UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	Termodinamika zmesi
Course title:	Thermodynamics of mixtures
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	1. semester

Univerzitetna koda predmeta/University course code:	0566914
Koda učne enote na članici/UL Member course code:	6015-M

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

Nosilec predmeta/Lecturer:	Iztok Golobič, Matic Može
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:**
Vpis v magistrski študijski program.	Enrolment in the study programme.

Vsebina:	**Content (Syllabus outline):**
1. Uvod v termodinamiko zmesi - Predstavitev učnega programa, kronološki pregled; - Uporaba termodinamike zmesi v raziskovalnem in industijskem okolju. 2. Idealne plinske zmesi - Enofazni sistemi, ravnotežni pogoji, parcialne molske veličine stanja;	1. Introduction to thermodynamics of mixtures - Outline of the syllabus, chronological overview; - Use of thermodynamics of mixtures in research and industrial environments. 2. Ideal gas mixtures - Single phase systems, equilibrium conditions, partial molar quantities;

- Gibbs Daltonov zakon, Amagatin zakon, Gibbsova prosta energija, kemijski potencial. 3. Vlažen zrak - Zmes idealnih plinov in par, vlažen zrak, Mollierov h-x diagram, temperatura suhega in mokrega termometra, temperatura rosišča, vlažnost, relativna vlažnost; - Popis stanj vlažnega zraka. 4. Psihrometrijski procesi - Gretje in hlajenje vlažnega zraka, mešanje vlažnih zračnih tokov, vlaženje in razvlaževanje, evaporativno hlajenje; - Klimatizacija, hladilni stolp, sušenje. 5. Eksergijska analiza psihrometrijskih procesov - Eksergija, eksergijski diagram vlažnega zraka; - Eksergijska učinkovitost psihometrijskih procesov. 6. Relacije med termodinamičnimi veličinami stanja - Maxwellove relacije za čiste snovi - Maxwellove relacije za zmesi 7. Enačba stanja - Vrste enačb stanja, korespondenčni princip; - Metode določanja kritičnih veličin enačb stanja zmesi. 8. Večkomponentni sistemi - Idealna plinska zmes, kemijski potencial komponente v idealni plinski zmesi, Gibbs Duhemova enačba, lastnosti večkomponentnih sistemov, fugativnost, fugativnostni koeficient; - Idealna raztopina, kemijski potencial komponente v idealni raztopini, aktivnost, aktivnostni koeficient, Lewis Randallovo pravilo. 9. Večfazni sistemi - Parno kapljevito ravnotežje, Henryjev zakon, Raoultov zakon; - Temperaturno koncentracijski dvofazni diagram, parno kapljeviti ravnotežni diagram. 10. Realne zmesi - Gibbsovo pravilo faz, binarni dvofazni sistemi, retrogradno uparjanje in retrogradna kondenzacija, azeotropne zmesi, ravnotežni diagram; - heterogene kapljevite zmesi, ravnotežje trdnih in kapljevitih faz, solne raztopine, snovi s hidrati. 11. Termodinamični procesi z zmesmi - Gretje in hlajenje, mešanje, dušenje; - Kristalizacija, uparjanje, kondenzacija, absorpcija. 12. Enačba stanja kompleksnih realnih zmesi in baze podatkov - Enačba stanja GERG 2008, podatkovna baza GERG 2008; - Baze podatkov o termodinamičnih lastnostih čistih snovi in zmesi. 13. Kemijske reakcije in kemijsko ravnotežje - Ravnotežni kriteriji kemijske reakcije, Hessov zakon, tvorbena entalpija; - Tvorbena Gibbsova prosta energija, kemijska	- Gibbs-Dalton law, Amagat's law, Gibbs free energy, chemical potential. 3. Moist air - Mixture of ideal gases and water vapor, moist air, Mollier h-x diagram, wet- and dry-bulb temperature, dew point, humidity, relative humidity; - Description of moist air states. 4. Psychrometric processes - Heating and cooling of moist air, mixing of moist airflows, humidification and dehumidification, evaporative cooling; - Air conditioning, cooling tower, drying. 5. Exergy analysis of psychrometric processes - Exergy, exergy diagram of moist air; - Exergy efficiency of psychrometric processes. 6. Relation between thermodynamic quantities of state - Maxwell relations for pure substances - Maxwell relations for mixtures 7. Equation of state - Types of equations of state, correspondence principle; - Methods of determining critical properties of equations of state. 8. Multicomponent systems - Ideal gas mixture, chemical potential of a component in an ideal gas mixture, Gibbs-Duhem equation, properties of multicomponent systems, fugacity, fugacity coefficient; - Ideal solution, chemical potential of a component in an ideal solution, activity, activity coefficient, Lewis-Randall rule. 9. Multiphase systems - Vapor-liquid equilibrium, Henry's law, Raoult's law; - Temperature/concentration two-phase diagram, vapor-liquid equilibrium diagram. 10. Real mixtures - Gibbs' phase rule, binary two-phase systems, retrograde vaporization and condensation, azeotropic mixtures, equilibrium diagram; - Heterogeneous liquid mixtures, equilibrium of solid and liquid phases, salt solutions, substances with hydrates. 11. Thermodynamic processes with mixtures - Heating and cooling, mixing, throttling; - Crystallization, vaporization, condensation, absorption. 12. Equations of state for complex real mixtures and databases - GERG 2008 equation of state, GERG 2008 database; - Databases for thermodynamic properties of pure substances and mixtures. 13. Chemical reactions and chemical equilibrium - Criteria for equilibrium of chemical reactions, Hess'

