

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Nedestruktivne preiskave v letalstvu
Course title:	NON-DESTRUCTIVE TESTING IN AVIATION
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Snovanje in vzdrževanje letal (smer)	2. letnik	2. semester

Univerzitetna koda predmeta/University course code: 0564076

Koda učne enote na članici/UL Member course code: 3093-V

Predavanja	Seminar	Vaje	Klinične vaje	Druge oblike študija	Samostojno delo	ECTS
30		30			15	3

Nosilec predmeta/Lecturer: Roman Šturm, Tomaž Kek

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. Zagotavljanje kakovosti materialov:
Obvladovanje kakovosti materialov, nadzor nad kakovostjo materialov, opredelitev integritete površin, kriteriji ocenjevanja integritete površin, notranje napetosti po različnih izdelovalnih postopkih, fizikalna opredelitev nastanka različnih notranjih napetosti, integriteta površin po različnih proizvodnih procesih, vpliv mikrostrukture na notranje napetosti.

2. Vizualna kontrola:
Vrste, načini osvetljevanja, optični sistemi, omejitve v povezavi z ločljivostjo sistema, videoskopi in vlaknasti

1. Quality assurance of materials: Materials quality control, material quality control, definition of surface integrity, criteria for assessing the integrity of surfaces, residual stresses after different manufacturing processes, physical definition of residual stresses, surface integrity after different manufacturing processes, influence of microstructure on residual stresses.

2. Visual inspection: Types, illumination modes, optical systems, system resolution limits, videos and fiber-borescopes, special properties, optical fibers.

boreskopi, posebne lastnosti, optična vlakna. 3. Ultrazvočno preizkušanje I: ultrazvočno valovanje, načini širjenja, lastnosti, načini generiranja elastičnih valov, magnetostriktivni in elektromagnetni akustični efekt, bližnje in daljno polje. 4. Ultrazvočno preizkušanje II: PZT ultrazvočne glave, izbira ustrezne UZ glave, vpliv akustične impedance, način preizkušanja gibljivih objektov, postopki preizkušanja, posebne izvedbe UZ glav 5. Preizkušanje z akustično emisijo: Opredelitev zaznavnih napak in vpeljava termina kritične napake, Kaiserjev in Felicity efekt, primeri preizkušanja z akustično emisijo, postopki priprave in procedura izvedbe preizkusa, značilnosti signalov AE, makroskopski in mikroskopski izvori AE, vplivi na amplitudo AE, področja uporabe, prednosti in slabosti, tehnike lociranja izvorov signalov AE, vrste senzorjev za zajem signalov AE. 6. Preiskave z X in γ žarki I: Radiografija in radioskopija, fizikalni načini generiranja X in γ, karakteristično in zvezno sevanje, minimalna valovna dolžina, trdota žarkov, absorpcija X in γ žarkov, struktura rentgenske cevi, vpliv žarišča na kakovost slike, kontrast, notranja ostrina. 7. Preiskave z X in γ žarki II: vrste rentgenskih cevi, Izotopi za γ žarke, lastnosti X in γ žarkov, rentgenski film, indikatorji kakovosti slike, števna cev, ojačevalci slike, CT, različni načini pregledov izdelkov, pregledovanje zvarov, delitve radioskopskih sistemov, optimalna oddaljenost. 8. Preizkušanje z vrtničnimi tokovi I: fizikalne osnove generiranja vrtničnih tokov, opredelitev impedance tuljave za preizkušanje, vplivi na impedanco tuljave, normalizirani impedančni ravninski diagram glede na magnetno permeabilnost, premiki impedance, karakteristični (dolžinski) parameter. 9. Preizkušanje z vrtničnimi tokovi II: osnovni načini preizkušanja, vpliv napake na trajektorijo impedančnega odziva, postopki preizkušanja z induktivnostjo, prednosti in slabosti. 10. Preiskave z magnetnim prahom I: magnetne preizkuševalne metode, fizikalne osnove, opis magnetnega polja, efekt vrste materiala na elektromagnetno polje, pripomočki pri opazovanju površin, načini magnetenja preizkuševalcev. 11. Preiskave z magnetnim prahom II: zahteve pri izvedbi preizkusa, vpeljava izračuna parametrov preizkusa, dinamične in statične metode preizkušanja, suhi in mokri postopek, klasifikacija magnetnih prahov, uporabljeni električni tokovi za magnetenje, Bertholdov penetrameter, referenčni etaloni, Hallov senzor, primeri preizkušanja, razmagnetenje vzorcev.	3. Ultrasonic testing I: ultrasonic waves, propagation modes, properties, elastic wave generation modes, magnetostrictive and electromagnetic acoustic effects, near and far field. 4. Ultrasonic testing II: PZT ultrasonic probes, selection of appropriate ultrasound probe, influence of acoustic impedance, method of testing moving objects, testing procedures, special designs of ultrasound probes 5. Acoustic emission testing: Definition of detectable flaws and introduction of critical flaw size, Kaiser and Felicity effect, acoustic emission test cases, test preparation and test procedures, AE signal parameters, macroscopic and microscopic sources of AE, effects on AE signal amplitude, fields of application, advantages and disadvantages, location techniques for AE signal sources, types of AE sensors. 6. Radiology I: Radiography and radioscopy, X and γ rays sources, characteristic and continuous radiation, minimum wavelength, ray hardness, absorption of X and γ rays, X-ray tube structure, influence of the focus on image quality, contrast, internal sharpness. 7. Radiology II: X-ray tube types, Isotopes for γ rays, X and γ rays properties, X-ray film, image quality indicators, G-M tube, image enhancer, CT, various modes of product inspection, weld inspection, radioscopy systems, optimal distance. 8. Eddy current testing I: Physical principles of eddy current testing, coil impedance, effects on coil impedance, normalized impedance plane diagram with respect to magnetic permeability, impedance displacements, characteristic (length) parameter. 9. Eddy current testing II: Test methods, impact of the flaw on the impedance response trajectory, inductance test procedures, advantages and disadvantages. 10. Magnetic Particle Testing I: Magnetic testing methods, physical fundamentals, description of the magnetic field, the effect of the type of material on the electromagnetic field, devices for surface observation, magnetization methods. 11. Magnetic Particle Testing II: test requirements, introduction to test parameters calculation, dynamic and static test methods, dry and wet testing, classification of magnetic powders, Berthold penetrometer, reference block, Hall sensor, test cases, sample demagnetization. 12. Liquid penetrant testing: Physical principles, test methods, surface evaluation and methods for documenting the condition of the surface. 13. Residual stress measurement: Presentation of different methods with respect to sample interference, hole-drilling residual stress measurement, physical background and constraints, X-ray diffraction method, physical background and constraints. 14. Thermography: temperature measurement
---	---

