

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

|                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| <b>Predmet:</b>                   | Konstruiranje v industriji    |
| <b>Course title:</b>              | SYSTEM DESIGN IN THE INDUSTRY |
| <b>Članica nosilka/UL Member:</b> | UL FS                         |

| Študijski programi in stopnja   | Študijska smer                              | Letnik    | Semestri    |
|---|---|-----------|-------------|
| Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni | Konstruiranje industrijskih sistemov (smer) | 2. letnik | 2. semester |

**Univerzitetna koda predmeta/University course code:** 0563466

**Koda učne enote na članici/UL Member course code:** 3051-V

| Predavanja | Seminar | Vaje | Klinične vaje | Druge oblike študija | Samostojno delo | ECTS |
|------------|---------|------|---------------|----------------------|-----------------|------|
| 30         |         | 30   |               |                      | 40              | 4    |

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

**Vrsta predmeta/Course type:** Izbirni strokovni predmet/Elective specialised course

**Jeziki/Languages:**

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Predavanja/Lectures: | Slovenščina |
| Vaje/Tutorial:       | Slovenščina |

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

**Prerequisites:**

Izpolnjevanje pogojev za vpis v Visokošolski strokovni študijski program I. stopnje Strojništvo - Projektno aplikativni program.

Meeting the enrollment conditions for the MECHANICAL ENGINEERING - Project Oriented Applied Programme.

**Vsebina:**

**Content (Syllabus outline):**

1. Predavanje: V-model za projektiranje tehniških sistemov:

- Dfinicija in dekompozicija sistema;
- Razvojni process;
- Integracija in rekompozicija sistema.

2. Predavanje: Dekompozicija tehniškega sistema po hierarhičnih nivojih:

- Izdelek, sestav, koomponenta, element;
- Več-modalnost in uni-modalnost okvar;
- Tehnična razmerja med dobavitelji in kupci v verigi vrednosti.

1. Lecture: V-model for development of technical system:

- Product definition and decomposition;
- R&D process;
- Product recomposition and integration.

2. Lecture: Decomposition of technical system to hierarchical levels:

- Product, assembly, component, element;
- Single- and multiple-mode failures;
- Technical relations between principals and suppliers in a value chain.

