

VREDNOTENJE NA ZANESLJIVOST

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:

Vrednotenje na zanesljivost

Course title:

Reliability Evaluation and Demonstration

Članica nosilka/UL

UL FS

Member:

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski	Konstruiranje (smer)	2. letnik	1. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:

0566886

Koda učne enote na članici/UL Member course code:

6033-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:

prof. dr. Jernej Klemenc, prof. dr. 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:

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

Prerequisites:

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

Vsebina:

Content (Syllabus outline):

1. Predavanje: Podatkovni viri za analizo okvarljivosti izdelkov: - Notranji podatkovni viri (razvojne informacije o predhodnih izdelkih, služba za kontrolo kakovosti, reklamacije, garancije); - Zunanji podatkovni viri (servisna mreža, poročila neodvisnih organizacij); - Kvaliteta vhodnih podatkov in njen vpliv na analizo okvarljivosti izdelkov. 2. Predavanje: Modeliranje krivulje banje z uteženo mešanico dvo-parametričnih Weibullovih gostot porazdelitev verjetnosti: - Model otroških okvar; - Model konstantne okvarljivosti; - Model starostnih okvar. 3. Predavanje: Časovni razvoj razpoložljivosti izdelka brez in z upoštevanjem vzdrževanja: - Osnove Markove analize stanj; - Stanja izdelkov z več komponentami; - Izpeljava diferencialnih enačb stanj Sistema brez in z upoštevanjem intenzivnosti vzdrževanja. 4. Predavanje: Napovedovanje vgrajene verjetnosti izpolnjevanja funkcije izdelka: - Napoved zanesljivosti kot presek verjetnostnih prostorov obremenitev in zdržljivosti; - Povezava statističnega pristopa napovedovanja zanesljivosti in numeričnih simulacij z metodo končnih elementov; - Primer izračuna za Weibullov model zanesljivosti. 5. Predavanje: Osnove planiranja preskusov in obdelave podatkov za validacijo končnih izdelkov in njihovih komponent: - Plan preskusa kot posledica definicije zahtev izdelka; - Vplivni faktorji in faktorielni preskus; - Omejeni plani preskusov; - Obdelava eksperimentalnih podatkov za faktorielne in omejene plane preskusov. 6. Predavanje: Osnove planiranja preskusov in obdelave podatkov za vrednotenje na zanesljivost: - Funkcijsko modeliranje podatkov (ekstrapolacija, interpolacija); - Empirično modeliranje podatkov (bazne funkcije in analitični model); - Povezava vplivnih faktorjev in zdržljivosti izdelka z metodami umetne intelligence. 7. Predavanje: Preskus za odpravo otroških okvar: - Pogojna zanesljivost kot kupčeva percepcija; - Določitev časa preskušanja za odpravo otroških okvar na osnovi tehniških in ekonomskih kriterijev; - Študija primera. 8. Predavanje: Preskus za potrditev/zavrnitev serije izdelkov: - Binomski preskus; - Tveganje za napako prvega in drugega tipa; - Določitev velikosti vzorca glede na zahtevane cilje preskušanja na konkretnem primeru. 9. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo	1. Predavanje: Podatkovni viri za analizo okvarljivosti izdelkov: - Notranji podatkovni viri (razvojne informacije o predhodnih izdelkih, služba za kontrolo kakovosti, reklamacije, garancije); - Zunanji podatkovni viri (servisna mreža, poročila neodvisnih organizacij); - Kvaliteta vhodnih podatkov in njen vpliv na analizo okvarljivosti izdelkov. 2. Predavanje: Modeliranje krivulje banje z uteženo mešanico dvo-parametričnih Weibullovih gostot porazdelitev verjetnosti: - Model otroških okvar; - Model konstantne okvarljivosti; - Model starostnih okvar. 3. Predavanje: Časovni razvoj razpoložljivosti izdelka brez in z upoštevanjem vzdrževanja: - Osnove Markove analize stanj; - Stanja izdelkov z več komponentami; - Izpeljava diferencialnih enačb stanj Sistema brez in z upoštevanjem intenzivnosti vzdrževanja. 4. Predavanje: Napovedovanje vgrajene verjetnosti izpolnjevanja funkcije izdelka: - Napoved zanesljivosti kot presek verjetnostnih prostorov obremenitev in zdržljivosti; - Povezava statističnega pristopa napovedovanja zanesljivosti in numeričnih simulacij z metodo končnih elementov; - Primer izračuna za Weibullov model zanesljivosti. 5. Predavanje: Osnove planiranja preskusov in obdelave podatkov za validacijo končnih izdelkov in njihovih komponent: - Plan preskusa kot posledica definicije zahtev izdelka; - Vplivni faktorji in faktorielni preskus; - Omejeni plani preskusov; - Obdelava eksperimentalnih podatkov za faktorielne in omejene plane preskusov. 6. Predavanje: Osnove planiranja preskusov in obdelave podatkov za vrednotenje na zanesljivost: - Funkcijsko modeliranje podatkov (ekstrapolacija, interpolacija); - Empirično modeliranje podatkov (bazne funkcije in analitični model); - Povezava vplivnih faktorjev in zdržljivosti izdelka z metodami umetne intelligence. 7. Predavanje: Preskus za odpravo otroških okvar: - Pogojna zanesljivost kot kupčeva percepcija; - Določitev časa preskušanja za odpravo otroških okvar na osnovi tehniških in ekonomskih kriterijev; - Študija primera. 8. Predavanje: Preskus za potrditev/zavrnitev serije izdelkov: - Binomski preskus; - Tveganje za napako prvega in drugega tipa; - Določitev velikosti vzorca glede na zahtevane cilje preskušanja na konkretnem primeru. 9. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo
--	--

enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem števila testnih enot: - Preskus z nadomeščanjem okvarjenih vzorcev ali brez tega; - Pričakovani čas trajanja preskusov za izbrano velikost vzorca; - Faktor pospešitve preskusa kot funkcija števila preiskanih enot. 10. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem frekvence obremenitve: - Omejitve pri povečevanju frekvence obremenjevanja za enostavne in kompleksne izdelke; - Časovna transformacija med domeno realne uporabe in domeno preskušanja; - Faktor pospešitve preskusa kot funkcija frekvence obremenjevanja. 11. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem obremenitvenih nivojev: - Pospešeni preskus s povečanjem obremenitvenega nivoja; - Inverzni potenčni model; - Arrheniusov model; - Eyringov model; - Faktor pospešitve preskusa kot funkcija povečanega nivoja obremenjevanja. 12. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem obremenitvenih nivojev: - Pospešeni preskus s stopničastim povečevanjem obremenitve; - Ocena zanesljivosti iz stopničastega preskusa ob znanem trendu podatkov; - Določitev intervala zaupanja ocene zanesljivosti z Weibullovo analizo; - Študija primera. 13. Predavanje: Demonstracija izpolnjevanja zahtev izdelka v razvojnem postopku: - Rast zanesljivosti kot posledica ponavljajočih se PDCA ciklov; - Idealni model rasti zanesljivosti; - Duane-ov model rasti zanesljivosti. 14. Predavanje: Demonstracija izpolnjevanja zahtev izdelka v razvojnem postopku: - Eksperimentalni dokaz rasti zanesljivosti z Weibullovo analizo; - Metoda nasičenja za grafično vizualizacijo rasti zanesljivosti; - Študija primera. 15. Predavanje: Zanesljivost mehatronskih sistemov: - Programska oprema kot sestavni del izdelka; - Preskušanje zanesljivosti programske opreme.	enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem števila testnih enot: - Preskus z nadomeščanjem okvarjenih vzorcev ali brez tega; - Pričakovani čas trajanja preskusov za izbrano velikost vzorca; - Faktor pospešitve preskusa kot funkcija števila preiskanih enot. 10. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem frekvence obremenitve: - Omejitve pri povečevanju frekvence obremenjevanja za enostavne in kompleksne izdelke; - Časovna transformacija med domeno realne uporabe in domeno preskušanja; - Faktor pospešitve preskusa kot funkcija frekvence obremenjevanja. 11. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem obremenitvenih nivojev: - Pospešeni preskus s povečanjem obremenitvenega nivoja; - Inverzni potenčni model; - Arrheniusov model; - Eyringov model; - Faktor pospešitve preskusa kot funkcija povečanega nivoja obremenjevanja. 12. Predavanje: Pospešeni preskusi za validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov s povečanjem obremenitvenih nivojev: - Pospešeni preskus s stopničastim povečevanjem obremenitve; - Ocena zanesljivosti iz stopničastega preskusa ob znanem trendu podatkov; - Določitev intervala zaupanja ocene zanesljivosti z Weibullovo analizo; - Študija primera. 13. Predavanje: Demonstracija izpolnjevanja zahtev izdelka v razvojnem postopku: - Rast zanesljivosti kot posledica ponavljajočih se PDCA ciklov; - Idealni model rasti zanesljivosti; - Duane-ov model rasti zanesljivosti. 14. Predavanje: Demonstracija izpolnjevanja zahtev izdelka v razvojnem postopku: - Eksperimentalni dokaz rasti zanesljivosti z Weibullovo analizo; - Metoda nasičenja za grafično vizualizacijo rasti zanesljivosti; - Študija primera. 15. Predavanje: Zanesljivost mehatronskih sistemov: - Programska oprema kot sestavni del izdelka; - Preskušanje zanesljivosti programske opreme.
---	---

