

# TEHNIŠKA AKUSTIKA

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

**Predmet:** Tehniška akustika

**Course title:** TECHNICAL ACOUSTICS

**Članica nosilka/UL Member:** UL FS

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

**Univerzitetna koda predmeta/University course code:** 0566862

**Koda učne enote na članici/UL Member course code:** 6007-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:** Jurij Prezelj

**Izvajalci predavanj:**

**Izvajalci seminarjev:**

**Izvajalci vaj:**

**Izvajalci kliničnih vaj:**

**Izvajalci drugih oblik:**

**Izvajalci praktičnega usposabljanja:**

**Vrsta predmeta/Course** Obvezni strokovni predmet na smeri Energetsko

**type:**

strojništvo, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Energy 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. UVOD

- Definicije zvoka v zraku, Infrazvok, Ultrazvok, Zvok v kapljevinah, Akustična emisija
- Izpeljava hitrosti širjenja motnje po plinu, kapljevini in trdnem telesu
- Longitudinalno in transferzalno valovanje
- Izpeljava 1D valovne enačbe. Pretvorba 1D valovne enačbe v sferične koordinate
- Nadgradnja v 3D valovno enačbo
- Analitične rešitve valovne enačbe
- Numerično reševanje valovne enačbe z metodo končnih diferenc

2. FIZIKALNO-MATEMATIČNO OZADJE ZVOČNEGA VALOVANJA

- Definicija akustične impedance in analogija z električno in mehansko impedanco
- Izpeljava povezave med zvočnim tlakom in hitrostjo gibanja delcev ter pomikom delcev, pri zvočnem valovanju z ravno valovno fronto
- Izpeljava enačb stoječega valovanja, in predstavitev metode za merjenje impedance absorpcijskih materialov v impedančni cevi

1. INTRODUCTION

- Definitions of airborne sound, Infrasound, Ultrasound, Sound in liquids, Acoustic emission
- Derivation of a disturbance propagation velocity through gas, liquid and solid
- Longitudinal and transversal wave propagation
- Derivation of the 1D wave equation
- Upgrade to 3D Wave Equation
- Adaptation of the 3D wave equation to spherical coordinates
- Analytical solutions of the wave equation
- Numerical solution of the wave equation by the finite-difference method

2. PHYSICAL and MATHEMATICAL BACKGROUND OF SOUND WAVES

- Definition of acoustic impedance and analogy with electrical and mechanical impedance
- Derivation of a correlation between sound pressure, particle velocity and particle displacement, for plane wave propagation for gas and liquid
- Derivation of standing wave equations, and its application in the

