

**ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ**

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
**Веће научних области техничких наука**

\_\_\_\_\_  
(Број захтева)

\_\_\_\_\_  
(Датум)

**ЗАХТЕВ**

**за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације**

Молимо да, сходно члану 45. став 5. тачка 3. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

**ВАЛОРИЗАЦИЈА КОБАЛТА ИЗ КАТОДНОГ МАТЕРИЈАЛА ИСТРОШЕНИХ ЛИТИЈУМ - ЈОНСКИХ БАТЕРИЈА**

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Технолошко инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: **Драгана (Владимир) Медић**
2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: **Технички факултет у Бору**
3. Година дипломирања: **2015.**
4. Назив магистарске тезе кандидата:
5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена:
6. Година одбране магистарске тезе:

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **02.07.2020.** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Нада Штрбац

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

Универзитет у Београду  
Технички факултет у Бору  
Број: VI/4-11-8  
Бор, 03. 07. 2020. године

На основу члана 49. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно-научно веће Факултета, на седници одржаној 02. 07. 2020. године, донело је

## ОДЛУКУ

I Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације кандидата **Драгане Медих**, мастер инжењера технологије, студента докторских академских студија студијског програма Технолошко инжењерство.

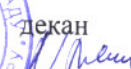
II Одобрава се именованој израда докторске дисертације под називом: „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум- јонских батерија“.

III За ментора се именује др **Снежана Милић**, редовни професор Универзитета у Београду, Техничког факултета у Бору.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности на одлуку о прихватању теме и одређивању ментора.

### Доставити:

- ВНО Универзитет у Београду
- именованој
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК  
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА  
декан  
Проф. др  Штрбац



**Универзитет у Београду**

**Технички факултет у Бору**

## **НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Извештај Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације кандидата Драгане Медић, мастер инжењера технологије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору број: VI/4-7-6 донетој на седници одржаној 30.04.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости предложене теме за израду докторске дисертације кандидата Драгане Медић студента докторских академских студија под називом: „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“. Предложена тема припада научном пољу техничко-технолошких наука и научној области - технолошко инжењерство, за које Технички факултет у Бору има акредитоване докторске академске студије. На основу достављеног материјала Комисија подноси следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1. Подаци о кандидату**

#### **1.1. Биографски подаци**

Драгана (Владимир) Медић, рођена је 23.10.1987. године у Бенковцу, Република Хрватска. Завршила је Алексиначку гимназију 2006. године. Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду уписала је школске 2006/2007 године. Основне академске студије завршила је дана 26.01.2012. године одбраном завршног рада на тему „Пристутство РАНs у земљиштима различитог типа у Србији“, са оценом 10. Просечна оцена током основних академских студија била је 8,83. Мастер академске студије, на студијском програму Технолошко инжењерство, на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду уписала је школске 2012/2013 године, а завршила дана 31.03.2015. године одбраном мастер рада на тему „Амино киселине као инхибитори корозије бакра у 0,05 М НСl“, са оценом 10 и стекла звање мастер инжењер технологије. Просечна оцена током мастер

студија била је 10,00. Докторске академске студије, на студијском програму Технолошко инжењерство, на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду уписала је школске 2015/2016 године, и положила све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 10,00.

Септембра 2013. године засновала је радни однос на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду у звању сарадника у настави. Новембра 2015. године изабрана је у звање асистента за ужу научну област Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство. У претходним изборним периодима била је ангажована на следећим предметима: Неорганска хемијска технологија, Корозија и заштита, Корозија материјала, Пројектовање у хемијској технологији, Општа хемија, Загађење и заштита ваздуха и Технологија нових материјала.

Током априла 2013. године, у оквиру Темпус пројекта „Modernisation of Post-Graduate Studies in Chemistry and Chemistry Related Programmes”, похађала је радионице на Универзитету Гринвич у Лондону које су биле организоване од стране „Thermal methods group” (тема „Thermal Analysis Techniques – An Overview”), и са групом студената из Србије радила је на анализи тешких метала у води и седименту Саве и Дунава користећи методе као што су: ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) и ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry).

Кандидат Драгана Медић учествовала је у догађајима посвећеним популаризацији науке, као што су: „Тимочки научни торнадо ТНТ“ и „Борска ноћ истраживача БОНИС“. Такође, била је члан организационог одбора међународне конференције Еколошка истина и истраживање животне средине (International Conference Ecological Truth and Environmental Research) – EcoTER 2018, EcoTER 2019 и EcoTER 2020.