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Efektivnost izdelkov, Klemenc, Jernej [COBISS.SI-ID [290437120](#)]

2. Snovanje izdelkov z vidika zanesljivosti, Nagode, Marko ; Oman, Simon, 1979- ; Šeruga, Domen [COBISS.SI-ID [104685315](#)]
3. Synergetics of measurement, prediction and control, Grabec, Igor ; Sachse, Wolfgang [COBISS.SI-ID [63089](#)]

Cilji in kompetence:	Objectives and competences:
Cilji: 1. Pridobiti celovit pregled najpogostejših metod za vrednotenje zanesljivosti. 2. Spoznati poglobljene teoretične osnove za uporabo Weibullovih analiz na področju vrednotenja in demonstracije zanesljivosti. 3. Spoznati najpogostejše in v praksi preskušene eksperimentalne pristope za pospešeno validacijo enostavnih in kompleksnih izdelkov. 4. Pridobiti sposobnost odločanja na področju konstruiranja v primeru pomanjkljivih vhodnih podatkov in/ali informacij. 5. Poglobliti in utrditi izkušnjo timskega dela. Kompetence: 1. S2-MAG: Širitev sposobnosti kritičnega, analitičnega in sintetičnega mišljenja. Razvijanje novega znanja in razumevanja področja vrednotenja in demonstracije zanesljivosti. 2. S8-MAG: Sposobnost iskanja virov, kritične presoje informacij, samostojnega nadgrajevanja pridobljenih znanj in poglobljanja znanja na področju vrednotenja in demonstracije zanesljivosti. 3. S9-MAG: Usposobljenost za delo v skupini in interdisciplinarno povezovanje. 4. P4-MAG: Sposobnost fizikalnega, matematičnega in numeričnega modeliranja problemov ter analize rezultatov na področju zanesljivosti izdelkov. 5. P5-MAG: Sposobnost samostojnega pridobivanja novih znanj in veščin na področju vrednotenja in demonstracije zanesljivosti.	Objectives: 1. To acquire a thorough oversight to the most common methods for reliability evaluation. 2. To learn a thorough theoretical basics of the Weibull analysis in the field of reliability evaluation and demonstration. 3. To train the most common and practically proven experimental approaches for accelerated validation of simple and complex products. 4. To acquire decision-making skills in the field of machine design when the input data and/or informations are incomplete. 5. To deepen and straighten team-work skills. Competences: 1. S2-MAG: Improved capability of critical, analytical and synthetical thinking. Development of new knowledge and comprehension of the professional field of reliability evaluation and demonstration. 2. S8-MAG: The ability to find sources, critically evaluate information, independently upgrade the attained knowledge and deepen the knowledge in the field of reliability evaluation and demonstration. 3. S9-MAG: The ability for teamwork and for interdisciplinary networking. 4. P4-MAG: The ability for physical, mathematical and numerical modelling of problems, including a developed ability to critically analyse the results in the field of product reliability. 5. P5-MAG: The ability to autonomously acquire new knowledge and skills in the field of reliability evaluation and demonstration.

