

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

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

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri
Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski	Konstruiranje (smer)	1. letnik	1. semester

**Univerzitetna koda predmeta/University course code:** 0566873

**Koda učne enote na članici/UL Member course code:** 6026-M

Predavanja	Seminar	Vaje	Klinične vaje	Druge oblike študija	Samostojno delo	ECTS
30		30			65	5

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

**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):**

<p>1. Predavanja: Izhodišča za konstruiranje naprednih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hierarhija izdelka in veriga vrednosti;</li> <li>- Učinkovitost kot presek izdelka, obratovalnih razmer in vplivov okolja;</li> </ul>	<p>1. Lecture: Prerequisites for design of complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Product hierarchy and value chain;</li> <li>- Effectiveness as a cross-section of product, operating conditions and environment;</li> </ul>
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Okvara kot naključni dogodek.</li> </ul> <p>2. Predavanje: Učinkovitost in vrednost izdelka:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zanesljivost, vzdrževalnost in logistična podpora kot osnova razpoložljivosti;</li> <li>- Vplivi na vrednost izdelka (učinkovitost, stroški, človeški viri, časovni okvir);</li> <li>- Atributi izdelka in strošek življenjskega cikla izdelka;</li> <li>- Razvojne informacije in vplivi na stroške;</li> <li>- RMS razvojni postopek kot nadgradnja konvencionalnega konstrukcijskega procesa.</li> </ul> <p>3. Predavanje: Osnove statistične analize kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Porazdelitev verjetnosti časa do okvare;</li> <li>- Intenzivnost okvar;</li> <li>- Osnove Weibullove analize.</li> </ul> <p>4. Predavanje: Uspešnost zagotavljanja funkcije kompleksnega sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnovne strukture izdelka za izračun verjetnosti delovanja;</li> <li>- Napredne strukture izdelka za izračun verjetnosti delovanja;</li> <li>- Kompleksni sistemi in funkcija strukture izdelka.</li> </ul> <p>5. Predavanje: Vrste poškodb in poškodbeni modeli za kompleksne sisteme in njihove sestavne elemente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uni-modalni model poškodbe;</li> <li>- Več-modalni modeli poškodb (tekmovalni model poškodb, mešani model poškodb).</li> </ul> <p>6. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- V-model za projektiranje kompleksnih tehniških sistemov;</li> <li>- Definicija zahtev za tehniški sistem;</li> <li>- Dekompozicija zahtev na nižje hierarhične nivoje tehničnega sistema.</li> </ul> <p>7. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Merjenje, napovedovanje in analiza obremenitvenih stanj v eksploataciji (stacionarne in nestacionarne obremenitve, periodične in neperiodične obremenitve, Gumbelova teorija);</li> <li>- Prenos obremenitev med sestavnimi deli kompleksnih sistemov;</li> </ul> <p>8. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modularnost tehniških sistemov (nivoji modularnosti za različne nivoje vzdrževanja);</li> <li>- Redundanca kot cenovno neugodna možnost zagotavljanja funkcije kompleksnega izdelka.</li> </ul> <p>9. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Odločitev za lastni razvoj in proizvodnjo sestavnih delov (kovariantni, statični in dinamični modeli ocenjevanja okvarljivosti);</li> <li>- Odločitev za nakup sestavnih delov in delegiranje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Failure as a random event.</li> </ul> <p>2. Lecture: Effectiveness and value of product:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reliability, maintainability and supportability as basis for product availability;</li> <li>- Influential factors for the product's value (effectiveness, costs, human resources, time frame);</li> <li>- Product's attributes and life-cycle costs;</li> <li>- R&amp;D informations and influence to costs;</li> <li>- RMS development process as an upgrade of the conventional R&amp;D process.</li> </ul> <p>3. Lecture: Statistical analysis of complex systems (basics):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Probability distribution of a time to failure;</li> <li>- Hazard rate;</li> <li>- Basics of the Weibull's analysis.</li> </ul> <p>4. Lecture: Assuring the functional performance of a complex system:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic product structures and their influence to probability of service;</li> <li>- Advanced product structures and their influence to probability of service;</li> <li>- Complex systems and a function of the product's structure.</li> </ul> <p>5. Lecture: Failure modes and failure models for complex systems and their components:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Single-mode failure model;</li> <li>- Multi-mode failure models (competing-failures model, mixed-failures model).</li> </ul> <p>6. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- V-model for design of the complex-product;</li> <li>- Definition of requirements for a technical system;</li> <li>- Allocation of requirements to the lower hierarchical level of the product.</li> </ul> <p>7. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Measurement, prediction and analysis of load states in exploitation (stationary and non-stationary loads, periodic and non-periodic loads, Gumbel's theory);</li> <li>- Load distribution among the building blocks of the complex system;</li> </ul> <p>8. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modularity of technical systems (modularity levels for different maintenance levels);</li> <li>- Redundancy as a cost in-effective approach for assuring the functional performance of the complex system.</li> </ul> <p>9. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decision for in-house development and manufacturing of components (co-variate, static and dynamic models for estimating the failures);</li> <li>- Decision for procurement of components and their outsourcing.</li> </ul> <p>10. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Integration of basic elements into the components and sub-systems;</li> </ul>
--	---

