.eventclass.org/contxt_val4/online-program/session?s=C#e22. [COBISS.SI-ID [21977347](#)]