

## UČNI NAČRT PREDMETA / COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	REOLOGIJA KOMPLEKSNIH TEKOČIN
<b>Course Title:</b>	RHEOLOGY OF COMPLEX FLUIDS

Študijski program in stopnja Study Programme and Level	Študijska smer Study Field	Letnik Academic Year	Semester Semester
MAG Kemijsko inženirstvo, 2. stopnja	/	1.	2.
USP Chemical Engineering, 2 <sup>nd</sup> Cycle	/	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>

**Vrsta predmeta / Course Type:** izbirni strokovni / Elective Professional

**Univerzitetna koda predmeta / University Course Code:** IN2101

Predavanja Lectures	Seminar Seminar	Vaje Tutorial	Klinične vaje Work	Druge oblike študija	Samost. delo Individual Work	ECTS
45	15	15 LV	/	/	75	5

**Nosilec predmeta / Lecturer:** Prof. dr. Igor Plazl / Dr. Igor Plazl, Full Professor

**Jeziki / Languages:**

<b>Predavanja / Lectures:</b>	slovenski / Slovenian
<b>Vaje / Tutorial:</b>	slovenski / Slovenian

**Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:**

Študent oz. kandidat mora imeti predmet opredeljen kot študijsko obveznost.	<b>Prerequisites:</b> The course has to be assigned to the student.
-----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

<p><b>Vsebina:</b></p> <p>Osnove teoretične reologije in reološki principi za opredelitev različnih reoloških materialnih funkcij. Reološko obnašanje ne-newtonskih tekočin in poltrdnih snovi pod vplivom strižnega toka in strižne deformacije. Koncept notranje strukture reološko kompleksnih tekočin; molekularni in strukturni parametri, ki pogojujejo ne-newtonsko obnašanje pod vplivom strižnega toka in deformacije. Napetostni in deformacijski tenzor. Konstitutivne enačbe za opis strižnega toka in strižne deformacije. Postavitev in uporaba reoloških modelov na osnovi eksperimentalnih podatkov. Linearna viskoelastičnost, mehanski modeli. Obnašanje viskoelastičnih tekočin pri strižnih in razteznih pogojih. Prenos</p>	<p><b>Content (Syllabus outline):</b></p> <p>Basic knowledge of theoretical rheology, rheological principles for determination material functions. Rheological behavior of non-Newtonian fluids and semi-solid materials under shear flow and shear deformation. Concept of material structure of complex fluids; molecular and structural parameters responsible for non-Newtonian behavior under shear flow and shear deformation. Stress and deformation tensors. Constitutive equations for describing shear flow and shear deformation. Determination of rheological models from experimental data and its applications. Linear viscoelasticity and mechanical models. Behaviors of viscoelastic fluids under shear and extensional flow. Application of material</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

materialnih reoloških funkcij v modele fluidne dinamike za opis strižnega toka. Uporaba reoloških podatkov in reoloških modelov pri načrtovanju industrijskih procesov. Uporaba rotacijskih in kapilarnih reometrov. Principi merjenja, merilne tehnike in postopki za karakterizacijo reološko kompleksnih tekočin pri (a) destruktivnih in (b) ne-destruktivnih strižnih pogojih. Opredelitev materialnih funkcij pri oscilatornih testih in testih lezenja in obnove. Povezava med in notranjo strukturo materiala in izmerjenimi viskoelastičnimi lastnostmi. Analiza in uporaba eksperimentalnih rezultatov pri razvoju novih materialov, kot kriterij kakovosti v različnih aplikacijah in kot procesni parametri v tehnoloških.