eksergija snovi. 14. Fazno ravnotežje - Ravnotežje večkomponentnih in večfaznih sistemov; - Ravnotežna konstanta. 15. Študentska predstavitev seminarskega dela iz termodinamike zmesi - Timsko projektno delo; - 3 minutna predstavitev in diskusija.	law, enthalpy of formation; - Gibbs free energy of formation, chemical exergy of substances. 14. Phase equilibrium - Equilibrium of multicomponent and multiphase systems; - Equilibrium constant. 15. Student presentation of process engineering seminar work - Team projects; - 3-minute presentation and discussion.

Temeljna literatura in viri/Readings:

1. Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 9th Edition, Wiley, 2018.
2. Bejan, A., Advanced Engineering Thermodynamics. 4th Edition, Wiley, 2016.
3. M. Oprešnik, Termodinamika zmesi. 3. predelana izdaja, Fakuleta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 1988.
4. Smith, J. M., Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 8th Edition, McGraw-Hill, 2017.
5. Stephan, P., Schaber, K., Stephan, K., Mayinger, F., Thermodynamik: Grundlagen und technische Anwendungen - Band 2: Mehrstoffsysteme und chemische Reaktionen. 16th Edition, Springer Vieweg; 2018.
6. Stephan, P., Kabelac, S., Kind, M., Mewes, D., Schaber, K., Wetzel, T., VDI-Wärmeatlas : Fachlicher Träger VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. 12th Edition, Springer Vieweg, 2019.
7. Dincer, I., Rosen, M. A., Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development. 2nd Edition, Elsevier, 2012.
8. Dincer, I., Midilli, A., Kucuk, H., Progress in Exergy, Energy, and the Environment, Springer, 2014.
9. Dincer, I., Rosen, M. A., Exergy Analysis of Heating, Refrigerating and Air Conditioning: Methods and Applications. Elsevier, 2015.
10. Poling, B.E., Prausnitz, J.M., O'Connel, J.P., The Properties of Gases and Liquids. 5th Edition, McGraw-Hill, 2001.

Cilji in kompetence:	**Objectives and competences:**
Cilji: 1. Podati študentu temeljna znanja iz razumevanja in termodinamičnega popisa zmesi in procesov z zmesmi. 2. Spoznati mehanizme in popisati dogajanja pri procesih z dvo- ali večkomponentnimi zmesmi v različnih agregatnih stanjih. 3. Krepiti usposobljenost uporabe inženirskih orodij. 4. Spoznati orodja za popis termodinamičnih lastnosti zmesi in dati temeljna znanja za nadaljni poglobljen študij na ožjih strokovnih področjih energetskega in procesnega ter okoljskega inženirstva. Kompetence: 1. Širitev sposobnosti kritičnega, analitičnega in	Objectives: 1. Provide the student with basic understanding and thermodynamic description of mixtures and processes with mixtures. 2. Educate the student on mechanisms and description of phenomena with two- or multicomponent mixtures is different states of matter. 3. Strengthen the student's ability to use engineering tools. 4. Educate the student on tools for description of thermodynamic properties of mixtures and provide basic knowledge for continued in-depth learning in the narrower specialised subfields of energy, process and environmental engineering. Competences:

sintetičnega mišljenja pri reševanju problemov, ki vključujejo termodinamiko zmesi. Razvijanje novega znanja in razumevanja področja večkomponentnih in večfaznih zmesi. Razvijanje višjih kognitivnih veščin, povezanih z ustvarjanjem novega znanja na področju termodinamike zmesi. Obvladovanje temeljnih teoretičnih kakor tudi aplikativnih znanj, ki so bistvena za obvladovanje procesov z zmesmi (S2-MAG, P2-MAG). 2. Usposobljenost za uporabo pridobljenih znanj pri samostojnem reševanju tehničnih problemov, ki vključujejo termodinamiko zmesi. Sposobnost samostojnega pridobivanja novih znanj in veščin s področja termodinamike zmesi (S7-MAG, P5-MAG). 3. Sposobnost iskanja virov, kritične presoje informacij, samostojnega nadgrajevanja pridobljenih znanj in poglabljanja znanja na področju procesov z zmesmi. Sposobnost samostojnega izvajanja zahtevnih raziskovalnih, razvojnih, inženirskih in strokovno organizacijskih dela ter sposobnost kreativnega reševanja posameznih nalog, ki vključujejo problematiko termodinamike zmesi z upoštevanjem načel trajnostnega razvoja (S8-MAG, P6-MAG).	1. Improved capability of critical, analytical and synthetical thinking when solving problems involving thermodynamics of mixtures. Development of new knowledge and comprehension of multicomponent and multiphase mixtures. Development of higher cognitive skills, related to the creation of new knowledge in thermodynamics of mixtures. Using the fundamental theoretical and applied knowledge, crucial for having command of processes involving mixtures (S2-MAG, P2-MAG). 2. The qualification to use the attained knowledge to autonomously solve technical problems involving thermodynamics of mixtures. The ability to autonomously acquire new knowledge and skills about thermodynamics of mixtures (S7-MAG, P5-MAG). 3. The ability to find sources, critically evaluate information, independently upgrade the attained knowledge and deepen the knowledge in the field of processes involving mixtures. The ability to autonomously perform demanding research, developmental, engineering and professionally-organisational work, the ability to creatively solve individual tasks involving thermodynamics of mixtures while accounting for the principles of sustainable development (S8-MAG, P6-MAG).

Predvideni študijski rezultati:	**Intended learning outcomes:**
Znanja: Poglobljeno teoretično, metodološko in analitično znanje z elementi raziskovanja na področju termodinamike zmesi, ki je osnova za zelo zahtevno strokovno delo (Z2). Spretnosti: 1. Obvladovanje zelo zahtevnih, kompleksnih delovnih procesov in metodoloških orodij na področju termodinamike zmesi (S2.1). 2. Načrtovanje in vodenje delovnega procesa na podlagi ustvarjalnega reševanja problemov, povezanih s termodinamiko zmesi (2.2). 3. Sposobnost izvirnih dognanj/stvaritev in kritične refleksije pri reševanju problemov s področja termodinamike zmesi (S2.3).	Knowledge: Thorough theoretical, methodological and analytical knowledge with elements of a research work in the field of thermodynamics of mixtures that form a basis for very demanding professional work (Z2). Skills: 1. Mastering very demanding and complex work processes and methodological tools in thermodynamics of mixtures (S2.1). 2. Planning and managing of the working process on the basis of creative solving of problems that are linked to thermodynamics of mixtures (2.2). 3. Ability of unique innovations and critical reflections in solving problems in the field of thermodynamics of mixtures (S2.3).