12. Penetrantski način preiskav: fizikalne osnovne, načini preizkušanja, ocenjevanje površin in načini dokumentiranja stanja površin. 13. Merjenje zaostalih napetosti : Predstavitev različnih metod glede na poseg v vzorec, merjenje zaostalih napetosti z izvrtino, fizikalno ozadje in omejitve, metoda difrakcije X žarkov, fizikalno ozadje in omejitve. 14. Termografija: načini merjenja temperature, Planckov zakon, pasivna in aktivna termografija, zunanji izvori vzbujanja vzorcev, primeri uporabe, prednosti in slabosti, termo kamere. 15. Certificiranje osebja: Izobraževanje kadrov, certificiranje osebja, akreditacija opreme in laboratorija za neporušne preiskave in zahteve laboratorijev za opravljanje preiskav, standardi na področju neporušnih preiskav, načrtovanje in izvajanje preiskav, dokumentiranje rezultatov, interpretacija rezultatov, kritična ocena velikosti napake, arhiviranje dokumentov/zapisov.	methods, Planck's law, passive and active thermography, external sources of sample excitation, testing methods, advantages and disadvantages, thermal cameras. 15. Personnel certification: Training of personnel, certification of personnel, accreditation of non-destructive testing equipment and laboratories and requirements of laboratories for conducting investigations, standards in the field of NDT testing, planning and conducting tests, documenting results, interpreting results, critically assessing the magnitude of flaw, archiving documents/records.
---	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Preizkušanje gradiv, Polde Leskovar, Fakulteta za strojništvo, 1975. 2. Nondestructive Testing For Aircraft, Douglas C. Latia and Dale Crane, lap, 2001 3. Nondestructive Testing Handbook Vol. 1 – Vol. 9, American Society for Nondestructive Testing, 2002. 4. Metals Handbook, Volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control, ASM Int., Ohio, 1989 5. Review of progress in quantitative nondestructive evaluation, ed. D.O. Thompson, D.E. Chimenti – New York; London: Plenum Press, 198 6. Non-destructive Testing and Diagnosis, Handbook, Eds.: V.V. Klyuev, G. Zusman, Russian Society for Non-destructive Testing and Technical Diagnostics, Moscow, Metrix Inst. Co., Houston, 2004.