Predvideni študijski rezultati:	Intended learning outcomes:
Znanja: Z2: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje z elementi raziskovanja, ki je osnova za zelo zahtevno strokovno delo:	Knowledge: Z2: Thorough theoretical, methodological and analytical knowledge with elements of a research work that form a basis for very demanding professional work:

- Razumevanje koncepta uni- in večmodalnosti poškodb v povezavi s strukturo tehničnega sistema. - Razumevanje posebnosti uporabe osnovnih statističnih orodij za ocenjevanje zanesljivosti. - Razumevanje teoretičnih konceptov, na katerih temeljijo pospešeni preskusi za dokazovanje zanesljivosti. Spretnosti: S2.1 Obvladovanje zelo zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov in metodoloških orodij na specializiranih področjih: - Sposobnost izdelave analitičnih in numeričnih modelov za napovedovanje, vrednotenje in demonstracijo zanesljivosti. S2.3 Sposobnost izvirnih dognanj/stvaritev in kritične refleksije: - Sposobnost izvajanja raziskav na področju preskušanja zanesljivosti izdelkov.	- Understanding a concept of single- and multiple-mode failures in relationship to the structure of a technical system. - Understanding special issues related to the application of basic statistical tools for reliability estimation. - Understanding theoretical concepts that form a basis for an accelerated reliability testing. Skills: S2.1 Mastering very demanding and complex work processes and methodological tools in specialised professional fields: - Ability of building analytical and numerical models for reliability prediction, evaluation and demonstration. S2.3 Ability of unique innovations and critical reflections: - Ability of research in the field of reliability testing.
---	--

Metode poučevanja in učenja:

- P1: Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov. - P4: Laboratorijske vaje z namenski didaktičnimi pripomočki (smostojno izvajanje preskusov na hidravličnih pulzirnih strojih, izdelava enostavnih merilnih znav in izvedba pospešenih preskusov njihove zdržljivosti). - P8: Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarских nalog - P9: Skupinsko projektno delo. - P14: Virtualni eksperimenti. - P15: Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje.	Learning and teaching methods: - P1: Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases. - P4: Laboratory exercises with special-purpose didactic devices (individual running of experiments on a hydraulic pulsating machines, development and building sensors, execution of accelerated life-testing of sensors). - P8: Preparing and presenting applied seminar exercises. - P9: Project team work. - P14: Virtual experiments. - P15: Application of video contents as a preparation means for lectures and exercises.
---	---

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)
Aplikativne seminarske naloge (poročila s predstavitvami)	20,00 %	Applied seminar exercises (reports with presentations)
Laboratorijske vaje (poročila)	10,00 %	Laboratory exercises (reports)
Pisni preskus praktičnega znanja, osvojenega na vajah	20,00 %	Written examination of practical knowledge that was acquired in exercises

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:

Jernej Klemenc:

1. **KLEMENC, Jernej**, HUMAR, Miha, FAJDIGA, Gorazd. Influence of insect damage to the fatigue life of an old larch wood. Construction & building materials. [Online ed.]. 2023, vol. 375, 1 spletni vir (1 datoteka pdf ([13] str.)). ISSN 1879-0526.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823006888>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=144806>, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130976. [COBISS.SI-ID [145016835](#)]
2. NAGODE, Marko, PANIĆ, Branislav, **KLEMENC, Jernej**, OMAN, Simon. Fault detection and classification with the rebmix R package. Computers & industrial engineering. Nov. 2023, vol. 185, str. 1-12, ilustr. ISSN 0360-835 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835223006526>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=151319>, DOI: 10.1016/j.cie.2023.109628. [COBISS.SI-ID [166878723](#)].
3. NAGODE, Marko, **KLEMENC, Jernej**. Modelling of load spectra containing clusters of less probable load cycles. International journal of fatigue. Feb. 2021, vol. 143, str. 1-10, ilustr. ISSN 0142-112 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142112320305387>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=121869>, DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2020.106006. [COBISS.SI-ID [35679235](#)].
4. ŠKRLEC, Andrej, **KLEMENC, Jernej**. Estimating the strain-rate-dependent parameters of the Johnson-Cook material model using optimisation algorithms combined with a response surface. Mathematics. Jul. 2020, vol. 8, iss. 7, f. 1-18, ilustr. ISSN 2227-7390. <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/7/1105>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=117669>, DOI: 10.3390/math8071105. [COBISS.SI-ID [23026947](#)]
5. **KLEMENC, Jernej**, KAJBIČ, Jure. Design of accelerated fatigue-life tests based on finite-element simulations and the theory of critical distances. V: ASTM E08 Symposium 2021 : Symposium on Advances in Accelerated Testing and Predictive Methods in Creep, Fatigue, and Environmental Cracking, Atlanta, november 30- December 2, 2021. [S. l.]: ASTM, 2023. Str. 187-205, ilustr. http://ftp.kwglobal.com/Rebecca_Edwards/STP1643_Final%20PDFs/, DOI: 10.1520/STP164320210089. [COBISS.SI-ID [152242435](#)].

Marko Nagode:

1. **NAGODE, Marko**, OMAN, Simon, KLEMENC, Jernej, PANIĆ, 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.res.2022.108946. [COBISS.SI-ID [129890307](#)]
2. PANIĆ, Branislav, KLEMENC, Jernej, **NAGODE, Marko**. Improved initialization of the EM algorithm for mixture model parameter estimation. Mathematics. 2020, vol. 8, iss. 3, str. 1-29, ilustr. ISSN 2227-7390. <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/3/373/htm#>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=114907>, DOI: 10.3390/math8030373. [COBISS.SI-ID [17112347](#)]
3. PANIĆ, Branislav, KLEMENC, Jernej, **NAGODE, Marko**. Gaussian mixture model based classification revisited : application to the bearing fault classification. Strojniški vestnik. Apr. 2020, vol. 66, no. 4, str. 215-226, si 29, ilustr. ISSN 0039-2480. <https://www.sv-jme.eu/article/gaussian-mixture-model-based-classification-revisited-application-to-the-bearing-fault-classification/>, <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=116199>, <http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-QPW9ED3M>, DOI: 10.5545/sv-jme.2020.656 [COBISS.SI-ID [17169179](#)]
4. OMAN, Simon, **NAGODE, Marko**. Center crush BWP30 : support plate design modification to change its material to PA-GF composite. Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering, LASEM, 2022. 17 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID [124489987](#)]

5. OMAN, Simon, **NAGODE, Marko**, KLEMENC, Jernej, MAJDIČ, Franc, HOČEVAR, Marko, GOSAR, Aleš, ŠKRLEC, Andrej, OLAH, Laslo. Submersible pump assembly and method for use of same : United States patent US 10,995,745 B1, 2021-05-04. Alexandria: United States Patent and Trademark Office, 2021. 10 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [63338755](#)]