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izpeljava povezave med hitrostjo gibanja delcev in zvočnim tlakom v sferičnih koordinatah teoretično točkovnega zvočnega vira</li> <li>• Izpeljava impedance za daljno, bližnje in zelo bližnje zvočno polje vibroakustičnega zvočnega vira.</li> </ul> <p>3. ULTRAZVOK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultrazvočni aktuatorji in senzorji</li> <li>• Prenosna funkcija piezoelektričnih aktuatorjev</li> <li>• Vpliv oblike sonotrode na razmerje med amplitudo hitrosti vrha sonde in amplitudo njenega pomika.</li> <li>• Q faktor ultrazvočne sonotrode in sevalna usmerjenost sonotrode</li> <li>• Nelinearnost ultrazvočnega polja in ultrazvočna kavitacija</li> <li>• Primeri uporabe ultrazvoka v strojništvu (Zaznavanje puščanja plinov in komprimiranega zraka, ultrazvočna defektoskopija, merjenje pretokov, merjenje gostote medija, meritve razdalj, ultrazvočna levitacija,...)</li> <li>• Osnove ultrazvočnih preiskav v medicini</li> </ul> <p>4. AKUSTIČNA EMISIJA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opis izvorov akustične emisije (AE) na makroskopski ravni (Formiranje in rast razpok, plastična deformacija, ločevanje vključkov)</li> <li>• Opis izvorov AE na mikroskopski ravni (Potovanje dislokacij, združevanje kristalnih rešetak in porušitve vezi v kristalnih rešetkah)</li> <li>• Fenomenološka analiza tipičnih signalov AE</li> <li>• Zaznavanje lokacije izbruhov AE</li> <li>• Opis delovanja resonančnega senzorja za AE in širokopasovnega senzorja za AE.</li> <li>• Metode vrednotenja izmerjenih signalov AE</li> </ul> <p>5. KONVOLUCIJA V AKUSTIKI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akustični odziv mehanskega sistema na vzbujanje z vibracijami</li> <li>• Uporaba FIR filtra kot prenosne funkcije v časovni domeni</li> <li>• Meritve prenosnih funkcij vibracij v zvok na osnovi adaptivnih FIR filtrov v časovni domeni.</li> </ul>	<p>methodology for measuring the impedance of sound absorbent materials in an impedance tube</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivation of a correlation between the particle velocity and the sound pressure in the spherical coordinates of a theoretical point sound source</li> <li>• Derivation of impedance for far, near and very near sound field around a point sound source.</li> </ul> <p>3. ULTRASOUND</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultrasonic actuators and sensors</li> <li>• Transfer function of piezoelectric actuators</li> <li>• Influence of sonotrode shape on the ratio between the tip of the probe velocity and its displacement.</li> <li>• Q factor of ultrasonic sonotrode and radiation orientation of sonotrode</li> <li>• Nonlinearity of high intensity ultrasound pressure field and ultrasonic cavitation</li> <li>• Applications of ultrasound in mechanical engineering (Gas and Compressed air leak detection, ultrasonic defectoscopy, flow measurement, density measurement, distance measurements, ultrasonic levitation, ...)</li> <li>• Basics of ultrasound examination in medicine</li> </ul> <p>4. ACOUSTIC EMISSION</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Description of of acoustic emission (AE) sources at the macroscopic level (Formation and growth of cracks, plastic deformation, separation of inclusions)</li> <li>• Description of AE sources at the microscopic level (Dislocation travel, aggregation of crystal lattices, and bond breaking in crystal lattices)</li> <li>• Phenomenological analysis of typical AE signals</li> <li>• Detecting the location of AE outbreaks</li> <li>• Description of the resonant AE sensor and the broadband AE sensor.</li> <li>• Methods for evaluating the measured AE signals</li> </ul> <p>5. CONVOLUTION IN ACOUSTICS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acoustic response of the mechanical system to vibration excitation</li> </ul>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayleighov integral v časovni in v frekvenčni domeni.</li> <li>• Meritve impulznega odziva prostorov za oceno njegove odmevnosti T60, na osnovi adaptivnih FIR filtrov.</li> <li>• Uporaba konvolucije za auralizacijo</li> </ul> <p>6. ZVOČNA INTENZIVNOST IN MOČ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Izpeljava enačbe za zvočno intenzivnost ki temelji na gradientu tlaka med dvema točkama.</li> <li>• Povezava med ravno zvočne moči in ravno zvočnega tlaka v prostem zvočnem polju in v difuznem zvočnem polju.</li> <li>• Odmevni čas.</li> <li>• Povezava med ravno zvočne moči in ravno zvočnega tlaka v poljubnem prostoru v odvisnosti od odmevnega časa.</li> </ul> <p>7. MERITVE ZVOČNE MOČI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• z referenčno metodo v prostem zvočnem polju oziroma v gluhi sobi,</li> <li>• z metodo difuznega zvočnega polja,</li> <li>• z metodo v cevi.