ENERGETSKI SISTEMI

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Energetski sistemi
Course title:	ENERGY CONVERSION SYSTEMS
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	**Študijska smer**	**Letnik**	**Semestri**	**Izbirnost**
Strojništvo - Razvojno raziskovalni program, druga stopnja, magistrski (od študijskega leta 2024/2025 dalje)	Energetsko strojništvo (smer)	1. letnik	1. semester	obvezni

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0566852
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	6003-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:	Mihael Sekavčnik, Mitja Mori

Izvajalci predavanj:	
Izvajalci seminarjev:	
Izvajalci vaj:	
Izvajalci kliničnih vaj:	
Izvajalci drugih oblik:	
Izvajalci praktičnega usposabljanja:	

Vrsta predmeta/Course type:	Obvezni strokovni predmet na smeri Energetsko 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: Uvod: 1. Energetika kot družbeno ekonomski podsistem; 2. Energetski sistemi in širša (globalni, regionalni in lokalni) energetska omrežja; 3. Energetski sistemi med primarnimi viri energije in porabniki – odjemalci; 4. Obseg potreb po energijskih tokovih v številkah. 2. Predavanje: Energetski sistemi in sektorska sklopitev: 1. Povezovanje sektorjev energetike, transporta, kemijske in procesne industrije; 2. Optimizacija energetske infrastrukture; 3. Stroškovna analiza; 4. Primeri dobrih praks z izračunanimi cenilkami. 3. Predavanje: Desni krožni procesi v realnih sistemih: 1. Izračun realnih krožnih procesov; 2. Carnotizacija krožnih procesov,	1. Introduction 1. Energetics as socio-economyc subsystem 2. Energy conversion systems and wider (global, regional and local) energy grids 3. Energy system between energy sources and energy consumers 4. Energy flow demand volume in numbers 2. Energy systems and sector coupling 1. Interconnection of sectors: energy supply, transport, chemical and process industry 2. Optimisation of energy infrastructure 3. Cost analysis 4. Examples of good practise with calculation of indicators 3. Right thermodynamic cycles in real systems 1. Calculation of mass and heat balances in real thermodynamic cycles 2. Carnotization of real

srednja temperature dovoda in odvoda toplote, termični izkoristek;
3. Optimizacija.

4. Predavanje: Klasične tremoelektrarne:
   1. Parni krožni process;
   2. Tehnološka shema, masne in energijske bilance posameznih strojev in naprav;
   3. Kemična priprava vode in razplinjanje;
   4. Okoljski vidiki.
5. Predavanje: Parni krožni procesi z organsko delovno snovjo:
   1. Primerjava med vodo in ogljikovodiki kot delovno snovjo;
   2. Nizkotemperaturni viri toplote;
   3. Tehnološka shema, masne in energijske bilance posameznih strojev in naprav;
   4. Okoljski vidiki.
6. Predavanje: Jedrske elektrarne:
   1. Jedrske reakcije, radioaktivni izotopi, radioaktivni razpad - sevanja, razpolovna doba, kritična masa;
   2. Jedrsko gorivo in tehnologija izdelave gorivnih elementov;
   3. Osnove delovanja termičnih reaktorjev in kontrola kritičnosti;
   4. Zaustavitev jedrske reakcije in odvod zaostale toplote;
   5. Tipi termičnih jedrskih reaktorjev;
   6. Tehnološke sheme, masne in energijske bilance posameznih strojev in naprav, primerjava s klasičnimi termoelektrarnami;
   7. Osnove jedrske varnosti;
   8. Jedrski odpadki in okoljski vidiki.
7. Predavanje: Plinske elektrarne:
   1. Plinski krožni proces, delovni mediji (zrak, dimni plini, helij);
   2. Tehnološke sheme, masne in energijske bilance posameznih strojev in naprav, primerjava s klasičnimi termoelektrarnami;
   3. Termodinamska optimizacija

thermodynamic cycles, mean temperature of heat inupt/output, thermal efficiency
3. Thermodynamic optimization