Cilji in kompetence:

Cilji: 1. Seznanitev z različnimi neporušnimi metodami testiranja letalskih komponent in pripadajočimi fizikalnimi zakonitostmi 2. Pridobitev sposobnosti izbire ustrezne metode neporušnega testiranja glede na vrsto letalskega dela 3. Spoznati se s proceduro za dano metodo testiranja. Kompetence: 1. S1-PAP + S2-PAP+ P9-PAP: Sposobnost uporabe pridobljenega znanja pri izvajanju neporušnih preiskav na področju izdelave ter vzdževanja letal in pridobi sposobnost samostojnega opravljanja aplikativnih inženirskih del ter reševanja posameznih nalog. 2. P1-PAP: Razume fizikalne zakone in pojave, na katerih temelji neporušno preizkušanje materialov. 3. P3-PAP + P8-PAP: Obvlada temeljna strokovna

Objectives and competences:

Objectives: 1. Familiarity with various non-destructive testing methods for aircraft components and associated physical laws 2. Getting the knowledge to choose the appropriate non-destructive testing method according to the type of aircraft component 3. Getting the knowledge of individual test method procedure. Competences: 1. S1-PAP + S2-PAP + P9-PAP: Ability to use the acquired knowledge in conducting non-destructive testing in the field of aircraft manufacturing and maintenance, and to acquire the ability to independently perform applied engineering works and solve individual tasks. 2. P1-PAP: Understands the physical laws and
--

znanja s področja neporušnega preizkušanja materialov in bistvenih komplementarnih ved (kovinska in nekovinska gradiva) ter obvlada osnovna in potrebna specifična znanja v izbrani študijski smeri – letalstvo. 4. P4-PAP: Pozna osnovne merilne instrumente in merilne verige za neporušno preizkušanje materialov.	phenomena of non-destructive testing. 3. P3-PAP + P8-PAP: Master in basic non-destructive testing of materials and essential complementary sciences (metallic and non-metallic materials) and master basic and required specific knowledge in the chosen field of study - aviation. 4. P4-PAP: Knows basic measuring instruments and measuring chains for non-destructive testing of materials.
---	--

Predvideni študijski rezultati:

Znanja: Poglobljeno strokovno, teoretično in praktično znanje na področju neporušnega preizkušanja sestavnih delov letal podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo. Spretnosti: 1. S1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih neporušnih preizkusov materialov. 2. S1.2 Obvladovanje zahtevnih, kompleksnih preizkusov ob samostojni uporabi znanja v novih delovnih situacijah. 3. S1.3 Diagnosticiranje in reševanje problemov na področju vzdrževanja in servisiranja letal, povezanih s področjem neporušnega preizkušanja.	Knowledge: In-depth professional, theoretical and practical knowledge in the field of non-destructive testing of aircraft components supported by a broader theoretical and methodological basis Skills: 1. S1 Executing complex operational-professional tasks that incorporate usage of methodological tools on the area of non-destructive testing. 2. S1.2 Mastering demanding and complex testing techniques by independent usage of knowledge in new working situations. 3. S1.3 Problem diagnostics and solving in non-destructive testing in aircraft production and maintenance.
---	--

Metode poučevanja in učenja:

P1: Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov. P3: Avditorne in laboratorijske vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri. P5: Uporaba študijskega gradiva v obliki: knjige, tiskana verzija predstavitev predavanj. P6: Interaktivna predavanja P7: Študij literature in razprava P8: Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarских nalog P15: Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje Metoda 1	Learning and teaching methods: Conventional teaching methods: 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. P5 Application of study material (textbook, e-book, printed lecture presentations). Contemporary and flexible teaching methods: P6 Interactive lectures. 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:

- Teoretične vsebine (predavanja).	60,00 %	- Theoretical content (lectures).
------------------------------------	---------	-----------------------------------

- Delo na laboratorijskih vajah (vključno s poročili).	40,00 %	- Laboratory work (including reports).