<p>razvoja zunanjim izvajalcem.</p> <p>10. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Integracija osnovnih elementov v komponente in le-te v sestave;</li> <li>- Povezava med fazami dekompozicije in integracije tehniškega sistema;</li> <li>- Validacija parcialnih tehniških rešitev;</li> <li>- FMEA analiza.</li> </ul> <p>11. Predavanje: Konstruiranje naprednih in kompleksnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Validacija celotnega izdelka;</li> <li>- FTA analiza;</li> <li>- Digitalni dvojček kot orodje za analizo interakcij med sestavi kompleksnega sistema.</li> </ul> <p>12. Predavanje: Vzdrževanje izdelkov kot potrební pogoj za njihovo razpoložljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vrste vzdrževanj in časovna struktura vzdrževalnega posega;</li> <li>- Vpliv preventivnega vzdrževanja na okvarljivost tehniških sistemov;</li> <li>- Remont kot vzdrževanje na novo.</li> </ul> <p>13. Predavanje: Vzdrževanje izdelkov kot potrební pogoj za njihovo razpoložljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planiranje intenzivnosti vzdrževanja kot funkcija pričakovane okvarljivosti sestavnih delov izdelka;</li> <li>- Proaktivno preventivno vzdrževanje;</li> <li>- Kurativno vzdrževanje;</li> <li>- Planiranje preskrbe z rezervnimi deli – logistična podpora vzdrževanja.</li> </ul> <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"> <li>- Razvoj koncepta vozila, definicija zahtev glede na pričakovane obremenitvene primere in alokacija zahtev do nivoja dobaviteljev prvega razreda;</li> <li>- Odločitev za lasten razvoj in proizvodnjo glede na kompetence podjetja;</li> <li>- Definicija podrobnih zahtev in postopkov za validacijo sestavnih delov, ki njih prispevajo dobavitelji;</li> <li>- Definicija zahtev za izdelavo digitalnih dvojčkov vozila za različne namene: validacija interakcij med sestavi, simulacije obratovalnih razmer, planiranje proizvodnje itn.;</li> <li>- Komunikacija med dobaviteljem in kupcem;</li> <li>- Integracija parcialnih rešitev v digitalni dvojček kompleksnega sistema za namen numeričnih analiz.</li> </ul> <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"> <li>- Sestav orodja kot integracija različnih podsistemov;</li> <li>- Kinematične povezave pogonov;</li> <li>- Napovedovanje termomehanskih obremenitvenih stanj v sestavu orodja;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Linkage between the product decomposition and integration phases;</li> <li>- Validation of partial technical solutions;</li> <li>- FMEA analysis.</li> </ul> <p>11. Lecture: Design of advanced and complex systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Validation of the complex product;</li> <li>- FTA analysis;</li> <li>- Digital twin as a tool for analysis of interactions between the system's building blocks.</li> </ul> <p>12. Lecture: Product maintainability as a prerequisite for its availability:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenance types and a time structure of a maintenance intervention;</li> <li>- Influence of preventive maintenance to failure distribution of technical systems;</li> <li>- Remont kot vzdrževanje na novo.</li> </ul> <p>13. Lecture: Product maintainability as a prerequisite for its availability:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planning of maintenance intensity as a function of an expected hazard rate of the product's components;</li> <li>- Proactive preventive maintenance;</li> <li>- Reactive maintenance;</li> <li>- Spare-parts supply and logistic support.</li> </ul> <p>14. Lecture: Case study of a R&amp;D process for a complex high-series product – selected topics from a passenger-car development process:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conceptual vehicle design, definition of requirements according to the expected loads, allocation of requirements to a tier-1 supply level;</li> <li>- Decision between the own development and manufacturing or outsourcing;</li> <li>- Definition of detailed requirements for validation of supplied elements and components;</li> <li>- Definition of requirements for vehicle digital twins for different purposes: interaction validations, simulations of the vehicle's operation, production planning etc.;</li> <li>- Communication between a customer and supplier in an inter-industrial market;</li> <li>- Integration of partial solutions into the digital twin of the complex product for the purpose of numerical simulations.</li> </ul> <p>15. Lecture: Case study of a R&amp;D process for a complex low-series product – selected topics from a development of an injection-molding tool:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Injection-molding tool as an integration of various sub-systems;</li> <li>- Kinematic links of driving units;</li> <li>- Prediction of thermomechanical loads in the tool assembly;</li> <li>- Assuring effectiveness of operations by applying appropriate design solutions;</li> <li>- Prediction of preventive maintenance according to</li> </ul>
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zagotavljanje učinkovitosti delovanja z ustreznimi konstrukcijskimi rešitvami;</li> <li>- Napovedovanje preventivnih vzdrževanj glede na predvidene obratovalne pogoje orodja.</li> </ul>	the planned operating conditions.
--	-----------------------------------