</li> <li>• Vpliv hrupa ozadja na rezultate meritev</li> <li>• Metode zmanjševanja njegovega vpliva in povečevanje razmerja signal/šum</li> </ul> <p>8. MERITVE ZVOČNE MOČI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• z zvočno intenzivnostjo</li> <li>• s primerjalno metodo na osnovi referenčnega vira</li> <li>• z metodo merjenje vibracij</li> <li>• z inženirsko metodo v realni akustični okolici</li> <li>• meritve zvočne moči velikih industrijskih postrojenj.</li> </ul> <p>9. KOEFICIENT ABSORPCIJE MATERIALOV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opis mehanizmov absorpcije zvočnega valovanja; disipacija zvočne E zaradi trenja na mikrovlaknih, disipacija zvočne E na porah poroznih materialov po metodi Helmholtzevega resonatorja</li> <li>• Meritve absorpcije v difuznem zvočnem polju</li> <li>• Meritve absorpcije v impedančni cevi z metodo SWR in z metodo prenosne funkcije</li> <li>• Meritve z metodo impulznega odziva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use of FIR filter as transfer function in time domain</li> <li>• Measurements of transfer functions from vibrations to sound, in the time domain, based on an adaptive FIR filters.</li> <li>• Rayleigh integral in time and frequency domain.</li> <li>• Impulse response measurements of closed spaces, based on adaptive FIR filter, to evaluate reverberation time T60</li> <li>• Use of convolution for auralization</li> </ul> <p>6. SOUND INTENSITY and POWER</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivation of sound intensity equation based on the pressure gradient between two points, applicable in sound intensity probe</li> <li>• Relationship between sound power level and sound pressure level in the free field and in the diffuse sound field.</li> <li>• Reverberation time T60</li> <li>• Relationship between sound power level and sound pressure level in any closed space depending on the reverberation time T60.</li> </ul> <p>7. MEASUREMENTS OF SOUND POWER</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reference method in an anechoic chamber and/or in an essentially free field</li> <li>• In diffuse sound field (reverberation room)</li> <li>• In anechoic duct with large horn</li> <li>• Influence of background noise on results</li> <li>• Methods for minimizing background noise and improvement of signal to noise ratio</li> </ul> <p>8. MEASUREMENTS OF SOUND POWER</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• With sound intensity</li> <li>• By a comparative method based on the reference source</li> <li>• By vibration measurement method</li> <li>• By engineering method in real acoustic environment</li> <li>• Sound power measurements of large industrial plants.</li> </ul> <p>9. SOUND ABSORPTION COEFFICIENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Description of sound absorption mechanisms</li> <li>• Dissipation of sound E due to friction</li> </ul>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meritve v zelo bližnjem polju dipolnega zvočnega vira</li> </ul> <p>10. MERITVE ZVOČNE IZOLIRNOSTI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definicija zvočne izolirnosti pred zvokom v zraku in pred udarnim zvokom</li> <li>• Opis standardnih postopkov meritev zvočne izolirnosti med prostori</li> <li>• Meritve zvočne izolirnosti fasadnih elementov</li> <li>• Vrednotenje rezultatov meritev zvočne izolirnosti z eno-številčnimi vrednostmi</li> <li>• Slovenska zakonodaja s področja hrupa v varovanih prostorih</li> <li>• Vodila pri izdelavi elaborata in izkaza zaščite pred hrupom v stavbah</li> </ul> <p>11. OSNOVE PSIHOAKUSTIKE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zvočna kvaliteta strojev naprav in procesov.</li> <li>• Metode koreliranja subjektivnih akustičnih ocenjevanj z merljivimi značilkami na osnovi multiple linearne regresije in nevronske mreže.</li> <li>• Psihoakustične veličine; (Glasnost, Fluktuacija, Grobost, Tonalnost, Ostrina in Donenje)</li> <li>• Prikaz priznanih indeksov za ocenjevanje akustične kvalitete različnih strojev in naprav, ki temeljijo na psihoakustičnih veličinah:</li> <li>• AVL indeks (zunanja zvočna kvaliteta vozila),</li> <li>• ACVI (Acoustic Comfort Vehicle Index)</li> <li>• NA (Noise Annoyance index)</li> <li>• WMNA (Washing Machine Noise Annoyance)</li> </ul> <p>12. ZNAČILKE VIBROAKUSTIČNIH SIGNALOV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uporaba značilk za namen prepoznavne zvočnih dogodkov in njihove avtomatske klasifikacije na osnovi algoritmov strojnega učenja</li> <li>• Pomen izbire dolžine časovnega okna za luščenje značilke (stacionarnost signala)</li> <li>• Oktavno/terčni spekter, težišče spektra, deviacija spektra, naklon spektra, oblika spektra, spektrogram</li> <li>• Crest faktor, Število ničlišč, Kurtosis. Skewness..