4. Conventional thermal powerplants
   1. Steam turbine power plant
   2. Plant diagram, mass and energy balances of system elements (machines and appliances)
   3. Chemical treatment of system water and degasification
   4. Environmental issues
5. Organic Rankine Cycles
   1. Comparison of water and hydrofluorocarbons (HFCs) as working fluid
   2. Low-temperature heat sources
   3. ORC plant diagrams, mass and energy bilances of system elements (machines and appliances)
   4. Environmental issues
6. Nuclear power plants
   1. Nuclear reactions, radio-isotopes, radioactive decay – radiation, half-life, critical mass
   2. Nuclear fuel and production technology of fuel elements
   3. Basics of operation of thermal nuclear reactors and reactor criticality control
   4. Shutdown of nuclear reactor and decay heat removal
   5. Types of nuclear reactors
   6. Plant diagrams, mass and energy balances of system elements (machines and appliances), comparison with conventional fosil-fuel power plants.
   7. Basics of nuclear safety
   8. Nuclear waste and environmenta issues
7. Gas turbine power plants
   1. Gas turbine cycle, working fluid (air, flue gases, helium etc.)
   2. Plant diagrams, mass and energy bilances of system elements (machines and appliances) comparison with steam turbine power plants

plinskega krožnega procesa;
4. Hlajenje termično najbolj obremenjenih delov postroja;
5. Glavni sestavni deli.

8. Predavanje: Kombinirani krožni procesi:
   1. Temperaturni nivoji dovoda in odvoda toplote v posamezih krožnih procesih;
   2. Plinsko-parni krožni proces;
   3. Plinski krožni proces z uparjalnikom vode;
   4. Parno-plinski krožni proces;
   5. Utilizator, eno- in večtlačni;
   6. Tehnološke sheme, masne in energijske bilance posameznih strojev in naprav;
   7. Okoljski vidiki.
9. Predavanje: Sistemi hidroelektrarne:
   1. Hidrologija rečnih sistemov, diagrami pretokov in izračun projektnih podatkov za dimenzioniranje posameznih komponent energetskega sistema;
   2. Pretočne, zajezne in črpalnoakumulacijske elektrarne;
   3. Vodne elektrarne v verigi;
   4. Okoljski vidiki.
10. Predavanje: Vključevanje razpršenih virov energije v energetski sistem - sončne elektrarne v energetskem omrežju:
    1. Zajem podatkov za dimenzioniranje komponent sistema, izbira tehnološke rešitve;
    2. Tehnološke sheme, masne in energijske bilance posameznih strojev in naprav;
    3. Okoljski vidiki.
11. Predavanje: Vključevanje razpršenih virov energije v energetski sistem – vetrne elektrarne v energetskem sistemu:
    1. Pridobivanje podatkov o meteoroloških pogojih, izbira tehnološke rešitve;
    2. Diagrami energijskih tokov

3. Thermodynamic optimisation of gas turbine cycle
4. Cooling of thermally loaded parts of gas turbine
5. Components of gas turbine

8. Combined gas and steam turbine power plants
   1. Temperature levels of heat input and output of different thermodynamic cycles
   2. Gas cycle with heat recovery steal generator (HRSG)
   3. Gas and steam turbine cycle
   4. Single- and multi pressure HRSG
   5. Plant diagrams, mass and energy bilances of system elements (machines and appliances)
   6. Environmental issues
9. Hydro power plants
   1. Hydrology of river systems, diagram of flow-rate and calculation of design data for component sizing of energy system
   2. Flow-, dam and pumped storage hydro power plant
   3. Hydro power plant in a chain of power plants
   4. Environmental issues
10. Integration of distributed energy sources into energy system – solar power plants in energy system
    1. Data acquisition for planning, designing and determing of system layout and component characteristics
    2. Plant diagram, mass and energy balances of system elements (machines and appliances)
    3. Environmental issues
11. Integration of distributed energy sources into energy system – wind turbines in energy system
    1. Data acquisition of meteorological condition and determing of technological solution
    2. Energy flow diagrams for individual power generators and

posameznih generatorjev in polja vetrnih elektrarn;
3. Periferna infrastuktura;
4. Okoljski vidiki;
5. Sistemi za izrabo energije morja: notranja energija, morski tokovi, bibavica, valovanje gladine;
6. Energija biomase;
7. Jedrska fuzija.