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Ebeling C.E. An introduction to reliability and maintainability engineering – 2nd edition. Waveland press inc., 2010.
2. Andrews J.D., Moss T.R. Reliability and risk assessment – 2nd edition. John Wiley & Sons, 2002.
3. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.H. Engineering Design – A Systematic Approach. Springer Verlag, 2007
4. Part and Mold Design – A Design Guide. Bayer Corporation, 2000.

### Cilji in kompetence:

### Objectives and competences:

<p>Cilji:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pridobiti celovit pregled naprednih metod konstruiranja, ki omogočajo ponovljivost procesov razvoja kompleksnih izdelkov.</li> <li>2. Spoznati poglobljene teoretične osnove za izbrane statistične metode konstruiranja izdelkov.</li> <li>3. Spoznati pristope reševanja konstrukcijskih problemov v primeru naključnih obratovalnih razmer ali vplivov okolja.</li> <li>4. Pridobiti sposobnost iskanja dodatnih informacij na področju konstruiranja v primeru pomanjkljivih vhodnih podatkov in/ali informacij.</li> <li>5. Pridobiti izkušnjo timskega dela.</li> </ol> <p>Kompetence:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S1-MAG: Sposobnost za opredelitev, razumevanje temeljnih znanstvenih problemov in ustvarjalno reševanje strokovnih izzivov na področju naprednega konstruiranja izdelkov.</li> <li>2. S3-MAG: Sposobnost prevzeti odgovornost za lasten poklicni razvoj in učenje z evalvacijo in refleksijo lastnega dela.</li> <li>3. S6-MAG: Sposobnost uporabe informacijsko-komunikacijske tehnologije za iskanje in obdelavo informacij.</li> <li>4. P2-MAG: Obvladovanje temeljnih teoretičnih kakor tudi aplikativnih znanj, ki so bistvena za obvladovanje metod konstruiranja, ki temeljijo na statističnih principih.</li> <li>5. P5-MAG: Sposobnost samostojnega pridobivanja novih znanj in veščin.</li> </ol>	<p>Objectives:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. To acquire a thorough insight in advanced design methods that enable consequent R&amp;D processes of complex products.</li> <li>2. To learn a thorough theoretical basics of selected statistical methods for product design.</li> <li>3. To train approaches for solving design challenges in the case of random operating and environmental conditions.</li> <li>4. To acquire skills of searching for additional design informations in the case of limited input data and/or informations.</li> <li>5. To acquire team-work skills.</li> </ol> <p>Competences:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>3. S6-MAG: The ability to use information and communications technology for information search and data processing.</li> <li>4. P2-MAG: Using the fundamental theoretical and applied knowledge that are crucial for mastering the statistical-based product-design methods.</li> <li>5. P5-MAG: The ability to autonomously acquire new knowledge and skills.</li> </ol>
--	---