</li> </ul>	<p>on microfibers and due to resonance in pores of porous material</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorption measurements in a diffused sound field</li> <li>• Absorption measurements in an impedance tube, using the SWR method and the transfer function method</li> <li>• Absorption measurements using the impulse response method (Adrienne method)</li> <li>• Absorption measurements in a very near field of a dipole sound source</li> </ul> <p>10. MEASUREMENTS OF SOUND INSULATION</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition of sound insulation of partitions against airborne noise and impact noise</li> <li>• Description of standard procedures for measuring sound insulation between rooms</li> <li>• Measurements of sound insulation of facade elements</li> <li>• Valuation of sound insulation of partitions with one-digit values, based on measurements results</li> <li>• Slovenian legislation on indoor noise</li> <li>• Guidelines for the preparation of a noise protection study in buildings</li> </ul> <p>11. BASICS OF PSYCHOACOUSTICS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sound quality of machines, devices and processes.</li> <li>• Methods for correlating subjective acoustic assessments with measurable signal features, based on multiple linear regression and neural networks</li> <li>• Psychoacoustic features; (Loudness, Fluctuation, Roughness, Tonality, Sharpness and Booming)</li> <li>• Display of internationally accepted noise indices for assessing the acoustic quality of various machines and devices based on psychoacoustic features:</li> <li>• AVL index (external sound quality of the vehicle),</li> <li>• ACVI (Acoustic Comfort Vehicle Index)</li> <li>• NA (Noise Annoyance index)</li> <li>• WMNA (Washing Machine Noise Annoyance)</li> </ul> <p>12. SIGNAL FEATURES OF VIBROACOUSTIC SIGNALS</p>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulzivnost v vibroakustičnih signalih</li> <li>• Psihoakustične veličine kot značilke</li> </ul> <p>13. KLASIFIKACIJA ZVOČNIH DOGODKOV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klasifikacijski algoritem k-NN</li> <li>• Klasifikacijski algoritem podpornih vektorjev SVM</li> <li>• Samo-klasifikacijske Nevronske mreže</li> <li>• Uporaba klasifikacije zvočnih dogodkov pri nadzoru delovanja strojev naprav in procesov</li> <li>• Končna kontrola izdelkov</li> <li>• Avtomatizacija meritev hrupa v okolju</li> </ul> <p>14. HRUP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• V naravnem in življenjskem okolju</li> <li>• Mednarodni standardi meritev hrupa v okolju</li> <li>• Slovenska zakonodaja s področja hrupa v okolju</li> <li>• Na delovnem mestu</li> <li>• Mednarodni standardi meritev hrupa na delovnem mestu</li> <li>• Slovenska zakonodaja s področja varstva delavcev pred hrupom</li> </ul> <p>15. MODELIRANJE V AKUSTIKI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modeliranje zvočnih polj z metodo končnih elementov</li> <li>• Modeliranje širjenja hrupa po naravnem in življenjskem okolju</li> <li>• Modeliranje emisije hrupa cestnega prometa</li> <li>• Modeliranje aerodinamičnega hrupa z uporabo metode CFD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use of sound signal features for the purpose of recognizing sound events and automatic classification based on machine learning algorithms</li> <li>• The significance of integration time for feature extraction (stationarity of the signals)</li> <li>• Octave and 1/3 octave spectrum, center of gravity of spectrum, deviation of spectrum, slope of spectrum, shape of spectrum, spectrogram</li> <li>• Crest factor, Zero crossing, Kurtosis. Skewness ..</li> <li>• Impulsivity in vibroacoustic signals</li> <li>• Psychoacoustic features as sound features for classification algorithms</li> </ul> <p>13. CLASSIFICATION OF SOUND EVENTS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The k-NN classification algorithm</li> <li>• SVM - Support Vector Classification Algorithm</li> <li>• Self-Classification Neural Networks</li> <li>• Use of sound events in combination with classification algorithms for monitoring the operation of machines, devices and processes</li> <li>• Application for the quality control at the end of a production line</li> <li>• Automation of environmental noise measurements</li> </ul> <p>14. NOISE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In natural and living environment</li> <li>• International standards for environmental noise measurements</li> <li>• Slovenian legislation on environmental noise</li> <li>• Noise in working environment and at a workplace</li> <li>• International standards for measurement of noise in industrial premises and at workplace</li> <li>• Slovenian legislation on protection of workers against excessive noise levels</li> </ul> <p>15. MODELING IN ACOUSTICS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modeling of sound pressure fields by finite element method</li> <li>• Modeling of noise propagation in natural and living environment</li> <li>• Modeling of road traffic noise emission</li> <li>• Modeling of aerodynamic noise using</li> </ul>
--	---