12. Predavanje: Sočasna proizvodnja toplote in električne energije:
    1. Termodinamične zakonitosti: energijska in eksergijska bilanca toplarne, toplarniško število, grelno število, toplarniški in elektrarniški izkoristek, prihranek primarne energije;
    2. Primerjava z ločeno proizvodnjo toplote in električne moči;
    3. Potrebna infrastruktura;
    4. Časovna, energijska razpoložljivost in stroškovna učinkovitost;
    5. Tehnologije SPTE: motorji z notranjim zgorevanjem, plinske in kombinirane elektrarne, parne turbine, mikro turbine, gorivne celice.
13. Predavanje: Vodikove tehnologije:
    1. Tehnologije pridobivanja vodika: elektroliza, parni reforming CxHy, termoliza, stranski kemijski procesi;
    2. Tehnologije shranjevanja in transporta vodika;
    3. Uporaba v gorivnih celicah.
14. Predavanje: Sistemi za shranjevanje energije, tehnologije ‚shranjevanja' mehanskega dela:
    1. Vztrajniki;
    2. Črpalno-akumulacijske vodne elektrarne;
    3. Črpalno-akumulacijske plinske elektrarne;
    4. Elektrokemični hranilniki energije.
15. Predavanje: Virtualne elektrarne in pametna energetska omrežja:
    1. Izravnava energijskih tokov;
    2. Sistem trgovanja z energijskimi

whole field of windmills
3. Peripherical infrastructure
4. Environmental issues
5. Energy conversion systems for use of oceal energy: internal calorific energy, ocean streams, tidal energy, vave energy
6. Energy of biomass
7. Nuclear fusion

12. Combined heat and power production (CHP)
    1. Thermodynamic laws: energy and exergy balance of CHP plant, Heat-to-Power ratio, heating ratio, CHP- and power-plant-efficiency, savings of primary fuel
    2. Comparison of CHP with separate heat production (SHP)
    3. Additional infrastructure needed
    4. Time- and energy related availability and cost efficiency
    5. CHP technologies: internal combustion engines, gas and combined power plants, steam turbine plants, micro turbine plants, fuel cell systems
13. Hydrogen technologies
    1. Technologies of hydrogen production: electrolysis, steam reforming of CxHy, thermolysis, chemical processes by-products
    2. Hydrogen storage and transport
    3. Use of hydrogen in fuel cells
14. Energy storage systems
    1. Technologies for 'storage' of mechanical (electrical) work: fly-wheels, hydro pumped power plants, compressed air energy storage, electrochemical energy storage
15. Virtual power plants and smart grids
    1. Energy flow balancing
    2. Energy flow trading
    3. Demand side management
    4. Prosumers

tokovi; 3. Aktivni odjemalci; 4. Prodjemalci (prosumerji).	

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Tuma M., Sekavčnik M.: Energetski sistemi, preskrba z električno energijo in toploto, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2004, [COBISS.SI-ID 128026880]
2. Jeffs, Eric J.: Generating power at high efficiency : combined-cycle technology for sustainable energy production, Cambridge, CRC Press, 2008, [COBISS.SI-ID 1024001628]
3. [2] R. Bachmann, H. Nielsen, J. Warner, R. Kehlhofer: Combined - Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants, Penn Well, 1999, [COBISS.SI-ID 5046299]
4. [2] L. Drbal, K. Westra, P. Boston: Power Plant Engineering, Champman & Hall, 1996 [COBISS.SI-ID 2077974]
5. [3] J. Larminie, A. Dicks: Fuel Cell Systems Explained, John Willey & Sons, 20013, [COBISS.SI-ID 4471323]
6. Keyhani, Ali: Design of smart power grid renewable energy systems, Hoboken : Wiley, cop. 2011, [COBISS.SI-ID 35281157]