Metode poučevanja in učenja:	**Learning and teaching methods:**
P1 Avditorna predavanja z reševanjem izbranih teoretičnih in praktično uporabnih primerov	P1 Auditorial lectures with solving selected field-specific theoretical and applied use cases in

termodinamike zmesi. P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje iz predavanj podkrepi z računskimi primeri obravnavanih področij termodinamike zmesi. P4 Laboratorijske vaje z namenskimi eksperimentalnimi progami in didaktičnimi pripomočki za prikaz termodinamskih procesov z zmesmi. P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarskih nalog iz področja termodinamike zmesi. P9 Timsko razvojno raziskovalno projektbno delo s predstavitvijo in razpravo P12 Individualizirane domače naloge v spletni učilnici. P14 Virtualni eksperimenti iz področja termodinamike zmesi ob uporabi razvitih računalniških paketov za določanje enačb stanja realnih fluidov.	thermodynamics of mixtures. P3 Auditorial exercises, in which theoretical content from the lectures is supplemented with practical examples of problems involving thermodynamics of mixtures. P4 Laboratory exercises with special-purpose didactic devices to showcase thermodynamic processes with mixtures. P8 Making and presenting applied seminar exercises in the field thermodynamics of mixtures. P9 Team work (discussion pro and contra, discussion of the studied content, snow ball, structured discussion, brainstorming, project work, etc.). P12 Individualised homework in a web classroom. P14 Virtual experiments in the field of process engineering using software packages for determination of equations of state of real fluids.

Načini ocenjevanja:	**Delež/Weight**	**Assessment:**
Teoretična vsebine (predavanja, računske naloge).	60,00 %	Theoretical content (lectures, calculation problems).
Samostojno/skupinsko delo na vajah.	20,00 %	Individual/group work during auditorial exercises.
Seminar.	20,00 %	Seminar.

Reference nosilca/Lecturer's references:

Iztok Golobič

1. ZUPANČIČ, Matevž, MOŽE, Matic, GREGORČIČ, Peter, SITAR, Anže, GOLOBIČ, Iztok. Evaluation of enhanced nucleate boiling performance through wall- temperature distributions on PDMS-silica coated and non-coated laser textured stainless steel surfaces. *International journal of heat and mass transfer*. 2017, vol. 111, str. 419-428, [COBISS.SI-ID 15473691].
2. ZUPANČIČ, Matevž, VOGLAR, Jure, CIMERMAN, Franc, GOLOBIČ, Iztok. High-speed infrared thermographic investigation of water subcooled pool boiling on thin metal foils. *Interfacial phenomena and heat transfer*. 2016, vol. 4, iss. 4, str. 259-267, [COBISS.SI-ID 15866651].
3. PETKOVŠEK, Jure, HENG, Yi, ZUPANČIČ, Matevž, GJERKEŠ, Henrik, CIMERMAN, Franc, GOLOBIČ, Iztok. IR thermographic investigation of nucleate pool boiling at high heat flux. *International journal of refrigeration*. 2016, vol. 61, str. 127-139, [COBISS.SI-ID 14351643].
4. SEDMAK, Ivan, URBANČIČ, Iztok, ŠTRANCAR, Janez, MORTIER, Michel, GOLOBIČ, Iztok. Transient submicron temperature imaging based on the fluorescence emission in an Er/Yb co-doped glass-ceramic. *Sensors and actuators.A, Physical*. 2015, vol. 230, str. 102-110, [COBISS.SI-ID 13983771].
5. GOLOBIČ, Iztok, MOŽE, Matic, SEDMAK, Ivan, SITAR, Anže, ZUPANČIČ, Matevž, KRAJNC, Nike. *Analiza proizvodnje obnovljivega plina iz lesne biomase in njegovo injiciranje v prenosno plinovodno omrežje : končno poročilo*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za toplotno tehniko, 2019. XIV, 128 str, [COBISS.SI-ID 16881947].