|  |   |
|--|---|
| <p>3. Predavanje: Povezava med konvencionalnimi in RMS metodami za razvoj izdelka.</p> <p>4. Predavanje: Osnove zanesljivosti tehniških sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Okvare kot temelj nezanesljivosti;</li> <li>- Osnovni parametri zanesljivosti in njihova določitev.</li> </ul> <p>5. Predavanje: Osnove zanesljivosti tehniških sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipični modeli in cilji zanesljivosti za tehnične sisteme in njihove sestavne dele.</li> </ul> <p>6. Predavanje: Tehnični sistem kot skupek okvarljivih sestavnih delov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zanesljivost sestavljenih sistemov (zaporedna, vzporedna, kombinirana vezava).</li> </ul> <p>7. Predavanje: Definicija zahtev za sistem in alokacija zahtev po komponentah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Koncept vgrajene redundance;</li> <li>- Upoštevanje tehnične kompleksnosti posameznih komponent.</li> </ul> <p>8. Predavanje: Konstruiranje in vrednotenje komponent na funkcionalnost in zanesljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Izbira materialov in sestavnih delov, upoštevanje lastnih zmogljivosti podjetja in tehnične zahtevnosti procesov;</li> <li>- Predimenzioniranje izdelka s ciljem izboljšanja njegove zanesljivosti.</li> </ul> <p>9. Predavanje: Konstruiranje in vrednotenje komponent na funkcionalnost in zanesljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analiza varnostnih faktorjev za lahke konstrukcije;</li> <li>- Kompleksnost in modularnost izdelkov, vpliv zrelosti tehnologij na zanesljivost.</li> </ul> <p>10. Predavanje: Konstruiranje in vrednotenje komponent na funkcionalnost in zanesljivost:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FMEA izdelka.</li> </ul> <p>11. Predavanje: Osnove eksperimentalne validacije sestavnih delov sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnove preskušanja za odpravo otroških okvar;</li> <li>- Osnove preskušanja za potrditev ali zavrnitev serije izdelkov.</li> </ul> <p>12. Predavanje: Osnove eksperimentalne validacije sestavnih delov sistema:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Osnove pospešenega preskušanja dobe trajanja.</li> </ul> <p>13. Predavanje: Osnove načrtovanja vzdrževalnosti tehniških sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vzdrževalni viri;</li> <li>- Kaj je cilj preventivnega vzdrževanja s stališča funkcionalnosti in zanesljivosti.</li> </ul> <p>14. Predavanje: Osnove načrtovanja vzdrževalnosti tehniških sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kdaj sestavne dele popravimo in kdaj zamenjamo;</li> <li>- Kako ocenimo primerni trenutek za zamenjavo starajočega-se tehniškega sistema.</li> </ul> <p>15. Predavanje: Osnove integracije razvitih/obstojećih komponent v tehnični sistem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifikacija podsistemov;</li> <li>- Potrditev tehničnega sistema in začetek poskusnega</li> </ul> | <p>3. Lecture: Relationship between conventional and RMS methods of product development.</p> <p>4. Lecture: Introduction to reliability of technical systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Failures as causes of un-reliability;</li> <li>- Basic reliability parameters and their estimation.</li> </ul> <p>5. Lecture: Introduction to reliability of technical systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Typical reliability models and objective for technical systems and their components.</li> </ul> <p>6. Lecture: Technical system as an assembly of failkure-prone building blocks:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reliability of composed systems (serial, parallel, combined structures).</li> </ul> <p>7. Lecture: System-requirements definition and their allocation to components:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concept of built-in redundancy;</li> <li>- Consideration of component's technical complexity.</li> </ul> <p>8. Lecture: Design and evaluation for functionality and reliability:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selection of materials and parts, consideration of the company's core-business competences and technical complexity of processes;</li> <li>- Product over-dimensioning as a mean for reliability improvement.</li> </ul> <p>9. Lecture: Design and evaluation for functionality and reliability:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Safety-factor analysis for light-weight designs;</li> <li>- Product complexity and modularity, influence of technology-readiness level to reliability.</li> </ul> <p>10. Lecture: Design and evaluation for functionality and reliability:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Product FMEA analysis.</li> </ul> <p>11. Lecture: Basics of experimental validation of system's components:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basics of burn-in testing;</li> <li>- Basics of acceptance testing.</li> </ul> <p>12. Lecture: Basics of experimental validation of system's components:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basics of accelerated durability testing.</li> </ul> <p>13. Lecture: Basics of technical-system's maintenance planning:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintenance resources;</li> <li>- Maintenance objectives from a standpoint of functionality and reliability.</li> </ul> <p>14. Lecture: Basics of technical-system's maintenance planning:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Replacement or repair of system's components;</li> <li>- Estimation of a replacement period for ageing technical systems.</li> </ul> <p>15. Lecture: Basics of component integration into a technical system:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sub-system verification;</li> <li>- Verification of technical system and pilot operation;</li> </ul> |
|--|---|

|   |   |
|---|---|
| obratovanja;<br>- Končna validacija tehničnega sistema. | - Final validation of technical system. |
|---|---|

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Systems engineering handbook. Ed. Haskins C. INCOSE – International Council on System Engineering, 2006.
2. Product reliability, maintainability and supportability handbook – 2nd edition. Ed. Pecht M. CRC Press, 2009.
3. O'Conor P.D.T., Kleyner A. Practical reliability engineering – 5th edition. John Wiley & Sons, 2012.
4. Klemenc J. Efektivnost izdelkov. UL, Fakulteta za strojništvo, 2016.

### Cilji in kompetence:

#### Cilji:

1. Spoznati načine za konceptualizacijo kompleksnega tehniškega sistema po metodi od zgoraj navzdol.
2. Spoznati osnovne principe integracije različnih komponent v tehniški sistem.
3. Spoznati osnovne principe različnih vidikov statistično pogojenega vrednotenja konstrukcij.
4. Spoznati osnove poenostavljenega mehanskega preskušanja proizvodov na nivoju podjetja.
5. Pridobiti izkušnjo timskega reševanja tehniških problemov.

