

## UČNI NAČRT PREDMETA / COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	PROPAD GRADIV
<b>Course Title:</b>	MATERIALS DEGRADATION

Študijski program in stopnja Study Programme and Level	Študijska smer Study Field	Letnik Academic Year	Semester Semester
MAG Kemijsko inženirstvo, 2. stopnja	/	2.	3.
USP Chemical Engineering, 2 <sup>nd</sup> Cycle	/	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>

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

**Univerzitetna koda predmeta / University Course Code:** IN2103

Predavanja Lectures	Seminar Seminar	Vaje Tutorial	Klinične vaje Work	Druge oblike študija	Samost. delo Individual Work	ECTS
45	30	/	/	/	75	5

**Nosilec predmeta / Lecturer:** Doc. dr. Boštjan Genorio /  
Dr. Boštjan Genorio, Assistant Professor

**Jeziki / Languages:** Predavanja / Lectures: slovenski / Slovenian  
Vaje / Tutorial: /

**Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:** Študent oz. kandidat mora imeti predmet opredeljen kot študijsko obveznost.

**Prerequisites:** The course has to be assigned to the student.

**Vsebina:**

1. Uvodni del  
Definicija korozije, osnovna terminologija, metode obravnavanja korozijskih fenomenov, osnovne oblike korozije, gospodarske posledice korozije

2. Korozijska termodinamika in kinetika v vodnih raztopinah  
Elektrokemijski potencial, Pourbaixovi diagrami, Električni dvosloj, Butler-Volmerjeva enačba, Koncept mešanega potenciala, korozijski tok in potencial, procesi pasivacije

3. Korozijski mehanizmi  
Enakomerna, jamičasta, interkristalna, galvanska, kavitacijska, napetostna, plinska

**Content (Syllabus outline):**

1. Introduction  
Definition of corrosion, basic terminology, dealing with corrosion phenomena, forms of corrosion, impacts on the economy

2. Corrosion thermodynamics and kinetics in aqueous solutions  
Electrochemical potential, Pourbaix diagrams, Electrical double layer, Butler-Volmer equation, Concept of mixed potential, corrosion flow and potential, passivation processes

3. Corrosion mechanisms  
Uniform, pitting, intercrystalline, concentration-cell corrosion, cavitation, stress, gas corrosion, hydrogen brittleness, etc.

korozija, vodikova krhkost ipd.

4. Splošne metode proučevanja korozijskih pojavov

Elektrokemijske metode (potenciodinamična, Taflova analiza, polarizacijska upornost, ciklična voltametrika, anodna reaktivacijska polarizacija, impedančna spektroskopija), ultrazvočna metoda, optične metode, standardne metode za preiskavo specifičnih korozijskih oblik (interkristalna, kavitacijska, napetostna, špranjska)

5. Korozija in pasivacija pomembnejših kovin

Železo in jekla, aluminij, cink, baker

6. Korozija polimerov

7. Korozija betonov

8. Zaščita pred korozijo I – barvni premazi

9. Zaščita pred korozijo II – galvanizacija

10. Zaščita pred korozijo III – energetski objekti

11. Zaščita pred korozijo IV – ekstremni pogoji

4. Common methods for studying corrosion

Electrochemical methods (potentiodynamic, Tafel analysis, polarization resistance, cyclic voltammetry, anode reactivation polarisation, impedance spectroscopy), ultrasound method, optical methods, standard methods for testing specific forms of corrosion (intercrystalline, cavitation, stress, crevice)

5. Corrosion and passivation of major metals:

Iron and steel, aluminium, zinc, copper

6. Corrosion of polymers

7. Corrosion of concrete materials

8. Corrosion protection I – paint coatings

9. Corrosion protection II – galvanization

10. Corrosion protection III – power plants

11. Corrosion protection IV – extreme conditions

#### Temeljna literatura in viri / Readings:

1. Corrosion – Understanding the Basics, Ed.: J.R. Davis, ASM International, Ohio, ZDA 2011, 563 strani (70%)
2. Introduction to Corrosion Science, E. McCafferty, Springer, 2010, 557 strani (30%)

#### Cilji in kompetence:

Cilj predmeta je, da se študentje seznanijo z mehanizmi propadanja različnih vrst gradiv (kovinskih, keramičnih, polimernih, kompozitnih) ter z najpogostejšimi praktičnimi pristopi k reševanju te problematike.

Študentje si pri predmetu pridobijo naslednje specifične kompetence:

- razumevanje termodinamskih principov, ki vodijo do korozijskih procesov
- razumevanje korozijske kinetike, temelječe na konceptu mešanih potencialov
- razumevanje kemijskih degradacijskih procesov (kemijske spremembe v betonih, polimernih materialih ipd.)
- poznavanje metod za ugotavljanje hitrosti korozijskih procesov
- poznavanje možnosti kontrole propada gradiv in zaščite pred njo
- obvladovanje izbranih inženirskih pristopov k odpravi praktičnih korozijskih primerov

#### Objectives and Competences:

Understanding the degradation mechanisms in different materials (metallic, ceramic, polymer, composites) and common practical solutions.