Matic Može

1. **MOŽE, Matic**, VAJC, Viktor, ZUPANČIČ, Matevž, GOLOBIČ, Iztok. Hydrophilic and hydrophobic nanostructured copper surfaces for efficient pool boiling heat transfer with water, water/butanol mixtures and Novec 649. *Nanomaterials*, ISSN 2079-4991. [Online ed.], 26 Nov. 2021, vol. 11, iss. 12, str. 1-26, ilustr. https://www.mdpi.com/2079-4991/11/12/3216, doi: 10.3390/nano11123216. [COBISS.SI-ID 87305987], [JCR, SNIP, WoS do 26. 2. 2022: št. citatov (TC): 1, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0, Scopus do 2. 3. 2022: št. citatov (TC): 1, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu):0] [tip COBISS: 1.01 Izvirni znanstveni članek] [uvrstitev revije v MBP (2021): SCIE, Scopus, DOAJ, FSTA, INSPEC, METADEX, PUBMED]
2. **MOŽE, Matic**, ZUPANČIČ, Matevž, GOLOBIČ, Iztok. Pattern geometry optimization on superbiphilic aluminum surfaces for enhanced pool boiling heat transfer. *International journal of heat and mass transfer*, ISSN 0017-9310. [Print ed.], Nov. 2020, vol. 161, f. 1-13, ilustr. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931020332014?via%3Dihub, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120265. [COBISS.SI-ID 25544963], [JCR, SNIP, WoS do 5. 2. 2022: št. citatov (TC): 18, čistih citatov (CI): 15, čistih citatov na avtorja (CIAu): 5.00, Scopus do 7. 2. 2022: št. citatov (TC): 19, čistih citatov (CI): 16, čistih citatov na avtorja (CIAu): 5.33] [tip COBISS: 1.01 Izvirni znanstveni članek] [uvrstitev revije v MBP (2020): SCIE, Scopus, COMPENDEX, GEOREF, INSPEC, PUBMED]
3. VAJC, Viktor, **MOŽE, Matic**, HADŽIĆ, Armin, ŠULC, Radek, GOLOBIČ, Iztok. Saturated and subcooled pool boiling heat transfer in mixtures of water and glycerin. *Experimental heat transfer*, 2022, str.1-29. https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08916152.2022.2027574, doi: 10.1080/08916152.2022.2027574. [COBISS.SI-ID 96861187], [JCR, SNIP, WoS do 26. 2. 2022: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0, Scopus do 26. 2. 2022: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0] [tip COBISS: 1.01 Izvirni znanstveni članek] [uvrstitev revije v MBP (2021): SCIE, Scopus, COMPENDEX, INSPEC]
4. **MOŽE, Matic**, VAJC, Viktor, ZUPANČIČ, Matevž, ŠULC, Radek, GOLOBIČ, Iztok. Pool boiling performance of water and self-rewetting fluids on hybrid functionalized aluminum surfaces. *Processes*, ISSN 2227-9717. [Online ed.], Jun. 2021, vol. 9, no. 6, str. 1-27, ilustr. https://www.mdpi.com/2227-9717/9/6/1058, doi: 10.3390/pr9061058. [COBISS.SI-ID 67560707], [JCR, SNIP, WoS do 26. 2. 2022: št. citatov (TC): 2, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0, Scopus do 26. 2. 2022: št. citatov (TC): 2, čistih citatov (CI): 0, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0] [tip COBISS: 1.01 Izvirni znanstveni članek] [uvrstitev revije v MBP (2021): SCIE, Scopus, DOAJ, INSPEC, PUBMED]
5. FERJANČIČ, Klemen, **MOŽE, Matic**, KRIŽAN, Peter, BOBIČ, Miha, GOLOBIČ, Iztok. Subcooled critical heat flux on laser-textured stainless-steel ribbon heaters in pool boiling of FC-72. *International journal of heat and mass transfer*, ISSN 0017-9310. [Print ed.], Oct. 2020, vol. 159, str. 1-16, ilustr. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001793102033026X?via%3Dihub, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120090. [COBISS.SI-ID 22165507], [JCR, SNIP, WoS do 13. 1. 2022: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 5, čistih citatov na avtorja (CIAu): 1.00, Scopus do 11. 1. 2022: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 5, čistih citatov na avtorja (CIAu): 1.00][tip COBISS: 1.01 Izvirni znanstveni članek] [uvrstitev revije v MBP (2020): SCIE, Scopus, COMPENDEX, GEOREF, INSPEC, PUBMED]