Reološko obnašanje različnih skupin newtonskih tekočin:

- Reologija polimerov: polimerne taline, polimerne raztopine
- Reologija suspenzij: visoko koncentrirane suspenzije (suspenzije keramike, pigmentne suspenzije)
- Reologija šibko-gelskih struktur: (prehrambeni, farmacevtski in kozmetični izdelki)
- Reologija bioloških in telesnih tekočin (kri, krvni nadomestki, slina, synovialna tekočina)

rheological functions in models of fluid dynamics for describing shear flow. Application of rheological models and experimental data in design of industrial processes. Manipulation with rotational and capillary rheometers. Principles of measurements, measuring techniques and procedures for rheological characterization of complex fluids under (a) destructive and (b) non-destructive shear conditions. Determination material functions from experimental data measured by oscillatory tests and by creep-recovery tests. Relations between internal material structures and experimentally determined viscoelastic properties. Use of measured rheological data in development of new materials, as a quality control criterion in different industrial applications and as process parameters in technological applications.

Rheological characteristics of different classes of non-Newtonian fluids:

Polymer rheology (melts and solutions), rheology of high solids suspensions (ceramics, pigments), rheology of weak gels, rheology of biological fluids (blood, blood substitutes, saliva, synovial fluids)

#### **Temeljna literatura in viri / Readings:**

- Uvod v reologijo, A. Zupančič Valant, 2007, Univerza v Ljubljani, FKKT, 103 str., (na voljo: UL FKKT, Katedra za kemijsko, bioekemijsko in ekološko inženirstvo), (100%)
- Rheology, Principles, Measurements and Applications", Macosco C. W., 1994, VCH Publishers, Inc., New York, 550 s (na voljo: UL FKKT, Katedra za kemijsko, bioekemijsko in ekološko inženirstvo)(20%)
- Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications", Lapasin R., Prich S., 1995, Blackie Academic & Professional, An Imprint of Chapman & Hall, Glasgow, 620 s(na voljo: UL FKKT, Katedra za kemijsko, bioekemijsko in ekološko inženirstvo) (20%)

#### **Dopolnilna literatura:**

- An introduction to rheology, H.A. Barnes, J. F. Hutton K.Walters, 1989, Elsevier, Amsterdam, 199s (na voljo: UL FKKT, Katedra za kemijsko, bioekemijsko in ekološko inženirstvo),
- The Structure and Rheology of Complex Fluids", Larson, R.G., 1999, Oxford University Press, Oxford, 663 s(na voljo: UL FKKT, Katedra za kemijsko, bioekemijsko in ekološko inženirstvo)
- Viscoelastic properties of polymers , J. D: Ferry 3rd edd., 1980, John & Willey, Sons 617 s (na voljo: UL FKKT, Katedra za kemijsko, bioekemijsko in ekološko inženirstvo)

**Cilji in kompetence:**

Cilj predmeta je predstaviti teoretične reološke principe in uporabo različnih reoloških materialnih funkcij za opis viskoelastičnega obnašanja pri različnih strižnih in nateznih deformacijah. Nadalje je cilj predmeta predstaviti principe eksperimentalne reologije kompleksnih tekočin in poltrdnih materialov. Študent spozna definicije reoloških količin za opredelitev materialnih lastnosti snovi in se nauči uporabe reološke karakterizacije ne-newtonskih tekočin pri različnih aplikacijah. Poznavanje vsebine predmeta študentu omogoči znanje o uporabnosti reoloških podatkov in pravilno izbiro reoloških modelov pri razvoju novih produktov, ali kot kriterij kakovosti procesnih materialov. Študent osvoji znanja o značilnostih reološkega obnašanja posameznih skupin procesnih materialov kot so polimeri, šibko-gelske strukture in suspenzije. Študent zna oceniti vpliv reoloških lastnosti realnih tekočin na vodenje različnih tehnoloških procesov. Študent osvoji merilne tehnike in postopke za določanje reoloških lastnosti različnih tipov strukturiranih tekočin in njihov namen.