Subject specific competences include:

- understanding the principles of thermodynamics which lead to corrosion
- understanding corrosion kinetics, based on the concept of mixed potentials
- understanding chemical degradation processes (chemical changes in concrete structures, polymer materials, etc.)
- acquiring methods for determining the rate of corrosion
- acquiring control methods for material degradation and its prevention
- using appropriate engineering approaches to combat corrosion
- using the knowledge in a chemical process unit
- ability to deal with a specific corrosion problem by the use of literature

- usposobljenost za uporabo pridobljenega znanja v kemijskem obratu
- usposobljenost za samostojno obravnavo specifičnega korozijskega problema s pomočjo ustrezne literature
- usposobljenost za izdelavo poročil o ugotovljenih korozijskih procesih in posledičnih ukrepih

- ability for writing reports on corrosion and its negative impacts

### **Predvideni študijski rezultati:**

#### Znanje in razumevanje

Razumevanje termodinamskih in kinetičnih principov, ki vodijo do propada gradiv; Poznavanje metod za spremljanje in evalvacijo propada gradiv; Razumevanje fenomenoloških procesov in mehanizmov korozije in pasivacije kovin, propada keramičnih gradiv in polimerov; Znanje o procesih degradacije, ki potekajo na različnih tipih gradiv (kovine, keramika, polimeri, kompozitna gradiva)

### **Intended Learning Outcomes:**

#### Knowledge and Comprehension

Understanding of thermodynamics and kinetics of corrosion. Understanding principles of testing techniques for evaluation of material degradation and its prevention. Understanding of phenomenological processes and mechanisms of corrosion, passivation of metals, degradation of ceramics and polymers. Obtaining basics of processes of degradation of various types of materials (metals, ceramics, polymers, composites).

#### Uporaba

Obvladovanje osnovnih inženirskih protikorozijskih ukrepov za različne tipe gradiv in za različne vrste objektov; Razumevanje rezultatov splošnih korozijskih metod Sposobnost uporabe literaturnih podatkov pri reševanju konkretnih korozijskih problemov; Sposobnost povzemanja bistvene informacije iz izbranih korozijskih študij.

#### Application

Learning basic engineering practice for corrosion prevention of various materials and devices. Application of testing techniques for evaluation of material degradation and its prevention. Ability to summarize important information from literature search and from selected corrosion studies.

#### Refleksija

Kritična uporaba teoretičnih znanj pri interpretaciji praktičnih meritev; Kritična presoja rezultatov, pridobljenih z različnimi metodologijami.

#### Analysis

Rational use of theory in interpretation of practical corrosion tests. Coherent evaluation of results obtained by various experimental techniques.

#### Prenosljive spretnosti

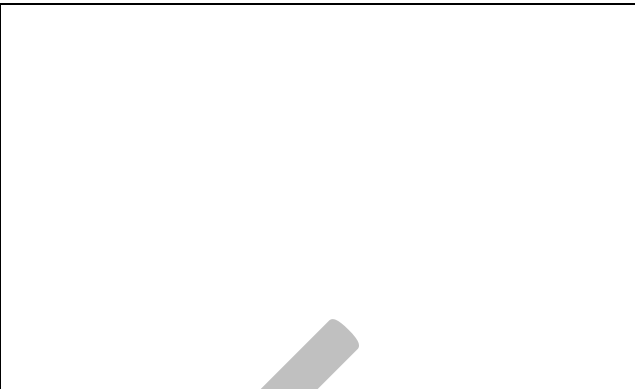
Sposobnost identifikacije in reševanja problemov, vezanih na lastnosti gradiv; Sposobnost povzemanja bistvenih informacij iz strokovne in znanstvene literature; Sposobnost zbiranja, interpretiranja in kritičnega filtriranja (predvsem internetnih) podatkov; sposobnost podajanja pridobljenega znanja (pisanje poročil, ustne predstavitve).

#### Skill-transference Ability

Ability for identification and solution of corrosion problems related to materials properties. Ability to collect and categorize literature (web) information and ability to present acquired knowledge in written and oral form.