Cilji in kompetence:	**Objectives and competences:**
Cilji: 1. Uporabiti in povezati temeljna in uporabna znanja s področja energetike za popis energijskih in masnih tokov v kompleksnih energetskih sistemih 2. Izvajanje metod za termodinamsko optimizacijo toplotnih krožnih procesov in analiza nepovračljivosti v verigi energijskih pretvorb. 3. Uporabiti in razvijati nova znanja za načrtovanje ustreznih/vzdržnih tehnoloških rešitev pri sodobni oskrbi z električno energijo in toploto 4. Ovrednotiti širše vidike transformacije energetske oskrbe. Kompetence: 1. Sposobnost povezovanja interdisciplinarnih znanj različnih področij strojništva (energijske pretvorbe, infrastruktura, okoljske presoje…)(S1-MAG + S7-MAG + S10-MAG + P1-MAG + P2-MAG + P3-MAG)	Objectives: 1. Use and integration of basic and applied energy knowledge to model energy and mass flows in complex energy systems 2. Implementation of methods for thermodynamic optimization of thermodynamic cycles and analysis of system irreversibilities within the energy conversion chain. 3. Use and development of new knowledge to design appropriate/sustainable technological solutions for modern power and heat supply 4. Evaluation of broader aspects of energy supply transformation. Competences: 1. Ability to integrate interdisciplinary knowledge of various fields of mechanical engineering (energy conversion, infrastructure, environmental assessment ...) (S1-MAG + S7-MAG + S10-MAG + P1-MAG + P2-MAG + P3-MAG)

2. Sposobnost načrtovanja in celostne presoje energetskih sistemov za oskrbo z električno energijo in toploto (S7-MAG + S10-MAG + P2-MAG + P4-MAG) 3. Sposobnost modeliranja in celostnega vrednotenja sodobnih energetskih rešitev, ki temeljijo na izrabi razpršenih OVE in pametnih omrežjih (S1-MAG + S7-MAG + S9-MAG S10-MAG + P1-MAG + P2-MAG + P3-MAG + P6-MAG + P7-MAG	2. Ability to design and holistically evaluate energy conversion systems for power and heat supply (S7-MAG + S10-MAG + P2-MAG + P4-MAG) 3. Ability to model and holistically evaluate modern energy solutions based on the use of distributed RES and smart grids (S1-MAG + S7-MAG + S9-MAG S10-MAG + P1-MAG + P2-MAG + P3-MAG + P6-MAG + P7-MAG)

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. Spretnosti: S2.1 Obvladovanje zelo zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov in metodoloških orodij na specializiranih področjih. S2.2 Načrtovanje in vodenje delovnega procesa na podlagi ustvarjalnega reševanja problemov, povezanih s področjem izobraževanja in usposabljanja. S2.3 Sposobnost izvirnih dognanj/stvaritev in kritične refleksije.	Knowledge: Z2: Thorough theoretical, methodological and analyitical knowledge with elements of a research work that form a basis for very demanding professional work Skills: S2.1 Mastering very demending and complex work processes and methodological tools in specialised professional fileds. S2.2 Planning and managing of the working process on the basis of creative solving of problems that are linked to the teaching and training content. S2.3 Ability of unique innovations and critical reflections.

Metode poučevanja in učenja:	**Learning and teaching methods:**
Klasične oblike poučevanja: P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov. P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki. P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično	**Conventional teaching methods:** P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases. P2 Presenting the content according to the explained system. P3 Auditorial exrecises, in which theoretical content from the lectures is

znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri. P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki: namenski programski paketi za modeliranje in simulacije energetskih sistemov. P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki univerzitetnega učbenika, tiskane in e- verzija predstavitve predavanj. **Moderne in prožne oblike poučevanja:** P7 Študij literature in razprava P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog P9 Skupinsko delo: strukturirana diskusija, projektno delo. P12 Individualizirane domače naloge v spletni učilnici P14 Virtualni eksperimenti P15 Uporaba video vsebin kot priprava na predavanja in vaje	supplemented with practical examples. P4 Laboratory exercises with special-purpose didactic devices: use of dedicated software for modelling and simulation of energy systems. P5 Application of study material university textbook, printed and e-version of lecture presentaions. **Contemporary and flexible teaching methods:** P7 Literature study and discussion. P8 Making and presenting applied seminar exercises. P9 Team work: structured discussion, project work. P12 Individualised homeworkes in a web classroom. P14 Virtual experiments. P15 Application of videos for preparations to the lectures and exercises.

Načini ocenjevanja:	**Delež/ Weight**	**Assessment:**
Teoretične vsebine (predavanja).	50,00 %	Theoretical contents (lectures).
Teoretične vsebine in računski primeri (vaje).	50,00 %	Theory and examples (coursework).

