

UČNI NAČRT

UČNI NAČRT PREDMETA / COURSE SYLLABUS	
Predmet:	Elektrokemija naprav za shranjevanje energije
Course title:	Electrochemical Energy Storage

Študijski program in stopnja Study programme and level	Študijska smer Study field	Letnik Academic year	Semester Semester
MŠP Kemija, 2. stopnja	Materiali za shranjevanje in pretvorbo energije	2	3
USP Chemistry, 2nd Cycle	Materials for Energy Storage and Conversion	2 nd	3 rd

Vrsta predmeta / Course type

Obvezni / Mandatory

Univerzitetna koda predmeta / University course code:

Predavanja Lectures	Seminar Seminar	Vaje Tutorial	Klinične vaje work	Druge oblike študija	Samost. delo Individ. work	ECTS
30	15	15			60	4

Nosilec predmeta / Lecturer:

prof. dr. Miran Gaberšček / Dr. Miran Gaberšček, Full Professor

Jeziki /

Predavanja / Lectures: Angleški / English

Languages:

Vaje / Tutorial: Angleški / English

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

Predmet imajo opredeljen kot študijsko obveznost študenti, ki so vključeni v projekt "Materiali za shranjevanje in pretvorbo energije +" (MESC+). Lahko ga vpišejo tudi drugi tuji študenti na mednarodni izmenjavi na UL. Študenti morajo biti vpisani na MŠP Kemija, 2. stopnja, ali imeti podpisan učni sporazum (LA) med UL FKKT in drugimi tujimi izobraževalnimi ustanovami.

Prerequisites:

This course will be assigned to the students who are part of the "Materials for Energy Storage and Conversion +" (MESC+) project. It is available to other foreign international exchange students as well. Students must be enrolled to the USP Chemistry, 2nd Cycle or have signed learning agreement between UL FKKT and other foreign educational institution.

Vsebina:

Energijski koncepti

Primarne in sekundarne baterije (akumulatorji), konvencionalni fosilni viri energije, ne-fosilni primarni viri in nosilci energije, neobnovljivi in obnovljivi viri energije, pretvorba energije (termodinamski vidiki in učinkovitost), trenutna poraba energije in s tem povezani problemi, prihajajoče nove tehnologije in različni scenariji za prihodnost

Naprave za shranjevanje energije

Uvod in primerjava najpomembnejših sodobnih naprav za shranjevanje energije, kot so baterije, kondenzatorji, superkondenzatorji (elektrokemijski kondenzatorji), vztrajniki, magnetni načini shranjevanja energije, črpalne hidroelektrarne, shranjevanje vodika. Obravnava kriterijev za selekcijo najprimernejših tehnologij: tehnična zrelost, upravljanje/uravnavanje obremenitev, vpliv na okolje (biološka obremenitev, učinek tople grede ipd.), kvaliteta (specifične) moči naprave, učinkovitost, stroški.

Content (Syllabus outline):

Energy concepts

Primary vs. secondary energy sources (energy carriers), conventional fossil fuel sources, non-fossil primary sources and energy carriers, non-renewable vs. renewable energy sources, conversion of energy (thermodynamics and efficiency aspects), state-of-the art energy consumption and issues, possible future technologies and scenarios

Energy Storage Devices

Introduction and comparison of main modern storage devices such as batteries, capacitors, supercapacitors, flywheels, magnetic ESDs, pumped hydro energy storage, hydrogen storage. Various selection criteria will be discussed: load management, technical maturity, environmental impact (biological impact, greenhouse gas emissions etc.), power quality, efficiency, costs.

Battery technologies

Historical development in the context of storage mechanisms and chemistries.

Baterijske tehnologije

Zgodovinski razvoj z vidika razvoja mehanizmov in kemizma shranjevanja energije v baterijskih napravah. Podrobna predstavitev najpomembnejših sistemov (svinčeve baterije, nikelj-kadmij, nikelj-kovinski hidrid, litij-ionske baterije, post litij-ionski sistemi). Prednosti in slabosti različnih sistemov. Predstavitev in podrobnejša obravnava tipičnih odprtih vprašanj, povezanih s sodobnimi baterijskimi sistemi, predstavitev usmeritev za prihodnost.

Proizvodnje vodika, njegov transport in klasično shranjevanje

Uvodna predstavitev vodika kot enega najpomembnejših nosilcev energije v ekonomiji prihodnosti. Obravnava aktualnih in prihajajočih tehnologij za proizvodnjo vodika: elektroliza, fotoliza, termoliza, proizvodnja iz biomase, termikemični cikli. Primerjava tehnologij z vidika zrelosti, učinkovitosti, predstavitev odprtih vprašanj. Obravnava klasičnih tehnologij za shranjevanje vodika: shranjevanje plinastega vodika, utekočinjanje vodika in njegovo shranjevanje. Transportne tehnologije, varnostni vidiki.

