

# PROCESI V TOPLOTNIH MOTORJIH

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	Procesi v toplotnih motorjih
<b>Course title:</b>	Processes in heat engines
<b>Članica nosilka/UL Member:</b>	UL FS

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

<b>Univerzitetna koda predmeta/University course code:</b>	0566857
<b>Koda učne enote na članici/UL Member course code:</b>	6005-M

<b>Predavanja /Lectures</b>	<b>Seminar /Seminar</b>	<b>Vaje /Tutorials</b>	<b>Klinične vaje /Clinical tutorials</b>	<b>Druge oblike študija /Other forms of study</b>	<b>Samostojno delo /Individual student work</b>	<b>ECTS</b>
30		30			65	5

<b>Nosilec predmeta/Lecturer:</b>	Tomaž Katrašnik
-----------------------------------	-----------------

<b>Izvajalci predavanj:</b>	
<b>Izvajalci seminarjev:</b>	
<b>Izvajalci vaj:</b>	
<b>Izvajalci kliničnih vaj:</b>	
<b>Izvajalci drugih oblik:</b>	
<b>Izvajalci praktičnega usposabljanja:</b>	

<b>Vrsta predmeta/Course</b>	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. Predavanje:
  - sistematizacija toplotnih motorjev z ozirom na različne kriterije in značilnosti toplotnih motorjev;
  - raba energije in izpusti onesnažil toplotnih motorjev;
  - energijske pretvorbe v toplotnih motorjih;
  - tehnološke smernice in zahteve razvoja toplotnih motorjev.
2. Predavanje:
  - definicija in analiza procesov v realnih toplotnih motorjih;
  - lastnosti realnega delovnega medija.
3. Predavanje:
  - teoretični procesi v toplotnih motorjih (določitev izkoristka, delovne sposobnosti) in njihova primerjava s procesi v realnih toplotnih motorjih;
  - metode za izboljšanje izkoristka motorjev.

Batni motorji z notranjim zgorevanjem (MNZ):
4. Predavanje:
  - zasnove batnih MNZ in njihove značilnosti;
  - kinematika bata in uravnoteženje prostih sil in navorov.
5. Predavanje: Motorji s prisilnim vžigom (Ottovi motorji):

1. Lecture:
  - Classification of heat engines with respect to their type and characteristics,
  - Use of energy and emissions of heat engines,
  - Energy conversion paths in heat engines,
  - Technology guidelines and R&D requirements of heat engines.
2. Lecture:
  - Definition and analysis of processes in real engines,
  - Properties of real working media.
3. Lecture:
  - Theoretical processes in heat engines (evaluation of efficiency and indicated mean effective pressure) and their interrelation to processes in real heat engines,
  - Methods for increasing efficiency of heat engines.