### Predvideni študijski rezultati:

### Intended learning outcomes:

<p><b>Znanja:</b></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"> <li>Razumevanje zveze med obratovanimi razmerami, vplivi okolja in funkcijo kompleksnega izdelka.</li> <li>Razumevanje naključne narave učinkovitosti in vrednosti izdelka.</li> <li>Razumevanje teoretičnih osnov metod konstruiranja za kompleksne izdelke, ki temeljijo na statističnem pristopu.</li> </ul> <p><b>Spretnosti:</b></p> <p>S2.1 Obvladovanje zelo zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov in metodoloških orodij na specializiranih področjih:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sposobnost analitičnega in numeričnega napovedovanja obnašanja izdelkov v nepredvidljivih obratovalnih razmerah.</li> </ul> <p>S2.3 Sposobnost izvirnih dognanj/stvaritev in kritične refleksije:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sposobnost izvajanja raziskav na področju učinkovitosti kompleksnih izdelkov.</li> </ul>	<p><b>Knowledge:</b></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"> <li>Understanding a relationship between the operating conditions, environment and function of the complex product.</li> <li>Understanding a random nature of the product's effectiveness and value.</li> <li>Understanding a theoretical background of the design methods for complex products that are based on a statistical approach.</li> </ul> <p><b>Skills:</b></p> <p>S2.1 Mastering very demanding and complex work processes and methodological tools in specialised professional fields:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ability of analytical and numerical prediction of the product's operation in an unpredictable operating conditions.</li> </ul> <p>S2.3 Ability of unique innovations and critical reflections:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ability of research in the field of the complex-product effectiveness.</li> </ul>
--	--

#### Metode poučevanja in učenja:

#### Learning and teaching methods:

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

#### Načini ocenjevanja:

#### Delež/Weight

#### Assessment:

Teoretična znanja (pisni kolokviji in izpit z opsijskim ustnim zagovorom).	50,00 %	Theoretical knowledge (written colloquia and exam with an optional oral examination).
Avditorne vaje (seminarska poročila s predstavitvami).	30,00 %	Auditorial exercises (seminar reports with presentations).
Pisni preskus praktičnega znanja, osvojenega na vajah.	20,00 %	Written examination of practical knowledge that was acquired in exercises.

## Reference nosilca/Lecturer's references:

### Marko Nagode:

1. YE, X. W., XI, P. S., NAGODE, Marko. Extension of REBMIX algorithm to von Mises parametric family for modeling joint distribution of wind speed and direction. Engineering structures, ISSN 0141-0296. [Print ed.], Mar. 2019, vol. 183, str. 1134-1145, ilustr.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029618303584?via%3Dihub#!>, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.08.035. [COBISS.SI-ID 16469019]
2. FRANKO, Mitja, SEDLAČEK, Marko, PODGORNIK, Bojan, NAGODE, Marko. Validation of linear damage rules using random loading. International journal of damage mechanics, ISSN 1056-7895, 2017, vol. 26, iss. 3, str. 463-479, ilustr. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1056789515605881>, doi: 10.
3. NAGODE, Marko. Finite mixture modeling via REBMIX. Journal of algorithms and optimization, ISSN 2312-7767. [Print ed.], Apr. 2015, vol. 3, no. 2, str. 14-28, ilustr., doi: 10.5963/JAO0302001. [COBISS.SI-ID 13980699]
4. FRANKO, Mitja, NAGODE, Marko. Probability density function of the equivalent stress amplitude using statistical transformation. Reliability engineering & systems safety, ISSN 0951-8320. [Print ed.], 2015, vol. 134, str. 118-125, ilustr., doi: 10.1016/j.res.2014.10.012. [COBISS.SI-ID 13747227]
5. NAGODE, Marko, FAJDIGA, Matija. The REBMIX algorithm and the univariate finite mixture estimation. Communications in statistics, theory and methods, ISSN 0361-0926, 2011, vol. 40, no. 5, str. 876-892, ilustr., doi: 10.1080/03610920903480890. [COBISS.SI-ID 11663643]

### Jernej Klemenc:

1. KLEMENC, Jernej. Influence of fatigue-life data modelling on the estimated reliability of a structure subjected to a constant-amplitude loading. Reliability engineering & systems safety, Oct. 2015, vol. 142, str. 238-247, doi: 10.1016/j.res.2015.05.026.
2. BIŽAL, Ana, KLEMENC, Jernej, FAJDIGA, Matija. Evaluating the statistical significance of a fatigue-life reduction due to macro-porosity. Strojniški vestnik, Jun. 2014, vol. 60, no. 6, str. 407-416, SI 79, doi: 10.5545/sv-jme.2013.1453.
3. KLEMENC, Jernej, FAJDIGA, Matija. Joint estimation of E-N curves and their scatter using evolutionary algorithms. International journal of fatigue, Nov. 2013, vol. 56, str. 42-53, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2013.08.005.
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. OKORN, Ivan, KLEMENC, Jernej. Analiza poškodb cilindra hidravlične stiskalnice Müller 500. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Katedra za strojne elemente in razvojna vrednotenja, 2018. 8 f., [COBISS.SI-ID 16408859]