#### Kompetence:

1. S1-PAP: Sposobnost uporabe postopkov FMEA analize v praksi.
2. S4-PAP: Sposobnost razčlenitve lažjih strokovnih nalog na podnaloge (relacija tehniški sistem – komponente).
3. S6-PAP: Usposobljenost za delo v skupini in povezovanje s strokovnjaki drugih strok pri dekompoziciji in integraciji tehniških sistemov.
4. P4-PAP: Poznavanje osnovne merilne instrumente in merilne verige za dokazovanje dobe trajanja in/ali zanesljivosti komponent tehniških sistemov.
5. P9-PAP: Sposobnost samostojnega opravljanja razvojno aplikativnih, inženirskih ter strokovna organizacijskih del ter reševanja posameznih dobro definiranih nalog na nekaterih področjih systemskega inženiringa.

### Objectives and competences:

#### Objectives:

1. To learn principles of technical-system conceptualisation with a top-down approach.
2. To learn basic principles of component integration into a technical system.
3. To learn basic principles of different aspects of statistical product evaluation.
4. To learn basics of simplified product testing at industrial level.
5. To gain experience in team-work problem solving.

#### Competences:

1. S1-PAP: The ability to use FMEA analysis in the practice.
2. S4-PAP: The ability to break down professional tasks of lesser complexity into subtasks (e.g. relations technical system – components).
3. S6-PAP: Qualification for teamwork and establishing interdisciplinary relations with the professionals from other disciplines in the process of decomposition and integration of technical systems.
4. P4-PAP: Knowing the basic measuring instruments and measuring chains for validating durability and/or reliability of components and technical systems.
5. P9-PAP: Ability to perform applied developmental, engineering and professional organisational work, and to solve well-defined individual tasks in the selected fields of system engineering.

### Predvideni študijski rezultati:

#### Znanja:

Z1: Poglobljeno strokovno teoretično in praktično znanje na določenem področju, podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo:

- Razumevanje osnov systemskega inženiringa.
- Razumevanje osnov konstruiranja na zanesljivost izdelkov.
- Razumevanje osnov preskušanja component in

### Intended learning outcomes:

#### Knowledge:

Z1: Thorough professional theoretical and practical knowledge in a selected field of expertise that is supported with a broad theoretical and methodological basis:

- Understanding basics of system engineering.
- Understanding basics of product design for reliability.

|   |  |
|---|--|
| <p>tehniških sistemov.</p> <p>Spretnosti:</p> <p>S1.1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih opravil, ki vključujejo tudi uporabo metodoloških orodij:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Izračun zanesljivosti izdelka, če so poznane zanesljivosti njegovih sestavnih delov.</li> <li>Izvedba in/ali vodenje postopka za FMEA analizo komponent tehniških sistemov.</li> </ul> <p>S1.2 Obvladovanje zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov ob samostojni uporabi znanja v novih delovnih situacijah:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Izvedba preskusov za dokazovanje dobe trajanja in/ali zanesljivosti komponent tehniških sistemov.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Understanding basics of component and system testing.</li> </ul> <p>Skills:</p> <p>S1.1 Executing complex operational-professional tasks that incorporate usage of methodological tools:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Calculating the systems' reliability if reliabilities of its components are known.</li> <li>Execution and/or managing FMEA analysis for system's components.</li> </ul> <p>S1.2 Mastering demanding and complex work processes by independent usage of knowledge in new working situations:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Performing reliability and/or durability testing for components of technical systems.</li> </ul> |
|---|--|

#### Metode poučevanja in učenja:

#### Learning and teaching methods:

|  |  |
|--|--|
| <p>P1: Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov.</p> <p>P7: Študij literature in razprava – študentje na predavanjih razložijo del snovi, ki so jo naštudirali sami.</p> <p>P3: Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri.</p> <p>P9: Skupinsko delo na vajah (razprave o prebranem, strukturirana diskusija, projektno delo).</p> <p>P12: Individualizirane domače naloge v spletni učilnici.</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>P1: Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases.</li> <li>P7: Literature study and discussion – student's presentation of content at lectures.</li> <li>P3: Auditorial exercises, in which theoretical content from the lectures is supplemented with practical examples.</li> <li>P9: Team work (discussion of the studied content, structured discussion, brainstorming, project work)</li> <li>P12: Individualised homeworks in a web classroom.</li> </ol> |
|--|--|

