UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Hladilna tehnika in toplotne črpalke - MAG
Course title:	Refrigeration and heat pumps - MAG
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

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

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0566921
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	6019-M

Predavanja	Seminar	Vaje	Klinične vaje	Druge oblike študija	Samostojno delo	ECTS
30		30			65	5

Nosilec predmeta/Lecturer:	Andrej Kitanovski
Vrsta predmeta/Course type:	Obvezni strokovni predmet na smeri Procesno strojništvo, ki je izbirni strokovni predmet na ostalih smereh./Compulsory specialised course in the study of Process 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, zgodovinski pregled, osnovne definicije 2. Termodinamika osnovnih hladilnih krožnih procesov	1. Introduction, historical overview, basic definitions 2. Thermodynamics of basic refrigeration cycles

- Osnovne definicije
- Krožni procesi glede na vrsto hladiva
- Večstopenjski in kaskadni sistemi hlajenja
- Hladilno število
- Grelno število in Letno grelno število
- Eksergijski izkoristek hladilnih naprav in toplotnih črpalk

3. Parno-kompresijsko hlajenje in toplotne črpalke 1
   - Vrste parno-kompresijskih hladilnih naprav in toplotnih črpalk
   - Termodinamika parno-kompresijskih hladilnih procesov
   - Hladiva, vrste in lastnosti hladiv, vplivi na okolje, vplivi na učinkovitost delovanja naprav
4. Parno-kompresijsko hlajenje in toplotne črpalke2
   - Osnovne komponente parno-kompresijskih naprav
   - Dodatne komponente in posebnosti
   - Preračun posamezne komponente
5. Parno-kompresijsko hlajenje in toplotne črpalke3
   - ukrepi za izboljšave energijske učinkovitosti
   - ukrepi za izboljšave okoljske sprejemljivosti
   - Zasnova, modeliranje, analiza in dimenzioniranje parno-kompresijskih naprav
6. Absorpcijsko hlajenje in toplotne črpalke1
   - Vrste absorpcijskih hladilnih naprav in toplotnih črpalk
   - Termodinamika absorpcijskih hladilnih procesov
   - Hladiva, vrste in lastnosti hladiv, vplivi na okolje, vplivi na učinkovitost delovanja naprav
7. Absorpcijsko hlajenje in toplotne črpalke2
   - Osnovne komponente absorpcijskih hladilnih naprav
   - Modeliranje, analiza in dimenzioniranje absorpcijskih hladilnih naprav
8. Adsorpcijsko hlajenje in toplotne črpalke
   - Vrste adsorpcijskih hladilnih naprav in toplotnih črpalk
   - Termodinamika adsorpcijskih hladilnih procesov
   - Hladiva, vrste in lastnosti hladiv, vplivi na okolje, vplivi na učinkovitost delovanja naprav
   - Osnovne komponente adsorpcijskih hladilnih naprav
   - Analiza in dimenzioniranje adsorpcijskih hladilnih naprav
9. Hladilni procesi s plini 1
   - Predstavitev in termodinamika plinskih hladilnih procesov
   - Klasični Braytonov plinski hladilni proces, delovanje in komponente
   - Stirling in termoakustični hladilni proces, delovanje in komponente
   - Joule-Thomsonov hladilni proces, delovanje in

- Basic definitions
- Thermodynamic cycles and refrigerants
- Multiple-stage and cascade refrigeration systems
- The coefficient of performance for refrigeration
- The coefficient of performance for heating and seasonal performance
- Exergy efficiency of refrigeration and heat pump devices

3. Vapor-compression refrigeration and heat pumping 1
   - Types of vapor-compression refrigeration and heat pump devices
   - Refrigerants, properties, environmental aspects, performance of refrigeration devices
4. Vapor-compression refrigeration and heat pumping 2
   - Basic parts of vapor-compression systems
   - Other components and their characteristics
   - Dimensioning of components
5. Vapor-compression refrigeration and heat pumping 3
   - Measures for improved energy efficiency
   - Measures for reduction of environmental impacts
   - Concepts, modelling, analysis, and dimensioning of vapor-compression devices
6. Absorption refrigeration and heat pumping
   - Types of absorption refrigeration and heat pump devices
   - Thermodynamics of absorption refrigeration systems
   - Refrigerants, properties, environmental aspects, performance of refrigeration devices
7. Absorption refrigeration and heat pumping
   - Basic parts of absorption refrigeration systems
   - Modeling analysis and dimensioning of absorption refrigeration devices
8. Adsorption refrigeration and heat pumping
   - Types of adsorption refrigeration and heat pump devices
   - Thermodynamics of adsorption refrigeration
   - Refrigerants, properties, environmental aspects, performance of refrigeration devices
   - Basic parts of adsorption refrigeration devices
   - Analysis and dimensioning of adsorption refrigeration devices
9. Gas refrigeration cycles 1
   - Inroduction and thermodynamics of gas refrigeration cycles
   - Classical Brayton gas refrigeration cycle, operation characteristics and components of the system
   - Stirling and thermoacoustic refrigeration cycle,