Piston internal combustion engines:
4. Lecture:
  - Types and designs of piston ICEs and their characteristics,
  - Kinematics of the piston motion in piston engines and balancing free forces and moments.
5. Lecture: Spark ignition (SI) engines (Otto engines)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• zasnova in komponente;</li> <li>• značilnosti in delovanje sistemov za dobavo in vbrizgavanje goriva;</li> <li>• potek sproščanja toplote v valju;</li> <li>• samovžig zmesi;</li> <li>• pristopi modeliranja procesov.</li> </ul> <p>6. Predavanje: Motorji s samovžigom (dizelski motorji):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zasnova in komponente;</li> <li>• značilnosti in delovanje sistemov za dobavo in vbrizgavanje goriva;</li> <li>• potek sproščanja toplote v valju;</li> <li>• pristopi modeliranja procesov.</li> </ul> <p>7. Predavanje: Motorji z naprednimi procesi zgorevanja (LTC, CAI...):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zasnova in komponente;</li> <li>• značilnosti in delovanje sistemov za dobavo in vbrizgavanje goriva;</li> <li>• potek sproščanja toplote v valju;</li> <li>• pristopi modeliranja procesov</li> </ul> <p>8. Predavanje: Pristopi za zmanjševanje izpustov onesnažil v batnih MNZ (dušikovi oksidi, ogljikov monoksid, nezgoreli ogljikovodiki, delci).</p> <p>9. Predavanje: Sistemi in naprave za naknadno obdelavo izpušnih plinov batnih MNZ (TWC, DOC, SCR, LNT, DPF, GPF).</p> <p>10. Predavanje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• izmenjava delovnega medija;</li> <li>• mehanske izgube in sistemi mazanja v batnih MNZ;</li> <li>• termoregulacija batnih MNZ.</li> </ul> <p>11. Predavanje</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zmogljivosti batnih MNZ;</li> <li>• prisilno polnjenje batnih MNZ (valovna dinamika, mehansko prisilno polnjenje).</li> </ul> <p>12. Predavanje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prisilno polnjenje batnih MNZ (prisilno polnjenje s turbopolnilnikom, kombinacije metod za prisilno polnjenje);</li> <li>• sistemsko modeliranje batnih MNZ.</li> </ul> <p>Turbinski motorji:</p> <p>13. Predavanje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• procesi v turbinskih motorjih;</li> <li>• - deli turbinskih motorjev in njihove značilnosti (dovodnik, kompresor).</li> </ul> <p>14. Predavanje:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design and components,</li> <li>• Characteristics and working principles of fuel supply and injection systems,</li> <li>• Rate of heat release,</li> <li>• Self-ignition and knocking,</li> <li>• Modelling approaches.</li> </ul> <p>6. Lecture: Compression ignition (CI) engines (Diesel engines)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design and components,</li> <li>• Characteristics and working principles of fuel supply and injection systems,</li> <li>• Rate of heat release,</li> <li>• Modelling approaches.</li> </ul> <p>7. Lecture: Engines with advanced combustion concepts (LTC, CAI...)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design and components,</li> <li>• Characteristics and working principles of fuel supply and injection systems,</li> <li>• Rate of heat release,</li> <li>• Modelling approaches.</li> </ul> <p>8. Lecture: Methods and approaches for reducing pollutant emissions in piston ICEs (nitrogen oxides, carbon monoxide, unburned hydrocarbons, particles).</p> <p>9. Lecture: Exhaust after-treatment systems and devices in piston ICEs (TWC, DOC, SCR, LNT, DPF, GPF).</p> <p>10. Lecture:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exchange of the working media,</li> <li>• Mechanical losses and lubrication systems in piston ICEs,</li> <li>• Thermoregulation of piston ICEs.</li> </ul> <p>11. Lecture:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Performance characteristics of piston ICEs,</li> <li>• Supercharging of piston ICEs (wave dynamics, mechanical supercharging).</li> </ul> <p>12. Lecture:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Supercharging of piston ICEs (turbocharging, combined charging),</li> <li>• System level modelling of ICEs.</li> </ul> <p>Turbine engines:</p> <p>13. Lecture:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processes in turbine engines,</li> <li>• Components of turbine engines and their characteristics (engine inlet and diffuser, compressor).</li> </ul>
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>• deli turbinskih motorjev in njihove značilnosti (zgorevalna komora, turbina, izpušna šoba);</li> <li>• delovanje turbinskih motorjev in njihove zmogljivosti;</li> <li>• izpusti onesnažil turbinskih motorjev.</li> </ul> <p>Refleksija in sinteza:</p> <p>15. Predavanje: Toplotni motorji prihodnosti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• refleksija in povezovanje vsebin;</li> <li>• analiza najustrežnejših izvedenk toplotnih motorjev;</li> <li>• viharjenje na temo učinkovitejših okolju prijaznejših toplotnih motorjev prihodnosti</li> </ul>	<p>14. Lecture:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Components of turbine engines and their characteristics (combustion chamber, turbine, nozzle),</li> <li>• Operating principles of turbine engines and their performance characteristics,</li> <li>• Pollutant emissions of turbine engines.</li> </ul> <p>Reflection and synthesis:</p> <p>15. Lecture: Heat engines of the future</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reflection and integration of content,</li> <li>• Analysis of most suitable designs of heat engines,</li> <li>• Brainstorming on the subject of highly efficient and environmentally friendly heat engines.</li> </ul>
--	---

### Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Heywood, J.B.: Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill, N.York,1988,ISBN 0-07-028637-X, [COBISS.SI-ID [14910720](#)]
2. Pavletič, R.: Motorji z notranjim zgorevanjem, UL, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2000, ISBN 961-6238-41-8, [COBISS.SI-ID [107660544](#)]
3. Taylor, C.F.: The Internal combustion engine in theory and practice, Vol.1 - thermodynamics, fluid flow, performance, The MIT Pres, Massachusetts, 1986, ISBN 0-262-20051-1, [COBISS.SI-ID [646171](#)]

### Cilji in kompetence:

### Objectives and competences:

<p>Cilji:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Razumeti teoretične osnove in metode vrednotenja procesov v toplotnih motorjih</li> <li>2. Spoznati interakcije in soodvisnosti procesov v toplotnih motorjih</li> <li>3. Spoznati različne zasnove batnih motorjev z notranjim zgorevanjem in razumeti njihove značilnosti in prednosti</li> <li>4. Spoznati pristope za zmanjševanje izpustov onesnažil in sisteme in naprave za naknadno obdelavo izpušnih plinov v batnih motorjev z notranjim zgorevanjem</li> <li>5. Spoznati in razumeti delovanje različnih različne metod za prisilno batnih motorjev z notranjim</li> </ol>	<p>Objectives:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Understand the theoretical foundations and characterisation methods of processes in heat engines</li> <li>2. To know and to understand interactions in interdependencies of processes in heat engines</li> <li>3. To know different designs of heat engines and to understand their characteristics and advantages</li> <li>4. Understand approaches for reduction of pollutant emissions and exhaust gas after-treatment devices in piston internal combustion engines</li> <li>5. To know and to understand working principles of different</li> </ol>
---	---

<p>zgorevanjem</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Spoznati komponente in procese v turbinskih motorjih z notranjim zgorevanjem</li> <li>7. Razumeti pristope za modeliranje procesov v toplotnih motorjih in znati uporabljati ustrezna napredna simulacijska orodja</li> <li>8. Razumeti in znati aplicirati metode za zvišanje izkoristka in povišanje delovne sposobnosti toplotnih motorjev</li> <li>9. Razumeti pristope za razvoj naprednih-okolju prijaznejših toplotnih motorjev</li> </ol> <p>Kompetence:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S2-MAG, P2-MAG: Obvladovanje temeljnih teoretičnih in aplikativnih znanj na področju procesov v toplotnih motorjih.</li> <li>2. S8-MAG: Sposobnost kritične presoje in snovanja toplotnih motorjev z ozirom na namen uporabe, zmogljivosti in mejne vrednosti izpustov onesnažil.</li> <li>3. P2-MAG: Sposobnost razumevanja interakcije in soodvisnosti procesov v toplotnih motorjih.</li> <li>4. P4-MAG: Sposobnost fizikalnega, matematičnega in numeričnega modeliranja procesov v toplotnih motorjih.</li> </ol>	<p>supercharging methods of internal combustion engines</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. To know components and processes in turbine engines</li> <li>7. Understand modelling approaches for simulating processes in heat engines and to know selecting adequate modelling tools</li> <li>8. To understand and to be skilled to apply methods for increasing power and efficiency of heat engines</li> <li>9. Understand approaches for development of advanced-environmentally friendly heat engines</li> </ol> <p>Competencies:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. S2-MAG, P2-MAG: Using the fundamental theoretical and applied knowledge in the field of processes in heat engines</li> <li>2. S8-MAG: The ability to critically evaluate and design heat engines with respect to the intended use, performances and limiting values of pollutant emissions</li> <li>3. P2-MAG: Mastering understanding of interactions in interdependencies of processes in heat engines</li> <li>4. P4-MAG: The ability for physical, mathematical and numerical modelling of processes in heat engines</li> </ol>
--	--

### **Predvideni študijski rezultati:**

### **Intended learning outcomes:**

<p>Znanja:</p> <p>Z1: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje z elementi raziskovanja, ki je osnova za zelo zahtevno znanstveno in strokovno delo na področju razvoja, snovanja in diagnostike toplotnih motorjev.</p> <p>Spretnosti:</p> <p>S1.1: Sposobnost vrednotenja in optimiranja procesov v toplotnih motorjih z ozirom na zvišanje izkoristka in znižanje izpustov</p>	<p>Z1: In-depth theoretical, methodological and analytical knowledge with elements of research, which is the basis for scientific and professional work in the development, design and diagnostics of heat engines.</p> <p>Skills:</p> <p>S1.1: Ability to evaluate and optimize processes in heat engines in terms of maximizing the efficiency and reducing pollutant emissions.</p>
--	--