	the CFD method
--	----------------

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. C. J. Malcom, Handbook of noise and vibration control, New Jersey, USA : John Wiley & Sons, cop. 2007, [COBISS.SI-ID [10213659](#)]
2. A. Belšak, J. Prezelj, Vibracije in Zvok v vzdrževanju, Univerzitetni učbenik Univerze v Mariboru, 2013, [COBISS.SI-ID [74667777](#)]
3. M. Čudina, Tehniška Akustika: merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij, Fakulteta za strojništvo, Univerze v Ljubljani, 2014, [COBISS.SI-ID [271188736](#)]

### Cilji in kompetence:

### Objectives and competences:

<p>Cilji:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usposobiti študente z znanji in sposobnostmi ki omogočajo izdelavo fizikalno-matematičnih modelov za popis akustičnih pojavov.</li> <li>2. Seznaniti študente z naborom aktualnih metod v akustiki, ki so namenjene spremljanju procesov in monitoringu delovanja strojev in naprav.</li> <li>3. Študentom podati znanja, ki so potrebna za izvajanje merilnih metod v akustiki, ki omogočajo ponovljive in obnovljive rezultate, s sledljivostjo do SI enot.</li> <li>4. V študentih vzbuditi občutek ki je potreben za razumevanje percepcije hrupa in subjektivnega vrednotenja zvočnih dogodkov, ob tem pa jih seznaniti z metodami objektivnega vrednotenja zvočnih dogodkov, oziroma akustične kvalitete procesov, strojev naprav in prostorov.</li> <li>5. Ustrezna znanja s področja obdelave signalov in umetne itelligence za implementacijo metod prepoznave zvočnih dogodkov in njihove klasifikacije.</li> </ol> <p>Kompetence:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S1-MAG: Sposobnost za opredelitev, razumevanje temeljnih</li> </ol>	<p>Goals:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. To provide students with the knowledge and skills enabling them to create physical-mathematical models for the inventory of acoustic phenomena</li> <li>2. To familiarise students with a range of current methods in acoustics used to monitor processes and monitor the operation of machinery and devices.</li> <li>3. To provide students with the knowledge necessary to perform acoustic measurement methods that provide reproducible and repeatable results with traceability to SI units.</li> <li>4. To give students the feeling necessary to understand the perception of noise and the subjective evaluation of sound events and at the same time to familiarise them with methods for the objective evaluation of sound events or the acoustic quality of processes, machines and equipment.</li> <li>5. To provide adequate knowledge of signal processing and artificial intelligence in order to implement methods for the recognition of sound events and their</li> </ol>
--	--

znanstvenih problemov in ustvarjalno reševanje strokovnih izzivov.

2. S2-MAG: Širitev sposobnosti kritičnega, analitičnega in sintetičnega mišljenja. Razvijanje novega znanja in razumevanja področja. Razvijanje višjih kognitivnih veščin, povezanih z ustvarjanjem novega znanja.
3. S5-MAG: Sposobnost strokovnega sporazumevanja in pisnega izražanja tudi v mednarodnem prostoru.
4. S7-MAG: Usposobljenost za uporabo pridobljenih znanj pri samostojnem reševanju tehničnih problemov v strojništvu.
5. S10-MAG: Sposobnost uporabe sodobnih raziskovalnih metod in postopkov. Zmožnost raziskovanja in prenašanja spoznanj v prakso.
6. P1-MAG: Sposobnost za nadgrajevanje in uporabo temeljnih strojniških znanj ter njihovo razvojno-tehniško implementacijo.
7. P2-MAG: Obvladovanje temeljnih teoretičnih kakor tudi aplikativnih znanj, ki so bistvena za obvladovanje tehničnega področja strojništva.
8. P3-MAG: Široka usposobljenost na področju strojništva, ki omogoča nadaljevanje študija na doktorskem študijskem programu.
9. P4-MAG: Sposobnost fizikalnega, matematičnega in numeričnega modeliranja problemov z razvito sposobnostjo kritične analize rezultatov.
10. P6-MAG: Sposobnost samostojnega izvajanja zahtevnih raziskovalnih, razvojnih, inženirskih in strokovno organizacijskih dela ter sposobnost kreativnega reševanja posameznih nalog na področju strojništva.

classification.