Reference nosilca/Lecturer's references:

Roman Šturm:

1. SAVIN, Adriana, STEIGMANN, Rozina, BRUMA, Alina, **ŠTURM, Roman**. An electromagnetic sensor with a metamaterial lens for nondestructive evaluation of composite materials. *Sensors*, ISSN 1424-8220, 2015, vol. 15, iss. 7, f. 15903-15920.
2. **ŠTURM, Roman**, GRIMBERG, Raimond, SAVIN, Adriana, GRUM, Janez. Destructive and nondestructive evaluations of the effect of moisture absorption on the mechanical properties of polyester-based composites. *Composites.Part B, Engineering*. [Print ed.]. Mar. 2015, vol. 71, str. 10-16
3. BIZILJ, Gregor, **ŠTURM, Roman**, KEK, Tomaž. Zaznavanje napake na letalskem hidravličnem kolektorju z neporušnimi preiskavami. V: GRUM, Janez (ur.), KEK, Tomaž (ur.). Zbornik referatov, 1 slovenska konferenca z mednarodno udeležbo z naslovom Uporaba sodobnih neporušnih preiskovalnih metod v tehniki, Ljubljana, 9. februar 2017. Ljubljana: Slovensko društvo za neporušitvene preiskave: Fakulteta za strojništvo. 2017, str. 89-101.
4. **ŠTURM, Roman**, STEIGMANN, Rozina, BRUMA, Alina, SAVIN, Adriana. Elektromagnetni metamaterialni senzorji za neporušno vrednotenje kompozitnih materialov. V: GRUM, Janez (ur.), KEK, Tomaž (ur.). Zbornik referatov, 13. slovenska konferenca z mednarodno udeležbo z naslovom Uporaba sodobnih neporušnih preiskovalnih metod v tehniki, Ljubljana, 9. februar 2017. Ljubljana: Slovensko društvo za neporušitvene preiskave: Fakulteta za strojništvo. 2017, str. 103-110.
5. **ŠTURM, Roman**, GRUM, Janez, SAVIN, Adriana, STEIGMANN, Rozina. Ultrasound examination of glass reinforced polyester composite. V: Technological forum 2015 : [book of proceedings], 6th International Technical Conference, Kouty, Czech Republic, 23. - 26. 2015. Jaroměř: J. Kudláček. 2015, str. 264-271.

Tomaž Kek:

1. **KEK, Tomaž**, GRUM, Janez. AE signals as laser cutting quality indicators. *Insight*, ISSN 1354-2575. [Print ed.], Mar. 2009, vol. 51, no. 3, str. 124-128.
2. **KEK, Tomaž**, KUSIĆ, Dragan, FINC, Matej, GRUM, Janez. Detection of damaged tool in injection molding process with acoustic emission. *Research in nondestructive evaluation*, ISSN 0934-9847, 2016, vol. 27, nr. 2, str. 86-99.
3. KUSIĆ, Dragan, **KEK, Tomaž**, SLABE, Janez Marko, SVEČKO, Rajko, GRUM, Janez. The impact of process parameters on test specimen deviations and their correlation with AE signals captured during the injection moulding cycle. *Polymer testing*, ISSN 0142-9418. [Print ed.], May 2013, vol. 32, iss. 3, str. 583-59
4. FINC, Matej, **KEK, Tomaž**, GRUM, Janez. Quality control of crimped joint contacts with conductors through thermography. *Insight*, ISSN 1354-2575. [Print ed.], May 2015, vol. 57, no. 5, str. 257-265.
5. **KEK, Tomaž**, GRUM, Janez. Laser cutting and acoustic emission signals. *Journal of acoustic emission*, ISSN 0730-0050, 2008, vol. 26, no. 1, str. 199-207.