**Objectives and Competences:**

To gain the knowledge about theoretical rheological principles and application of different material functions for describing viscoelastic behavior under shear and extensional conditions. To learn the principles of experimental rheology of complex fluids and semi-solid materials. To understand the rheological definitions of material functions for describing material properties and the application of rheological characterization of complex fluids in different technological cases. To gain the knowledge about applicability of rheological data and rheological models in development of new products and in quality control. To learn the methods for rheological characterization of different classes of process materials, such as polymers, suspensions, weak gels. To gain the knowledge how the rheological properties of real fluids influence on controlling of different technological processes. To learn measuring techniques and procedures examination rheological behavior of structured fluids.

**Predvideni študijski rezultati:**

Znanje in razumevanje  
Študent pridobi znanja reologije in reometrije (strižni tok, enostavni strig, strižna hitrost, strižni modul, napetostni tenzor, viskoznost, raztezna viskoznost). Reološke podatke zna povezati z notranjo strukturo materiala in zna opredeliti viskoelastične lastnosti tekočin in poltrdnih snovi. Študent pozna pomen reoloških modelov za opis strižno odvisnega obnašanja in viskoelastičnih lastnosti materiala v različnih aplikacijah: razvoj novih produktov, opredelitev kakovosti materiala, kot procesni parametri v tehnološkem procesu. Študent pozna skupne značilnosti in pomen reologije za različne skupne procesnih materialov kot so: polimeri, suspenzije, šibko-gelske strukture in biološke tekočine.

**Intended Learning Outcomes:**

Knowledge and Comprehension  
Student gains knowledge about rheology and rheometry (shear flow, simple shear, shear rate, shear modulus, shear tensor viscosity, extensional viscosity, etc.). Student understands relations between experimental rheological data and material internal structure and how to examine viscoelastic properties of fluids and semi-solids. Student understands the importance of application rheological models for describing shear dependent behavior in different technological situations and understands the effects of viscoelastic behavior of complex fluids in different applications: (development of new products, in quality control, as process parameters). Knowledge about common rheological characteristics of different classes of complex materials (polymers, suspensions, biological fluids).

<p><u>Uporaba</u></p> <p>Poznavanje reološkega obnašanja kompleksnih tekočin in poltrdnih snovi je pomembno pri razvoju novih materialov, kot kriterij kakovosti surovin in produktov, v tehnoloških procesih, pri načrtovanju in vodenju industrijskih procesov. Študent se s praktično izvedbo reološke karakterizacije različnih ne-newtonskih tekočin nauči pridobiti reološke podatke potrebne za različne aplikacije. Študent zna uporabiti primerne merilne tehnike in postopke za pridobitev reoloških podatkov, ki so potrebni v procesu razvoja novih produktov, ali pri načrtovanju tehnoloških procesov. Študent zna uporabiti reološke modele, oziroma njihove parametre pri načrtovanju in vodenju tehnoloških procesov.</p> <p>Uporaba znanja o reoloških lastnostih v posameznih skupinah procesnih materialov (polimeri, suspenzije, gelske strukture) omogoča razumevanje številnih fizikalnih zakonitosti in o poteku kemijskih reakcij.</p>	<p><u>Application</u></p> <p>Knowledge about rheological behavior of complex fluids and semi-solids is important for new materials development, for quality control in technological processes, in design and control of industrial plants. Through experimental exercises of rheological characterization of different non-Newtonian fluids student learn how to use rheological data in different applications. Student gains knowledge about measuring techniques and procedures to obtain suitable rheological data necessary for new product development, for controlling technological processes and or in industrial design and about application of rheological models and/or model parameters for controlling technological processes. Knowledge about rheological characteristics of different classes of non-Newtonian materials (polymers, suspensions, weak gels, etc.) enables understanding of various laws of physic and chemical reactions.</p>
<p><u>Refleksija</u></p> <p>Na osnovi pridobljenega teoretičnega znanja in praktičnih vaj študent pridobi občutek za ovrednotenje reoloških podatkov in spozna pomen poznavanja reoloških lastnosti pri različnih fizikalno-kemijskih zakonitostih. Študent pridobi spoznanja, da lahko reološke podatke realnih ne-newtonovskih tekočin primerja le pri sorodnih strižnih pogojih ter, da je uporaba reoloških podatkov ne-newtonskih tekočin bistvena za pravilno napoved oz. nadalnje izrednotenje parametrov pri hidrodinamskih operacijah.</p>	<p><u>Analysis</u></p> <p>On the basis of theoretical knowledge and by experimental work student understands how to examine rheological data and recognizes the importance of knowledge of the rheological properties in several of physical and chemical processes. Student will acquire knowledge that rheological data of non-Newtonian fluids can be compared only under similar shear conditions; furthermore, that the usage of rheological data of complex fluids is essential for correct prediction and/or evaluation of hydrodynamics operations.</p>
<p><u>Prenosljive spretnosti</u></p> <p>Študent pridobi občutek za uporabo reoloških podatkov in modelov pri različnih tehnoloških procesih (mešanje, potek geliranja, pretakanje po ceveh itd.) ter kot kriterij kvalitete vstopnih in izstopnih produktov. Poznavanje reoloških lastnosti in zakonitosti posameznih skupin tehnoloških materialov (polimeri, suspenzije šibko-gelske strukture, telesne tekočine)</p>	<p><u>Skill-transference Ability</u></p> <p>Students will acquire understanding for application rheological data and models in various technological operations (mixing, pipe flow, etc.), and how the rheological data can be used as criteria in quality control (raw materials, products). Student learns the relations between physical- chemical laws of real materials and their rheological properties,</p>