Competences:

1. S1-MAG: The ability to define and understand fundamental scientific problems and to creatively deal with professional challenges.
2. S2-MAG: Improved capability of critical, analytical and synthetical thinking. Development of new knowledge and comprehension of the professional field. Development of higher cognitive skills, related to the creation of new knowledge.
3. S5-MAG: The ability to do professional communication and express oneself in writing, also internationally.
4. S7-MAG: The qualification to use the attained knowledge to autonomously solve technical problems in mechanical engineering.
5. S-10-MAG: The ability to use modern research methods and procedures. Capacity to research and transfer the findings into practice.
6. P1-MAG: The ability to upgrade and use the fundamental mechanical engineering knowledge, including the developmental-technical implementation thereof.
7. P2-MAG: Using the fundamental theoretical and applied knowledge, crucial for having command of technical field of mechanical engineering.
8. P3-MAG: A broad qualification in the field of mechanical engineering as a prerequisite for continuing the study on the doctoral study program.
9. P4-MAG: The ability for physical, mathematical and numerical modelling of problems, including a developed ability to critically analyse the results.
10. P6-MAG: The ability to autonomously perform demanding research, developmental, engineering and professionally-



organisational work, the ability to creatively solve individual tasks in the field of mechanical engineering.

### **Predvideni študijski rezultati:**

#### **Znanja:**

Poglobljeno strokovno teoretično in praktično znanje s področja akustike, podprto s širšo teoretično in metodološko osnovo, ki posamezniku omogoča samostojni razvoj fizikalno-matematičnih modelov akustičnih pojavov, računalniškega modeliranja, digitalne obdelave signalov in implementacije metod umetne inteligence za prepoznavo in klasifikacijo zvočnih dogodkov.

- Znanja za izdelavo fizikalno-matematičnih modelov namenjenih opisu akustičnih pojavov.
- Znanja in razgledanost o naboru aktualnih metod v akustiki, ki so namenjene spremljanju procesov in monitoringu delovanja strojev in naprav.
- Znanja, ki so potrebna za izvajanje merilnih metod v akustiki, katerih rezultati zahtevajo sledljivostjo do SI enot.
- Znanja in občutek ki je potreben za razumevanje percepcije hrupa in subjektivnega vrenotenja zvočnih dogodkov, ob tem pa jih seznaniti z metodami objektivnega vrednotenja zvočnih dogodkov, oziroma akustične kvalitete procesov, strojev naprav in prostorov.
- Znanja s področja digitalne obdelave signalov in umetne iteligence za implementacijo metod prepoznave zvočnih dogodkov in njihove klasifikacije.

#### **Spretnosti:**

1. S1.1 Izvajanje kompleksnih operativno-strokovnih opravil, ki vključujejo tudi uporabo metodoloških orodij, ki temeljijo na iskanju povezave med

### **Intended learning outcomes:**

#### **Knowledge:**

Profound theoretical and practical knowledge in the field of acoustics, supported by a broad theoretical and methodological basis, enabling the individual to independently develop physical and/or mathematical models of acoustic phenomena, computer models, digital signal processing and the implementation of artificial intelligence methods for the recognition and classification of sound events.

- Knowledge to create physical and/or mathematical models to describe acoustic phenomena.
- Knowledge and insight into a range of current acoustic methods for monitoring variety of processes and monitoring the performance of machinery and equipment.
- Knowledge to develop measurement procedures in acoustics whose results require traceability to SI units.
- Knowledge and feeling necessary to understand the perception of noise and subjective evaluation of sound events and to familiarize them with methods for objective evaluation of sound events or the acoustic quality of processes, machines and equipment.
- Knowledge of digital signal processing and artificial intelligence for the implementation of methods for the recognition and classification of sound events.