Shranjevanje vodika v kovinskih hidridih in kompleksnih hidridih

Uvod v splošne principe in metode kemijskega shranjevanja vodika. Termodinamski vidiki shranjevanja vodika v kovinskih hidridih. Predstavitev najobetavnejših preprostih hidridov za uporabo v vodikovi ekonomiji (magnezijevi hidridi oz. hidridi prehodnih kovin). Kompleksni kovinski hidridi (na primer NaAlH_4 , LiAlH_4 , LiBH_4 ipd.). Vpliv nanostrukturiranosti na različne vidike shranjevanja (kapaciteta, kinetika, ciklabilnost, temperatura sproščanja,

Detailed presentation of the most important systems (lead-acid, nickel-cadmium, nickel-metal hydride, lithium ion, post-lithium ion systems etc.). Advantages and disadvantages of various systems. Presentation of open questions in modern systems, discussion of possible solution and research directions.

Hydrogen production, transport and classical storage

Introduction of hydrogen as important future energy carrier. Presentation of emerging hydrogen production technologies: electrolysis, photolysis, thermolysis, production from biomass, thermochemical cycles. Comparison in terms of maturity, efficiency, discussion of open issues. Classical hydrogen storage technologies: gaseous hydrogen storage, hydrogen liquefaction, liquid hydrogen storage. Transport technologies including safety issues.

Hydrogen storage in metal hydrides and complex hydrides

Introduction to general chemical hydrogen storage principles and methods. Thermodynamic aspects of hydrogen storage in metal hydrides. Presentation of most promising simple hydrides for use in a hydrogen economy (magnesium or transition metals hydrides), complex metal hydrides (for example NaAlH_4 , LiAlH_4 , LiBH_4 etc.). The impact of nanostructurization on performance requirements for storage (capacity, kinetics, cyclability, cost, release temperature).

cena itd.).

Temeljni literatura in viri / Readings:

- 1.) R.A. Huggins, Energy Storage: Fundamentals, Materials and Applications, Springer; 2nd ed. 2016 edition (November 14, 2015).
- 2.) Vitalie Stavila, Lennie Klebanoff, Metal Hydrides, D. Stolten, R. C. Samsun, N, Garland, Eds., 2016 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Wiley online library, <https://doi.org/10.1002/9783527693924.ch16>
- 3.) William M. Mueller (Editor), James P. Blackledge (Editor), George G. Libowitz (Editor), Metal Hydrides, Academic Press (September 12, 2013).

Cilji in kompetence:

Cilji:

Poglobljen študij:

- konceptov izdelave in mehanizmov delovanja najpomembnejših relevantnih sistemov za shranjevanje energije
- veličin, parametrov, s katerimi evalviramo delovanje različnih sistemov za shranjevanje
- potreb, problemov ki jih rešujemo z razvojem obravnavanih sistemov
- principa delovanja različnih baterijskih naprav, njihovih komponent in njihovih lastnosti
- principa delovanja različnih kovinskih hidridov ter njihovih lastnosti

Kompetence:

Splošne kompetence: razumevanje osnovnih principov delovanja najpomembnejših obstoječih sistemov za shranjevanje energije. Sposobnost kvalitativne in kvantitativne primerjave različnih sistemov za shranjevanje energije. Poseben poudarek je na razumevanju delovanja in lastnosti baterij ter

Objectives and competences:

Objectives:

In depth study of:

- Concepts and operation of available and relevant energy storage systems
- Comparison tools used in system evaluation.
- Different needs within energy storage
- Principle of operation of different battery devices, their main components and properties
- Principle of operation of different metal hydrides and their main properties

Competences:

General competence: The candidate is expected to manage basic principles for accessible and relevant energy storage systems and quantitatively and qualitatively be able to compare these. Special emphasis is on understanding the operation and properties of batteries and metal hydrides.

Acquired knowledge is the basis for training and applied work either in research or in routine

kovinskih hidridov.

Pridobljena splošna znanja so nato usmerjena v razumevanje in uposabljanje za raziskovalno delo na področju baterij in kovinskih hidridov.

laboratory work in the field of electrochemistry.

Predvideni študijski rezultati:

Znanje in razumevanje

Študenti pridobijo temeljna znanja, potrebna za razumevanje delovanja naprav za shranjevanje energije. Podrobno razumejo delovanje sodobnih baterijskih naprav in mehanizme shranjevanja energije v obliki kovinskih hidridov. Sposobni so sestaviti enostavno baterijsko celico in izmeriti njene glavne karakteristike.