**Metode poučevanja in učenja:**

Predavanja (teoretične osnove, klasifikacija korozijskih oblik, podroben študij izbrani primerov propada gradiv, principi protikorozijskih pristopov)  
Seminar (študent skupaj s predavateljem izbere konkretno temo, pripravi pisni seminar in zagovarja seminar ustno v obliki mini konference pred predavateljem in kolegi).  
Predavatelj ob koncu semestra izda zbirko vseh seminarjev in jo razdeli študentom

**Learning and Teaching Methods:****Načini ocenjevanja:**

Delež (v %) /

Weight (in %) /

**Assessment:**

Pisni in ustni izpit	80	Written and oral exam
Seminar	20	Seminar

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

Genorio, B.; Lu, W.; Dimiev, A. M.; Zhu, Y.; Raji, A.-R. O.; Novosel, B.; Alemany, L. B.; Tour, J. M. In Situ Intercalation Replacement and Selective Functionalization of Graphene Nanoribbon Stacks. *ACS Nano* 2012, 6 (5), 4231–4240. <https://doi.org/10.1021/nn300757t>.

Xiang, C.; Cox, P. J.; Kukovecz, A.; Genorio, B.; Hashim, D. P.; Yan, Z.; Peng, Z.; Hwang, C.-C.; Ruan, G.; Samuel, E. L. G.; et al. Functionalized Low Defect Graphene Nanoribbons and Polyurethane Composite Film for Improved Gas Barrier and Mechanical Performances. *ACS Nano* 2013, 7 (11), 10380–10386. <https://doi.org/10.1021/nn404843n>.

Dimiev, A.; Zakhidov, D.; Genorio, B.; Oladimeji, K.; Crowgey, B.; Kempel, L.; Rothwell, E. J.; Tour, J. M. Permittivity of Dielectric Composite Materials Comprising Graphene Nanoribbons. The Effect of Nanostructure. *ACS App. Mater. Interfaces* 2013, 5 (15), 7567–7773. <https://doi.org/10.1021/am401859j>.

Genorio, B. Synthesis and Electrochemical Characterization of Graphene Nanoribbon Stacks Functionalized with Buckyballs. *Acta Chim. Slov.* 2015, 62, 895–901. <https://doi.org/10.17344/acsi.2015.1626>.

Genorio, B. The Synthesis of Diquinone and Dihydroquinone Derivatives of Calix [4] Arene and Electrochemical Characterization on Au (111) Surface. *Acta Chim. Slov.* 2016, 63, 496–508. <https://doi.org/10.17344/acsi.2016.2289>.

Vizintin, A.; Genorio, B.; Dominko, R. CHAPTER 8: Application of Graphene Derivatives in Lithium-Sulfur Batteries; 2018; Vol. 2018–Janua. <https://doi.org/10.1039/9781788012829-00222>.

Strmcnik, D.; Lopes, P. P.; Genorio, B.; Stamenkovic, V. R.; Markovic, N. M. Design Principles for Hydrogen Evolution Reaction Catalyst Materials. *Nano Energy* 2016, 29, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.04.017>.

Staszak-Jirkovský, J.; Malliakas, C. D. D.; Lopes, P. P. P.; Danilovic, N.; Kota, S. S. S.; Chang, K.-C.; Genorio, B.; Strmcnik, D.; Stamenkovic, V. R. R.; Kanatzidis, M. G.; et al. Design of Active and Stable Co-Mo-Sx Chalcogels as PH-Universal Catalysts for the Hydrogen Evolution Reaction. *Nat. Mater.* 2016, 15 (November), 197–203. <https://doi.org/10.1038/nmat4481>.

Bobnar, J.; Lozinšek, M.; Kapun, G.; Njel, C.; Dedryvère, R.; Genorio, B.; Dominko, R. Fluorinated Reduced Graphene Oxide as a Protective Layer on the Metallic Lithium for Application in the High Energy Batteries. *Sci. Rep.* **2018**, *8* (1), 5819. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23991-2>.

S.-Jirkovsky, J.; Subbaraman, R.; Strmcnik, D.; Harrison, K. L.; Diesendruck, C. E.; Assary, R. S.; Frank, O.; Kobr, L.; Wiberg, G. K. H.; Genorio, B.; et al. Water as a Promoter and Catalyst for Dioxygen Electrochemistry in Aqueous and Organic Media. *ACS Catal.* **2015**, *5*, 6600–6607. <https://doi.org/10.1021/acscatal.5b01779>.

Strmcnik, D.; Castelli, I. E.; Connell, J. G.; Haering, D.; Zorko, M.; Martins, P.; Lopes, P. P.; Genorio, B.; Østergaard, T.; Gasteiger, H. A.; et al. Electrocatalytic Transformation of HF Impurity to H<sub>2</sub> and LiF in Lithium-Ion Batteries. *Nat. Catal.* **2018**. <https://doi.org/10.1038/s41929-018-0047-z>.

Šest, E.; Dražič, G.; Genorio, B.; Jerman, I. Graphene Nanoplatelets as an Anticorrosion Additive for Solar Absorber Coatings. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2018**, *176*. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.11.016>.

UL  
ELEKT