#### **Skills:**

1. S1.1: Performing complex operational and professional tasks, including the use of methodological tools based on the search for a

eksperimentalnimi rezultati meritev vibroakustičnih veličin in teoretičnimi osnovami. 2. S1.2 Obvladovanje zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov ob samostojni uporabi znanja v novih delovnih situacijah. 3. S1.3 Diagnosticiranje in reševanje problemov v različnih specifičnih delovnih okoljih	correlation between the experimental results of vibroacoustic quantities and analytical or numerical results. 2. S1.2: Mastering complex, multilayered work processes with the independent application of knowledge in new situations. 3. S1.3: Diagnosing and solving problems in different specific working environments
---	--

### **Metode poučevanja in učenja:**

### **Learning and teaching methods:**

1. P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih teoretičnih in praktično uporabnih primerov. 2. P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki. 3. P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki: 3.1 Impedančna cev za prikaz stoječega zvočnega polja in za razlago povezave med zvočnim tlakom in hitrostjo delcev. 3.2 Gluha soba za prikaz prostega zvočnega polja in kot orodje za izvajanje meritev 3.3 Alfa komora (mala odmevnica) kot standardiziran prostor za simulacije zvočnih polj realnih virov hrupa. 3.4 Mikrofonska antena s 16 kanalnim AD pretvornikom za prikaz širjenja valovanja in opis metod izdelave akustičnih slik. 3.5 Uparjena mikrofona kot osnova za meritve zvočne intenzivnosti 3.6 Merilniki hrupa kot osnovno orodje za merjenje ravni in spektrov hrupa. 3.7 Aeroakustični kanal za prikaz nastanka aerodinamičnega hrupa in metodologija kvantifikacije aeroakustičnega monopola, dipola in kvadropola. 3.8 Osebni računalniki z naloženo programsko opremo i-noise za modeliranje širjenja hrupa po naravnem in življenjskem okolju. 3.9 Merilni sistem za Adriane Metodo	1. P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases. 2. P2 Presenting the content according to the explained system. 3. P4 Laboratory exercises for experimental work with special- purpose didactic devices 3. 1 An impedance tube for demonstration of a standing sound field and for explaining the relationship between sound pressure and particle velocity. 3.2. Anechoic chamber to display free sound field and as a measurement tool 3.3 Alpha chamber (small reverberation room) as a standardized room for simulating the sound fields of real noise sources. 3.4 Microphone array with 16 channel AD converter for demonstrating wave propagation and describing DSP methods for acoustic imaging. 3.5. Paired microphone for sound intensity probe measurements 3.6. Noise Level Meters as a basic tool for measuring noise levels and spectra. 3.7. Aeroacoustic duct for aerodynamic noise generation and quantification methodology for aeroacoustic monopole, dipole and quadrupole. 3.8 Personal computers with application i-Noise to model the propagation of noise in the natural and
--	--

namenjen prikazu impulznik odzivov in določanju koeficienta absorpcije večjim panelom.

3.10 Umirjevalna komora za merjenje zvočne moči radialnim puhalom, za prikaz vpliva delovne točke na emitiran hrup puhala in meritve zvočne moči.

3.11 Cev z zvočno trobljo za merjenje zvočne moči aksialnih ventilatorjev, za prikaz vpliva delovne točke na emitiran hrup aksialnega ventilatorja in meritve zvočne moči.

3.12 Sistem za kavitacijo na radialni črpalki, za predstavitev uporabnosti zvoka za prikaz uporabnosti zvoka za monitoring delovanja strojev in naprav.

3.13 Referenčni omnidirekionalni zvočni vir in kalibriran vir udarnega hrupa, za praktično izvajanje merjenj zvočne izolativnosti v gradbeni akustiki.

3.14 Ultrazvočni pretočni kanal z opazovalnim oknom, za prikaz delovanja ultrazvoka in vpliva kavitacije na erozijo površine.

3.15 Referenčni zvočni vir s kalibrirano zvočno močjo sledljivo do SI enot za merjenje zvočne moči s primerjalno metodo

4. P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki:

- Skripta s predavanj v obliki interaktivnih prosojnic.
- Predloge za pripravo na vsako vajo posebej
- Navajanje aktualnih povezav na javno dostopna predavanja iz tematik akustike, ki so objavljenja na internetu.

5. P7 Študij literature in razprava

6. P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog

7. P10 Uporaba anket v realnem času

8. P14 Virtualni eksperimenti

9. P15 Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje

living environment.

3.9. Measuring system for Adriane Method for impulse response and sound absorption coefficient measurement on larger panels.