komponente

10. Hladilni procesi s plini 2
    - Modeliranje, analiza in dimenzioniranje klasičnih plinskih hladilnih naprav
    - Modeliranje, analiza in dimenzioniranje Stirlingove hladilne naprave
    - Modeliranje, analiza in dimenzioniranje Joule-Thomsonove hladilne naprave
11. Hladilni procesi s plini 3
    - Vrtinčna cev
    - Pulzna cev
    - Ostali plinski procesi
    - Analiza in dimenzioniranje plinskih hladilnih naprav s pulzno in vrtično cevjo
12. Hlajenje in črpanje toplote na področju fizike trdne snovi 1
    - Peltier hladilne naprave in toplotne črpalke,
    - Materiali
    - Načrtovanje, modeliranje, analiza in dimenzioniranje Peltier hladilnih naprav
13. Hlajenje in črpanje toplote na področju fizike trdne snovi 2
    - Magnetno hlajenje in toplotne črpalke
    - Elektrokalorično hlajenje
    - Termo-elastično hlajenje
    - Analiza in dimenzioniranje kaloričnih hladilnih naprav
14. Aplikacije hlajenja
    - Hlajenje in zamrzovanje hrane
    - Industrijsko hlajenje
    - Hlajenje v blagovnicah
    - Hlajenje pri transportu
    - Elektronika
    - Nizke temperature
    - Vojaške in vesoljske tehnologije
    - Medicina in ostale posebne aplikacije
15. Aplikacije toplotnih črpalk
    - Ogrevanje objektov
    - Ogrevanje STV
    - Ogrevanje industrijskih procesov
    - Ogrevanje v gospodinjskih in profesionalnih aparatih
    - Ogrevanje v agrikulturi
    - Ogrevanje naselij

operation characteristics and components of the system
    - Joule-Thomsonov refrigeration process, operation characteristics and components of the system

10. Gas refrigeration cycles 2
    - Modeling, analysis, and dimensioning of classical gas refrigeration devices
    - Modeling, analysis, and dimensioning of Stirling refrigeration devices
    - Modeling, analysis, and dimensioning of Joule-Thomson refrigeration devices
11. Gas refrigeration cycles 3
    - Vortex tube
    - Pulse tube
    - Other gas refrigeration cycles
    - Analysis and dimensioning of gas refrigeration cycles with pulsed tube and vortex tube
12. Solid state refrigeration and heat pumping 1
    - Peltier refrigeration and heat pumps
    - Materials
    - Design, modeling, analysis and dimensioning of Peltier refrigeration devices
13. Solid state refrigeration and heat pumping 2
    - Magnetic refrigeration and heat pumping
    - Electrocaloric refrigeration
    - Thermo-elastic refrigeration
    - Analysis and dimensioning of caloric refrigeration devices
14. Refrigeration applications
    - Food freezing and refrigeration
    - Industrial refrigeration
    - Commercial refrigeration
    - Refrigerated transport
    - Electronics
    - Low temperatures
    - Military and space technologies
    - Medicine and other special applications
15. Heat pump applications
    - Heat pumps in buildings
    - Heating of hot water
    - Heating of industrial processes
    - Heating in household and professional applicances
    - Heating in agriculture
    - District heating

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. G. F. Hundy at. All: Refrigeration and Airconditioning, Elsevier, 2008
2. Roy J. Dossat, Thomas J. Horan, Principles of Refrigeration, 2001
3. 2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals

4. 2018 ASHRAE Handbook—Refrigeration
5. Der Kälteanlagenbauer - Set: Band 1: Grundkenntnisse - Band 2: Grundlagen der Kälteanwendung , 2010
6. R. Radermacher, Y. Hwang, Vapor Compression Heat Pumps with Refrigerant Mixtures, CRC Press, 2005,
7. K. E. Herold, R. Radermacher, S. A. Klein, Absorption Chillers and Heat Pumps, 2016
8. R. Wang, L. Wang, J. Wu, Adsorption Refrigeration Technology: Theory and Application, 2014
9. I. Dincer, M. Kanoglu, Refrigeration Systems and Applications, 3rd Edition, 2017
10. A.Kitanovski et al: Magnetocaloric energy conversion, Springer, 2015
11. A.Poredoš et al: Heat pumps for heating and cooling, University of Ljubljana, 2018
12. Allan J. Organ, Stirling and Pulse-tube Cryo-coolers 1st Edition, 2005

Cilji in kompetence:

Cilji:

1. pridobiti znanje za obvladovanje načinov zniževanja temperature za:
    1. Hlajenje in zamrzovanje hrane
    2. Hlajenje zgradb
    3. Industrijsko hlajenje
    4. Hlajenje v blagovnicah
    5. Hlajenje pri transportu
    6. Elektroniko
    7. Nizke temperature - Kriogeniko
    8. Posebne aplikacije
2. pridobiti temeljna in aplikativna znanja za izvedbo hladilnih procesov v različnih hladilnih napravah in sistemih;
3. pridobiti temeljna in aplikativna znanja za izvedbo črpanja toplote v različnih toplotnih črpalkah in sistemih;
4. pridobiti sposobnosti analize in načrtovanja hladilnih naprav in toplotnih črpalk
5. seznaniti se z najnovejšimi dognanji na področju hladilne tehnike in toplotnih črpalk ter implementacijo teh na različnih področjih inženirstva.

Splošne in predmetno-specifične kompetence:

(S1-MAG, P2-MAG), Sposobnost za opredelitev, razumevanje in obvladovanje temeljnih znanstvenih in aplikativnih problemov s področja hladilnih procesov, hladilne tehnike, ter črpanja toplote.

(S2-MAG, P4-MAG, P5-MAG) Širitev sposobnosti kritičnega, analitičnega in sintetičnega mišljenja pri reševanju problemov s področja hladilne tehnike in toplotnih črpalk. Sposobnost fizikalnega, matematičnega in numeričnega modeliranja problemov s področja hladilnih procesov. Razvijanje novega znanja in razumevanja hladilne tehnike in toplotnih črpalk z implementacijo najnovejših dognanj na področju.

(S10-MAG, P7-MAG), Sposobnost uporabe sodobnih raziskovalnih metod in postopkov. Sposobnost

Objectives and competences:

Objectives:

1. to obtain knowledge in management of processes for:
    1. Food refrigeration and freezing
    2. Cooling in buildings
    3. Industrial refrigeration
    4. Commercial refrigeration
    5. Refrigerated transport
    6. Cooling in electronics
    7. Low temperature refrigeration - Cryogenics
    8. Special refrigeration applications
2. To obtain basic and applied knowledge for development of refrigeration processes in different refrigeration devices and systems;
3. To obtain basic and applied knowledge for development of heat pumps and related systems;
4. To gain capabilities of critical thinking, analysis and design of refrigeration devices and heat pumps
5. To establish knowledge on newest and emerging refrigeration and heat pump technologies or knowhow, and their implementation in different engineering domains.

Basic and subject-specific competences:

(S1-MAG, P2-MAG), The ability to define, understand and creatively solve professional challenges and mastering the basic scientific or applied problems from the field of refrigeration processes and technologies, and heat pumps.

(S2-MAG, P5-MAG) Improvement of critical, analytical, synthetical thinking for solving the problems from the domain of refrigeration and heat pumping. Ability for physical, mathematical and numerical modelling of problems in the field of refrigeration. The ability to aquire new knowledge and skills in refrigeration and heat pumping with the capability to implement newest findings in the field.

raziskovanja in prenašanja znanja v prakso na področju hladilne tehnike in toplotnih črpalk s pomočjo implementacije sodobnih raziskovalnih metod ter optimizacijo različnih procesov.	(S10-MAG, P7-MAG), Ability for using modern research methods and procedures. Capacity for research and knowledge transfer into practice in the field of refrigeration and heat pumping, with implementation of modern research methods and optimization of different processes.

Predvideni študijski rezultati:	**Intended learning outcomes:**
Znanja: Z2. Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje z elementi raziskovanja, ki je osnova za razumevanje in implementacijo rešitev na področju različnih hladilnih tehnik in toplotnih črpalk. Spretnosti: S2.1. Obvladovanje načrtovanja kompleksnih procesov s področja hladilne tehnike in toplotnih črpalk. Pridobljena spretnost bo omogočala uporabo analitičnega ali numeričnega reševanja problemov s področja hladilne tehnike ali toplotnih črpalk. S2.3. Sposobnost razvoja in implementacije izvirnih dognanj/stvaritev s področja aplikacije hladilnih procesov ali toplotnih črpalk, ki jih je oseba sposobna implementirati.	Knowledge: Z2. Deep theoretical, methodological and analytical thinking with research capabilities, which is the basis for understanding and implementation of solutions in the field of different refrigeration and heat pump technologies.. Skills: S2.1. Mastering of desing of complex processes and systems from the field of refrigeration and heat pumping. Pridobljena spretnost bo omogočala uporabo analitičnega ali numeričnega reševanja problemov s področja hladilne tehnike ali toplotnih črpalk. S2.3. Capablity for research and development and implementation of original findings/creations from the field of refrigeration or heat pump applications, which person is able to implement.