## 1.2. *Списак објављених и саопштених радова*

### **Рад у врхунском међународном часопису**

**(M21a)**

1. S. Alagić, S. Tošić, M. Dimitrijević, J. Petrović, **D. Medić**, Chemometric evaluation of trace metals in *Prunus persica* L. Batech and *Malus domestica* from Minićevo (Serbia), Food Chemistry, 217 (2017) 568–575.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616313899>

### **Рад у међународном часопису**

**(M23)**

1. D. Medić, S. Milić, S. Alagić, I. Đorđević, S. Dimitrijević, Classification of spent Li-ion batteries based on ICP-OES/X-ray characterization of the cathode materials, Hemijska Industrija – Article in press, 74 (2020).  
<https://doi.org/10.2298/HEMIND200114012M>
2. S. Alagić, S. Tošić, M. Dimitrijević, J. Petrović, **D. Medić**, The characterization of heavy metals in the grapevine (*Vitis vinifera*) cultivar Rkatsiteli and wild blackberry (*Rubus*

fruticosus) from East Serbia by ICP-OES and BAFs, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47 (2016) 2034–2045.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2016.1225082>

3. M. D. Antonijević, M. Arsović, J. Časlavský, V. Cvetković, P. Dabić, M. Franko, G. Ilić, M. Ivanović, N. Ivanović, M. Kosovac, **D. Medić**, S. Najdanović, M. Nikolić, J. Novaković, T. Radovanović, Đ. Ranić, B. Šajatović, G. Špijunović, I. Stankov, J. Tošović, P. Trebše, O. Vasiljević, J. Schwarzbauer, Actual contamination of the Danube and Sava Rivers at Belgrade (2013), Journal of the Serbian Chemical Society, 79 (2014) 1169–1184.

<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0352-5139/2014/0352-51391400014A.pdf>

**Рад у часопису међународног значаја верификован посебном одлуком** (M24)

1. **D. Medić**, S. Alagić, S. Milić, Toksičnost osnovnih komponenti u Li-jonskim baterijama, Zaštita materijala, 60 (2019) 237–244.
2. **D. Medić**, M. Dimitrijević, B. Spalović, S. Milić, I. Đorđević, Reciklaža katodnog materijala iz istrošenih litijum-jonskih baterija, Zaštita materijala, 59 (2018) 347–366.
3. S. Alagić, **D. Medić**, M. Dimitrijević, S. Tošić, M. Nujkić, Phytoremediation potential of the grapevine in regard to lithium, Zaštita materijala, 57 (2016) 371–377.
4. **D. Medić**, M. Antonijević, S. Milić, M. Dimitrijević, Amino kiseline kao inhibitori korozije bakra u 0.05 M HCl, Zaštita Materijala, 56 (2015) 297–303.

**Саопштење са међународног скупа штампано у целини** (M33)

1. **D. Medić**, S. Milić, B. Spalović, I. Đorđević, Identifying chemical composition of cathode materials in lithium-ion batteries, International Mineral Processing and Recycling Conference, 08–10 May 2019, Belgrade, Serbia, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor (2019) 148–153 (ISBN: 978-86-6305-091-4).
2. **D. Medić**, S. Milić, I. Đorđević, B. Spalović, S. Stanković, Kinetic models for acid leaching of cathode materials from spent lithium-ion batteries, 51<sup>st</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy (IOC 2019), 16–19 October 2019, Bor, Serbia, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor (2019) 276–279 (ISBN: 978-86-6305-101-0).
3. I. Đorđević, S. Milić, **D. Medić**, B. Spalović, B. Ilić, Removal of Cr<sup>3+</sup> from electroplating wastewater using different adsorbents, 27<sup>th</sup> International Conference Ecological Truth and Environmental Research, EcoTER'19, Proceedings, 18–21 June 2019, Bor Lake, Serbia, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor (2019) 622–626 (ISBN: 978-86-6305-097-6).
4. B. Spalović, S. Milić, **D. Medić**, I. Đorđević, B. Ilić, Methods for removing copper from wastewater, 27<sup>th</sup> International Conference Ecological Truth and Environmental

Research, EcoTER'19, Proceedings, 18–21 June 2019, Bor Lake, Serbia, University of Belgrade- Technical Faculty in Bor (2019) 615–621 (ISBN 978-86-6305-097-6).