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:

Mihael Sekavčnik:

1. MORI, Mitja, GUTIÉRREZ, Manuel, SEKAVČNIK, Mihael, DROBNIČ, Boštjan. Modelling and environmental assessment of a stand-alone micro-grid system in a mountain hut using renewables. Energies. 2022, vol. 15, iss. 1, str. 1-21, ilustr. ISSN 1996-1073. https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/202, https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=136776, DOI: 10.3390/en15010202. [COBISS.SI-ID 91685379]

2. LACKO, Rok, DROBNIČ, Boštjan, SEKAVČNIK, Mihael, MORI, Mitja. Hydrogen energy system with renewables for isolated households : The optimal system design, numerical analysis and experimental evaluation. Energy and buildings. [Print ed.]. Sep. 2014, vol. 80, str. 106-113, ilustr. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.04.009. [COBISS.SI-ID 13429787]
3. LACKO, Rok, DROBNIČ, Boštjan, MORI, Mitja, SEKAVČNIK, Mihael, VIDMAR, Marjan. Stand-alone renewable combined heat and power system with hydrogen technologies for household application. Energy. [Print ed.]. Dec. 2014, vol. 77, str. 164-170, ilustr. ISSN 0360-544 DOI: 10.1016/j.energy.2014.05.110. [COBISS.SI-ID 13637147]
4. LOTRIČ, Andrej, SEKAVČNIK, Mihael, HOČEVAR, Stanko. Effectiveness of heat-integrated methanol steam reformer and polymer electrolyte membrane fuel cell stack systems for portable applications. Journal of power sources. Dec. 2014, vol. 270, str. 166-182, ilustr. ISSN 0378-775 DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.07.072. [COBISS.SI-ID 13635611]
5. DROBNIČ, Boštjan, PIRC, Andrej, MORI, Mitja, SEKAVČNIK, Mihael. A novel approach to the regulation of a self-sufficient energy system using a system-state matrix. International journal of electrical power & energy systems. [Print ed.]. Dec. 2013, vol. 53, str. 893-899, ilustr. ISSN 0142-0615. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.06.010. [COBISS.SI-ID 12988187]

Mitja Mori:

1. **MORI, Mitja,** ŽVAR BAŠKOVIČ, Urban, STROPNIK, Rok, LOTRIČ, Andrej, KATRAŠNIK, Tomaž, ŠIPEC, Robert, LIPAR, Jakob, LESAR, Žiga, DROBNIČ, Boštjan. Green energy hubs for the military that can also support the civilian mobility sector with green hydrogen. International journal of hydrogen energy. [Online ed.]. 2023, vol. 48, str. 39138-39153, ilustr. ISSN 1879-3487. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319923022541, https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=152286, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.05.026. [COBISS.SI-ID 153773315]
2. **MORI, Mitja**, GUTIÉRREZ, Manuel, SEKAVČNIK, Mihael, DROBNIČ, Boštjan. Modelling and environmental assessment of a stand-alone micro-grid system in a mountain hut using renewables. Energies. 2022, vol. 15, iss. 1, str. 1-21, ilustr. ISSN 1996-1073. https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/202, https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=136776, DOI: 10.3390/en15010202. [COBISS.SI-ID 91685379]
3. **MORI, Mitja**, GUTIÉRREZ, Manuel, CASERO, Pedro. Micro-grid design and life-cycle assessment of a mountain hut's stand-alone energy system with hydrogen used for seasonal storage. International journal of hydrogen energy. [Print ed.]. Aug. 2021, vol. 46, iss. 57, str. 29706-29723, ilustr. ISSN 0360-3199. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920344013, https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=138450, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.11.155. [COBISS.SI-ID 41896707]
4. **MORI, Mitja**, DROBNIČ, Boštjan, JURJEVČIČ, Boštjan, NOVAK, Lovrenc. Numerical modeling of heat transfer and flow phenomena in an axial rotating rotor cascade. Numerical heat transfer. Part A, Applications. [Print ed.]. 2015, vol. 67, iss. 10, str. 1053-1074, ilustr. ISSN 1040-7782. DOI:

10.1080/10407782.2014.955355. [COBISS.SI-ID 13861403]
5. LACKO, Rok, DROBNIČ, Boštjan, SEKAVČNIK, Mihael, **MORI, Mitja**. Hydrogen energy system with renewables for isolated households : The optimal system design, numerical analysis and experimental evaluation. Energy and buildings. [Print ed.]. Sep. 2014, vol. 80, str. 106-113, ilustr. ISSN 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.04.009. [COBISS.SI-ID 13429787]