Metode poučevanja in učenja:	**Learning and teaching methods:**
1. P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih - za področje značilnih - teoretičnih in praktično uporabnih primerov. 2. P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki. 3. P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri. 4. P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki (parno-kompresijska hladilna naprava; absorpcijska hladilna naprava; toplotna črpalka zrak-voda, voda-voda; magnetokalorična hladilna naprava, Peltier hladilna naprava in Peltier toplotna črpalka). 5. P5 Uporaba študijskega gradiva v obliki (zapiski, e-verzija predstavitve predavanj). 6. P6, P14, P15 Interaktivna predavanja podprta z video vsebinami, on-line simulacijami konkretnih primerov in virtualnih eksperimentov. 7. P8-P9: Skupinsko delo pri reševanju problemov z	1. P1 Auditorial lectures with solving of selected – for the domain characteristic – theoretical and applicable problems. 2. P2 Treatment of the subject according to an orderly and pre-explained systematics. 3. P3 Auditorial excercizes, in which the theoretical knowledge with lectures is supported with computational problems. 4. P4 Laboratory excercizes with dedicated didactical support (vapor-compression refrigerator; absorption refrigerator; air-water heat pump; water-water heat pump; magnetocaloric refrigeration device; Peltier cooler; Peltier heat pump). 5. P5 The use of study materials in the form of (notes, e-version of presentations). 6. P6, P14, P15 Interactive lectures, supported with video contents, on-line simulations of particular problems, and virtual experiments.

izdelavo in predstavitvijo aplikativnih seminarskih nalog (vključuje razprave in diskusije, viharjenje možganov, projektno delo) 8. P12 Individualizirane domače naloge v spletni učilnici	7. P8-P9: Team work in solving the problems by designing and presenting applied seminar tasks (includes discussions, brainstorming, project work) 8. P12 Individualized homeworks in an online classroom

Načini ocenjevanja:	**Delež/Weight**	**Assessment:**
Teoretične vsebine (teoretično znanje in računske naloge).	50,00 %	Theory (theoretical knowledge and problems).
Delo ter sodelovanje pri laboratorijskih/računskih vajah.	20,00 %	Work and collaboration in laboraty and auditorial problems.
Individualni Seminar ali skupinski project.	30,00 %	Individual seminar or group project.

Reference nosilca/Lecturer's references:

Andrej Kitanovski:

1. KITANOVSKI, Andrej, PLAZNIK, Uroš, TOMC, Urban, POREDOŠ, Alojz. Present and future caloric refrigeration and heat-pump technologies. *International journal of refrigeration*, ISSN 0140-7007. [Print ed.], Sept. 2015, vol. , str. 288-298, [COBISS.SI-ID 14146331], [JCR, SNIP, WoS]
2. OŽBOLT, Marko, KITANOVSKI, Andrej, TUŠEK, Jaka, POREDOŠ, Alojz. Electrocaloric refrigeration : thermodynamics, state of the art and future perspectives. *International journal of refrigeration*, ISSN 0140-7007. [Print ed.], Apr. 2014, vol. 40, str. 174-188 [JCR, SNIP, WoS]
3. LORBEK, Luka, KUHELJ, Anja, DULAR, Matevž, KITANOVSKI, Andrej. Two-phase flow patterns in adiabatic refrigerant flow through capillary tubes. International journal of refrigeration, ISSN 0140-7007., 2020, str. 1-19, ilustr., doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.02.030 . [COBISS.SI-ID 17060891], [JCR, SNIP, WoS]
4. LORBEK, Luka, KITANOVSKI, Andrej. A numerical framework for the one-dimensional modelling of refrigerator components. V: MINEA, Vasile (ur.). *ICR 2019 : refrigeration science and technology proceedings*, 25th IIR International Congress of Refrigeration, August 24-30, 2019, Montreal, Canada. Paris: International Institute of Refrigeration = Institut International du Froid. 2019, f. 571-578, ilustr. [COBISS.SI-ID 16778011]
5. PETELIN, Nada, GATARIĆ, Pero, KITANOVSKI, Andrej, POREDOŠ, Alojz. Modelling and experimental evaluation of a condenser for a heat-pump tumble dryer. V: MINEA, Vasile (ur.). *ICR 2019 : refrigeration science and technology proceedings*, 25th IIR International Congress of Refrigeration, August 24-30, 2019, Montreal, Canada. Paris: International Institute of Refrigeration = Institut International du Froid. 2019, f. 4455-4462, ilustr. [COBISS.SI-ID 16782363]
6. KITANOVSKI, Andrej, EGOLF, Peter W., SARI, Osmann. *Method and device for continuous generation of cold and heat by means of the magneto-calorific effect : patent no. US7481064 B2*. [S. l.]: United States Patent, Trademark Office, 2009. 16 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 11295771]