5. I. Đorđević, B. Spalović, **D. Medić**, M. Dimitrijević, S. Milić, Adsorption of  $\text{Cr}^{3+}$  from aqueous solution using bentonite clay composite, 26<sup>th</sup> International Conference Ecological Truth and Environmental Research, EcoTER'18, Proceedings, 12–15 June 2018, Bor Lake, Serbia, University of Belgrade-Technical Faculty in Bor (2018) 361–366 (ISBN: 978-86-6305-076-1).
6. U. Stamenković, I. Marković, M. Dimitrijević, **D. Medić**, SEM and EDS investigation of Zn-Sn alloys as potential high temperature lead-free solder, XXV International Conference "Ecological Truth" Eco-Ist'17, Proceedings, 12–15 June 2017 Vrnjačka banja, Serbia, University of Belgrade - Technical faculty in Bor (2017) 196–200 (ISBN: 978-86-6305-062-4).
7. **D. Medić**, B. Spalović, M. Dimitrijević, I. Đorđević, U. Stamenković, Pretreatment cathode material from spent Li-ion batteries, Recycling Technologies and Sustainable Development, 13–15 September, Bor, Serbia, University of Belgrade - Tehnical Faculty in Bor (2017) 135–141 (ISBN: 978-86-6305-069-3).
8. **D. Medić**, M. Dimitrijević, S. Milić, B. Spalović, Leaching  $\text{LiCoO}_2$  from spent Li-ion batteries, Recycling Technologies and Sustainable Development, 02–04 November, Bor, Serbia, University of Belgrade - Tehnical Faculty in Bor (2016) 71–76 (ISBN: 978-86-6305-051-8).
9. M. Dimitrijević, A. Radojević, S. Milić, **D. Medić**, B. Spalović, Recycling of platinum-group metals from automotive catalytic converters, Recycling Technologies and Sustainable Development, 02–04 November, Bor, Serbia, University of Belgrade - Tehnical Faculty in Bor (2016) 54–59 (ISBN: 978-86-6305-051-8).
10. S. Alagić, M. Dimitrijević, S. Tošić, M. Nujkić, **D. Medić**, Copper uptake by the grapevine and peach tree from the Bor region: A Comparison, 48<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, IOC 2016, Proceedings, September 28–October 01, 2016., Bor, Serbia, University of Belgrade - Technical faculty in Bor (2016) 96–99 (ISBN: 978-86-6305-047-1).
11. D. Urošević, V. Gardić, R. Todorović, M. Dimitrijević, **D. Medić**, T. Urošević, B. Zečević, Copper removal from iron ore using the combined procedure of sulphatization roasting – water leaching, 47<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, IOC 2015, Proceedings, 04–06 October 2015, Bor, Serbia, Mining and Metallurgy Institute Bor (2015) 101–104 (ISBN: 978-86-7827-047-5).
12. V. Radojičić, G. Kulić, S. Alagić, **D. Medić**, The effect of mineral matter content on the stationary burning rate of Burley tobacco from different production area in Serbia, XXI International Scientific and Professional Meeting "Ecological Truth", Eco-Ist'13, Proceedings, 04–07 June 2013, Bor Lake, Serbia, University of Belgrade - Technical faculty in Bor (2013) 398–405 (ISBN: 978-86-6305-007-5).

### **Саопштење са међународног скупа штампано у изводу**

**(M34)**

1. **D. Medić**, S. Alagić, M. Dimitrijević, The presence of lithium of anthropogenic origin in the aquatic organisms, International Scientific Conference on green economy and environment protection, Book of Abstracts, 23–25 April, Belgrade, Serbia (2018) pp.90 (ISBN: 978-86-89061-11-6).
2. **D. Medić**, S. Alagić, M. Dimitrijević, S. Milić, The origin of lithium in the environment, International Scientific Conference on Objectives of Sustainable Development in the Third Millennium, Book of Abstracts, 20–22 April, Belgrade, Serbia (2017) pp. 125 (ISBN: 978-86-89061-10-9).

### **Рад у водећем часопису националног значаја**

**(M51)**

1. **D. Medić**, S. Alagić, M. Dimitrijević, Prisustvo litijuma antropogenog porekla u vodenim organizmima, *Ecologica*, 25 (2018) 350–354.
2. **D. Medić**, S. Alagić, M. Dimitrijević, S. Milić, Poreklo litijuma u životnoj sredini, *Ecologica*, 24 (2017) 646–650.