Uporaba

Pridobljeno splošno in teoretično znanje je usmerjeno v poznavanje delovanja konkretnih aplikacij s področja shranjevanja energije, predvsem baterij in kovinskih hidridov. Deloma je zajeta tudi obravnava nekaterih drugih sodobnih naprav za shranjevanje energije. Študenti se na teh področjih usposobijo za samostojno raziskovalno delo in spoznajo načine prenosa in uporabe teoretskih zakonitosti v praksi.

Refleksija

Pridobljeno teoretično znanje omogoča študentom poglobljen vpogled v osnovne koncepte in zakonitosti na področju shranjevanja energije. Dodatno študenti pridobijo veščine prenosa osnovnih znanj na izbrane praktične primere, kot so baterije, kovinski hidridi in podobno. Vsebina in izvedba predmeta predstavlja dobro osnovo za kasnejše aktivno in samostojno udejstvovanje na področju raziskav in uporabe znanj s področja shranjevanja energije v praksi.

Prenosljive spretnosti

Intended learning outcomes:

Knowledge and Comprehension

Students acquire base knowledge needed for understanding operation of devices for energy storage. They understand in detail the operation of modern battery systems and mechanisms of energy storage in metal hydrides. They are able to construct a simple battery cell and measure its main characteristics.

Application

Acquired base knowledge is implemented in selected energy storage applications, in particular in batteries and metal hydrides. Partly the mechanisms of other modern storage systems are also highlighted and discussed. electroanalytical methods etc. Students become qualified for independent research in the field and get knowledge about transfer of theoretical concepts into practice.

Analysis

Acquired theoretical knowledge enables a profound insight into main concepts and laws in the field of energy storage devices. Additionally, the students acquire the ability to apply knowledge base into selected practical examples. The curriculum represents a solid background for later active and independent research in the fields of basic and applied research in the field of storage devices, in particular batteries and metal hydrides.

Skill-transference Ability

Students acquire experimental skills in the field of energy storage devices, master the use of scientific and professional literature and develop

Pridobijo veščine na področju konceptov in naprav za shranjevanje energije, znajo uporabljati znanstveno in strokovno literaturo ter pravilno predstaviti in razlagati merseke rezultate. Pridobijo znanja, potrebna za projektno in timsko delo.

the skill of presenting and explaining complex and specific results to wider audience. Competences needed for project and team work are also developed.

Metode poučevanja in učenja:

Learning and teaching methods:

Predavanja, seminarji, laboratorijsko delo

Lectures, tutorial, labwork

Delež (v %) /

Načini ocenjevanja:

Weight (in %) **Assessment:**

Pisni izpit	100%	Written exam
-------------	------	--------------

Reference nosilca / Lecturer's references:

1. DRVARIČ TALIAN, Sara, MOŠKON, Jože, DOMINKO, Robert, GABERŠČEK, Miran. Reactivity and diffusivity of Li polysulfides : a fundamental study using impedance spectroscopy. *ACS applied materials & interfaces*, ISSN 1944-8244. 2017, vol. 9, no. 35, str. 29760-29770.
2. LI, Yiyang, CHEN, Hungru, LIM, Kipil, DENG, Haitao D., LIM, Jongwoo, FRAGGEDAKIS, Dimitrios, ATTIA, Peter M., LEE, Sang Chul, JIN, Norman, MOŠKON, Jože, GUAN, Zixuan, GENT, William E., HONG, Jihyun, YU, Young-Sang, GABERŠČEK, Miran, ISLAM, M. Saiful, BAZANT, Martin Z., CHUEH, William C. Fluid-enhanced surface diffusion controls intraparticle phase transformations. *Nature materials*, 2018, vol. 17, iss. 10, str. 915-922.
3. MOŠKON, Jože, PIVKO, Maja, JERMAN, Ivan, TCHERNYCHOVA, Elena, ZABUKOVEC LOGAR, Nataša, ZORKO, Milena, ŠELIH, Vid Simon, DOMINKO, Robert, GABERŠČEK, Miran. Cycling stability and degradation mechanism of LiMnPO_4 based electrodes. *Journal of power sources*, 2016, vol. 303, str. 97-108.
4. FRANCO, Alejandro A., RUCCI, Alexis, BRANDELL, Daniel, FRAYRET, Christine, GABERŠČEK, Miran, JANKOWSKI, Piotr, JOHANSSON, Patrik. Boosting rechargeable batteries R&D by multiscale modeling : myth or reality?. *Chemical reviews*, 2019, vol. 119, iss. 7, str. 4569-4627.

5. PIRNAT, Klemen, DOMINKO, Robert, CERC KOROŠEC, Romana, MALI, Gregor, GENORIO, Boštjan, GABERŠČEK, Miran. Electrochemically stabilised quinone based electrode composites for Li-ion batteries. *Journal of power sources*, 2012, vol. 199, str. 308-314.

UL
ELEKT