#### 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). |
| Domače naloge (poročila).  | 20,00 % | Homeworks (reports).  |
| Avditorne vaje (poročila).   | 10,00 % | Auditorial exercises (reports).   |
| Pisni preskus praktičnega znanja, osvojenega na vajah.                     | 20,00 % | Written examination of practical knowledge that was acquired in exercises.            |

#### Reference nosilca/Lecturer's references:

Jernej Klemenc:

- KLEMENC, Jernej**, FAJDIGA, Matija. Estimating S-N curves and their scatter using a differential ant-stigmergy algorithm. International journal of fatigue, 2012, vol. 43, str. 90-97, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2012.02.015. [COBISS.SI-ID 12242203]
- KLEMENC, Jernej**, RUPP, Andreas, FAJDIGA, Matija. A study of the dynamics of a clapper-to-bell impact with the application of a simplified finite-element model. Engineering with computers, 2011, vol. 27, iss. 3, str. 261-272, doi: 10.1007/s00366-010-0196-4. [COBISS.SI-ID 11605275]
- KLEMENC, Jernej**, FAJDIGA, Matija. Predicting smoothed loading spectra using a combined multilayer perceptron neural network. International journal of fatigue, 2006, letn. 28, št. 7, str. 777-791.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2005.08.004>. [COBISS.SI-ID 9189915]

4. **KLEMENC, Jernej**, ŠKRLEC, Andrej, FAJDIGA, Matija. Determining the material parameters of a polyurethane foam using numerical optimisation algorithms. V: Ansys Conference & 6. Cadfem Austria Users' Meeting, 7.-8. April 2011, Wien. Wien: Cadfem. 2011, str. [1-10]. [COBISS.SI-ID 11919899]
5. **KLEMENC, Jernej**, BROJAN, Miha, NAGODE, Marko. Static and fatigue-life tests for an Al-casted part VW Konsole 022\_199\_354\_T. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Katedra za strojne elemente in razvojna vrednotenja, 2017. 25 f. [COBISS.SI-ID 15350299]

Marko Nagode:

1. VIDIC, Gašper, **NAGODE, Marko**. Critical evaluation of frequency-domain approach for fatigue damage estimation. Journal of engineering materials and technology : Transactions of the ASME, ISSN 0094-4289, Jun. 2014, vol. 136, iss. 3, str. 1-8, ilustr., doi: 10.1115/4027792. [COBISS.SI-ID 13581595]
2. VEBER, Boštjan, **NAGODE, Marko**, FAJDIGA, Matija. Napoved zbirnega števila okvar popravljivega izdelka na podlagi poteka delovanja = Prediction of the cumulative number of failures for a repairable system based on past performance. Strojniški vestnik, ISSN 0039-2480, 2007, letn. 53, št. 10, str. 621-634. [COBISS.SI-ID 10330907]
3. BUČAR, Tomaž, **NAGODE, Marko**, FAJDIGA, Matija. A neural network approach to describing the scatter of S-N curves. International journal of fatigue, ISSN 0142-112 [Print ed.], 2006, letn. 28, št. 4, str. 311-323. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2005.08.002>. [COBISS.SI-ID 8820251]
4. VEBER, Boštjan, **NAGODE, Marko**, FAJDIGA, Matija. Probabilistic model suitable for experimental modelling of cumulative number of failures of a repairable product. V: SONSINO, C. M. (ur.), MCKEIGHAN, Peter C. (ur.). Proceedings, Second international conference on material and component performance under variable amplitude loading, March 23-26, 2009 Darmstadt, Germany. Berlin: Deutscher Verband für Materialforschung und -Prüfung. cop. 2009, str. 705-714, ilustr. [COBISS.SI-ID 10918939]
5. KLEMENC, Jernej, BROJAN, Miha, **NAGODE, Marko**. Static and fatigue-life tests for an Al-casted part VW Konsole 022\_199\_354\_T. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Katedra za strojne elemente in razvojna vrednotenja, 2017. 25 f. [COBISS.SI-ID 15350299]