omogoča povezovanje in razumevanje različnih fizikalno-kemijskih zakonitosti in se navezuje na predmete, ki vsebujejo omenjene vsebine. Na osnovi eksperimentalne vaje, utrdi teoretično znanje reometrije in reologije, spozna dejavnike, ki vplivajo na vrednosti izmerjenih reoloških količin in zna povezovati mehanske odzive snovi z njeno sestavo, torej z notranjo strukturo snovi. Uporaba različnih literaturnih virov (knjige, članki, elektronsko gradivo) omogoča preverjanje pravilnosti osnovnih reoloških konceptov, izbiro primernih reoloških modelov za popis reološkega obnašanja in povezovanje z drugimi naravoslovnimi vedami, ki kot končni rezultat prispevajo k razumevanju proučevanega procesa.

which refers to lectures of mentioned subjects. Student consolidates theoretical rheological principles and rheometry by experimental work and meets with factors that influence measured rheological data. Student understands connections between mechanical responses and material composition (internal material structure). Usage of different literature sources (books, articles, electronic sources) enable student to examine basic rheological concepts, selection of suitable rheological models for describing rheological behavior of complex fluids and to find connections with other natural sciences, which, as a final result, contribute to understand investigated process.

**Metode poučevanja in učenja:**

Predavanja, raziskovalni seminarji, individualne naloge, laboratorijske vaje.

**Learning and Teaching Methods:**

Lectures, research seminars, individual cases, laboratory work

**Načini ocenjevanja:**

Ocena poročila o opravljenih vajah, pisni kolokvij iz laboratorijskih vaj 30%  
Seminarska naloga, pisni in ustni izpit. 70%

Delež (v %) /

Weight (in %) **Assessment:**

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

1. M. LUBEJ, U. NOVAK, M. LIU, M. MARTELANC, M. FRANKO, I. PLAZL. Microfluidic droplet-based liquid-liquid extraction: online model validation, Lab Chip, 2015, 15, 223
2. POHAR, Andrej, LAKNER, Mitja, **PLAZL, Igor**. Parallel flow of immiscible liquids in a microreactor : modeling and experimental study. Microfluid. nanofluid. (Print), 2012, vol. 12, no. 1/4, str. 307-316.
3. NOVAK, Uroš, POHAR, Andrej, **PLAZL, Igor**, ŽNIDARŠIČ PLAZL, Polona. Ionic liquid-based aqueous two-phase extraction within a microchannel system. Sep. purif. technol., 2012, vol. 97, no. 1, str. 172-178.