#### *1.3. Студије и пројекти*

Кандидат Драгана Медић ангажована је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије из области основних истраживања под називом: „Неки аспекти растварања метала и природних минерала“ (број пројекта ОИ172031).

#### *1.4. Оцена подобности за рад кандидата на предложеној теми*

На основу претходно изнетих чињеница о досадашњем ангажовању кандидата, остварених резултата током докторских студија и научно-истраживачког рада кандидата, Комисија за писање извештаја констатује, да кандидат испуњава формалне услове за рад на изради докторске дисертације под називом „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“, као и да има одговарајућу научно-стручну усмереност у области којој припада предложена тема дисертације (технолошко инжењерство), те се оцењује подобном за рад на предложеној теми. Све наведено указује, да је кандидат Драгана Медић, својим досадашњим радом, оспособљена за израду докторске дисертације под називом „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“.

## 2. Предмет и циљ истраживања

### 2.1. Предмет истраживања

Литијум-јонске батерије су електрохемијски системи који омогућују конверзију хемијске енергије у електричну енергију. Последњих година интензивно се ради на повећању безбедности батерија, побољшању њихових перформанси, као и на смањењу цене готовог производа. Убрзани развој катодних материјала, довео је до замене производа са традиционалним катодним материјалима, што за последицу има нагомилавање електронског отпада. Предвиђа се да ће до краја 2020. године, око 14 000 тона батерија бити расположиво за рециклажу, и то само у земљама Европске уније. Правилним третирањем електронског отпада штити се животна средина и смањује експлоатација природних ресурса појединих метала који се у батеријама налазе у високим концентрацијама.

$\text{LiCoO}_2$  припада првој генерацији катодних материјала, и представља компоненту са највећим потенцијалом за рециклажу. Потреба за валоризацијом кобалта је важна, не само због његове канцерогености, мутагености и опште токсичности за здравље људи, већ и због његове широке примене у производњи топлотно отпорних легура. Кобалт се убраја у обојене метале који се користе у аеронаутици, електротехници, као и у производњи пигмената. Литијум, као једна од главних компоненти литијум-јонских батерија, представља веома вредан метал са многим индустријским применама, које могу изазвати и озбиљне еколошке проблеме (претежно због реактивности са  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ ).

У циљу побољшања ефикасности индустријских процеса валоризације метала, досадашња истраживања била су усмерена на проучавање кинетике растварања  $\text{LiCoO}_2$  у органским и неорганским киселинама. Због јаке хемијске везе између кобалта и кисеоника, за потпуно растварање  $\text{LiCoO}_2$  у киселинама, потребно је присуство редукујућег средства. У одсуству редукујућег средства,  $\text{LiCoO}_2$  се незнатно раствара и највероватније прелази у нерастворан облик  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . У највећем броју досадашњих истраживања, у својству редукујућег агенса коришћен је  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Истраживања усмерена на растварање  $\text{LiCoO}_2$  у киселој средини указују да не постоји потпуно слагање истраживача када се ради о механизму процеса растварања. Такође, додатни проблем представља хетерогеност система који је условљен различитим поступцима добијања катодног материјала.

Предмет докторске дисертације под називом „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“ биће испитивање могућности развоја хидрометалуршког поступка добијања кобалта из термички третираног катодног материјала. У оквиру истраживања, биће испитивани кинетички модели растварања  $\text{LiCoO}_2$  у инертној, оксидујућој и редукујућој атмосфери. За потребе докторске дисертације биће развијена апаратура, која ће обезбедити континуално праћење кинетике процеса уз добијање информација о валентном стању јона кобалта. Резултати дисертације пружиће одговор на питање у којој ће се атмосфери ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{SO}_2$ ), под утицајем различитих фактора (концентрација киселине, температура, однос чврсто-течно и др.) постићи највећи степен излужења кобалта. Такође, биће испитан утицај различитих

процесних параметара (pH вредност раствора, густина струје, температура и др.) на искоришћење струје током електролитичког таложења кобалта.

## 2.2. *Циљеви истраживања*

Циљ докторске дисертације „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“ је испитивање могућности развоја хидрометалуршког поступка добијање кобалта из термички третираног катодног материјала ( $\text{LiCoO}_2$ ). Из наведеног проистиче и потреба за развојем процедуре за сортирање батерија на основу хемијског састава катодног материјала. Класификација катодног материјала омогућиће даљи рад са батеријама где је катода у највећој мери изграђена од  $\text{LiCoO}_2$ . Потом, биће припремљена апаратура за безбедно пражњење батерија. Након примене термичког третмана за одвајање катодног материјала од алуминијумске фолије, добиће се полазни материјал за процес лужења.