<p>onesnažil.</p> <p>S1.2: Samostojna uporaba pridobljenega znanja pri analizi, snovanju in diagnostiki toplotnih motorjev.</p> <p>S1.3: Sposobnost snovanja okolju prijaznejših toplotnih motorjev na osnovi inovativnih geometrijskih in procesnih pristopov.</p> <p>S1.4: Sposobnost nadaljnjega, samostojnega študija.</p>	<p>S1.2: Independent use of acquired knowledge in the analysis, design and diagnostics of processes in heat engines.</p> <p>S1.3: Ability to design environmentally friendly heat engines based on innovative geometrical and process driven methods.</p> <p>S1.4: Ability of independent self-driven education and research.</p>
--	---

### **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>P2: Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki.</p> <p>P3: Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepí z računskimi primeri.</p> <p>P4: Laboratorijske vaje.</p> <p>P5: Uporaba študijskega gradiva v obliki (e-verzija predstavitev predavanj).</p> <p>P8: Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog.</p> <p>P10: Uporaba anket v realnem času.</p> <p>P14: Virtualni eksperimenti.</p> <p>P15: Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje.</p>	<p>P1: Classroom lectures with inclusion of solving selected typical and practical examples.</p> <p>P2: Presenting of the learning content in an orderly and pre-interpreted systematics</p> <p>P3: Tutorials where theoretical knowledge of lectures is supported by computational examples.</p> <p>P4: Laboratory work.</p> <p>P5: Use of study materials in format (e-version of lecture presentation).</p> <p>P8: Design and presentation of applied seminar work</p> <p>P10: Use of real-time surveys</p> <p>P14: Virtual Experiments</p> <p>P15: Using video content to prepare for lectures and exercises</p>
---	--

### **Načini ocenjevanja:**

### **Delež/ Weight**

### **Assessment:**

Teoretične vsebine (predavanja)	50,00 %	Theory (lectures)
Samostojno delo na vajah	50,00 %	Practical coursework

### **Ocenjevalna lestvica:**

### **Grading system:**

--	--

## Reference nosilca/Lecturer's references:

### Tomaž Katrašnik:

1. KATRAŠNIK, Tomaž. Innovative 0D transient momentum based spray model for real-time simulations of CI engines. *Energy*, ISSN 0360-5442. [Print ed.], Oct. 2016, vol. 112, str. 494-508, [COBISS.SI-ID [14780955](#)]
2. KRAVOS, Andraž, SELJAK, Tine, RODMAN OPREŠNIK, Samuel, KATRAŠNIK, Tomaž. Operational stability of a spark ignition engine fuelled by low H<sub>2</sub> content synthesis gas: Thermodynamic analysis of combustion and pollutants formation. *Fuel*, Feb 2020, vol. 261, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116457> [COBISS.SI-ID [16879643](#)].
3. VIHAR, Rok, ŽVAR BAŠKOVIČ, Urban, KATRAŠNIK, Tomaž. Real time capable virtual NO<sub>x</sub> sensor for diesel engines based on a two-zone thermodynamic model. *Oil & gas science and technology*, ISSN 1953-8189, Apr. 2018, vol. 73, f. 1-17. [COBISS.SI-ID [16019995](#)]
4. JEŽEK, Irena, KATRAŠNIK, Tomaž, WESTERDAHL, Dane, MOČNIK, Griša. Black carbon, particle number concentration and nitrogen oxide emission factors of random in-use vehicles measured with the on-road chasing method. *Atmospheric chemistry and physics*, ISSN 1680-7316, Oct. 2015, vol. 15, iss. 19, str. 11011-11026. [COBISS.SI-ID [14228507](#)]
5. KATRAŠNIK, Tomaž. Method for simulation of an internal combustion engine : EP2949908 (B1), 2016-07-06. München: Europäisches Patentamt, 2016. 23 f. [COBISS.SI-ID [14407707](#)]