3.10 Radial blower stabilization chamber for the measurement of sound power by radial blowers, to show the effect of the operating point on the blower noise emitted and sound power measurements.

3.11 Anechoic duct with absorption horn for measuring the sound power of axial fans, for indicating the effect of the operating point on the emitted noise of the axial fan and for measuring sound power.

3.12 Radial pump cavitation system for demonstrating the applicability of sound for monitoring the operation of machinery and equipment.

3.13. Reference omnidirectional sound source and calibrated impact noise source for practical measurement of sound insulation in building acoustics.

3.14. Ultrasonic flow channel with observation window, to show the operation of ultrasound and the effect of cavitation on surface erosion.

3.15. Reference sound source with calibrated sound power, traceable to SI units used for comparative method.

4. P5 Application of study material (description needs to be added, max. one line per material, e.g. textbook, e-book, printed lecture presentations, etc.).

5. P7 Literature study and discussion.

6. P8 Making and presenting applied seminar exercises.

7. P10 Application of questionnaires in real time.

8. P14 Virtual experiments.

9. P15 Application of videos for preparations to the lectures and exercises.

**Načini ocenjevanja:****Delež/  
Weight****Assessment:**

Teoretične vsebine	40,00 %	Theoretical conten
Samostojno delo na vajah	20,00 %	Reporting on experiments
Poročanje rezultatov meritev iz vaj	20,00 %	Reporting on experiments
Seminar z vsebinami iz vaj	20,00 %	Seminar with content from laboratory exercises

**Ocenjevalna lestvica:****Grading system:**

--	--

**Reference nosilca/Lecturer's references:****Jurij Prezelj:**

1. **PREZELJ, Jurij**, ČUROVIĆ, Luka, NOVAKOVIĆ, Tadej, MUROVEC, Jure. A novel approach to localization of environmental noise sources : sub-windowing for time domain beamforming. Applied acoustics. [Print ed.]. Jun. **2022**, vol. 195, str. 1-12, ilustr. ISSN 0003-682X.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X22002109>,  
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=137204>, DOI: 10.1016/j.apacoust.2022.108836. [COBISS.SI-ID [110548739](#)]
2. **PREZELJ, Jurij**, MUROVEC, Jure, HUEMER-KALS, Severin, HÄSLER, Karl, FISCHER, Peter. Identification of different manifestations of nonlinear stick-slip phenomena during creep groan braking noise by using the unsupervised learning algorithms k-means and self-organizing map. Mechanical systems and signal processing. Mar. **2022**, vol. 166, str. 1-17, ilustr. ISSN 0888-3270.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327021007056>,  
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=130987>, DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.108349. [COBISS.SI-ID [77015299](#)]
3. ŽELEZNIK, Anže, MUROVEC, Jure, ČUROVIĆ, Luka, CERKOVNIK, Nejc, **PREZELJ, Jurij**. Transmission loss measurement of recycled granular material using wave decomposition by impulse response extraction based on deconvolution. Applied acoustics. [Print ed.]. Aug. **2023**, vol. 211, str. 1-10, ilustr. ISSN 0003-682X.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X23002967>,  
<https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=149724>, DOI: 10.1016/j.apacoust.202109498. [COBISS.SI-ID [163841027](#)]
4. ČUROVIĆ, Luka, MUROVEC, Jure, NOVAKOVIĆ, Tadej, PRISLAN, Rok, **PREZELJ, Jurij**. Stockwell transform for estimating decay time at low frequencies. Journal of sound and vibration. [Print ed.]. Feb. **2021**, vol. 493, str. 1-15, ilustr. ISSN 0022-460X.  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X20306775?](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X20306775?dgcid=coauthor)  
[dgcid=coauthor](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X20306775?dgcid=coauthor), DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115849. [COBISS.SI-ID [40009475](#)]

5. **PREZELJ, Jurij**, ŠTEBLAJ, Peter, ČUDINA, Mirko. Sound pressure around dipole source above porous surface. The Journal of the Acoustical Society of America. **2014**, vol. 135, iss. 6, str. 338-343, ilustr. ISSN 0001-4966. DOI: 10.1121/1.4879668. [COBISS.SI-ID [13491995](#)]