Један од циљева истраживања је и развој апаратуре и процедура њене примене за одређивање оптималних услова процеса лужења. Добијени експериментални подаци биће искоришћени и за објашњење утицаја концентрације раствора, температуре, односа чврсто-течно и др., на понашање катодног материјала у сулфатној средини. Такође, добијени резултати биће основа за дефинисање одговарајућег кинетичког модела процеса лужења  $\text{LiCoO}_2$ .

Очекује се, да ће резултати докторске дисертације „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“ пружити одговор на питање који ће од испитиваних система дати највећи степен излужења кобалта. Такође, очекује се да ће резултати дисертације омогућити сагледавање механизма растварања  $\text{LiCoO}_2$  у испитиваним условима.

Један од циљева истраживања докторске дисертације је и одређивање оптималних услова електролитичког таложења кобалта из лужних раствора.

Резултати који буду добијени у току израде ове докторске дисертације биће публиковани у форми научних радова у међународним часописима са СЦИ листе, домаћим часописима и саопштени на домаћим и међународним скуповима.

## 2.3. *Осврт на релевантне библиографске изворе*

Литературни подаци указују на велики број истраживања која су усмерена на валоризацију вредних метала из истрошених литијум-јонских батерија. Процес валоризације метала из активног катодног материјала, могуће је обавити применом хидрометалуршког, пирометалуршког, механичког и биолошког третмана. Досадашња истраживања у лабораторијским условима у највећој мери су усмерена на унапређени хидрометалуршки третман. Пре примене хидрометалуршког третмана врши се пражњење, растављање батерија и одвајање катодног материјала од струјног колектора. Уобичајена

метода за пражњење батерија је њихово урањање у 5% раствор NaCl, или у 10% раствор Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Током поступка растављања батерија треба бити веома опрезан. У литератури су јасно назначене мере предострожности које треба спроводити у току рада. Непосредно пред процес лужења катодног материјала, неопходно је одвојити катодни материјал од алуминијумске фолије. Катодни материјал је најчешће везан за алуминијумску фолију посредством органског везива PVDF (поливинилиден-флуорид). За одвајање катодног материјала могу се применити неке од предтретманских техника као што су: термички третман, растварање везива у одговарајућем растварачу, растварање алуминијумске фолије у NaOH и др.

Лужење LiCoO<sub>2</sub> највише је испитивано у сумпорној киселини, због њене хемијске реактивности и ниске цене коштања. Поред H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, као редукујуће средство коришћен је и NaHSO<sub>3</sub>. У највећем броју литературних прегледа механизам растварања LiCoO<sub>2</sub> у киселој средини објашњен је применом модела неизреагованог језгра. За валоризацију кобалта из раствора примењиване су различите методе, међу којима су биле најзаступљеније: екстракција растварачима, хемијско и електрохемијско таложење. Поступком електрохемијског таложења може се валоризовати кобалт са веома високим степеном чистоће, као и степеном искоришћења струје. Неки од радова који ће служити као основа за истраживања су:

1. M. Contestabile, S. Panero, B. Scrosati (2001) A laboratory-scale lithium-ion battery recycling process, *Journal of Power Sources*, 92 (1–2)65–69.
2. X. Chen, C. Luo, J. Zhang, J. Kong, T. Zhou (2015) Sustainable Recovery of Metals from Spent Lithium-Ion Batteries: A Green Process, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3 (12)3104–3113.
3. M. Lu, H. Zhang, B. Wang, X. Zheng, C. Dai (2013) The Re-Synthesis of LiCoO<sub>2</sub> from Spent Lithium Ion Batteries Separated by Vacuum-Assisted Heat-Treating Method, *International Journal of Electrochemical Science*, 8,8201–8209.
4. G. Dorella, M.B. Mansur (2007) A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues, *Journal of Power Sources*, 170 (1)210–215.
5. Y. Yang, G. Huang, S. Xu, Y. He, X. Liu (2016) Thermal treatment process for the recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries, *Hydrometallurgy*, 165,390–396.
6. D.P. Mantuano, G. Dorella, R.C.A. Elias, M.B. Mansur (2006) Analysis of a hydrometallurgical route to recover base metals from spent rechargeable batteries by liquid– liquid extraction with Cyanex 272, *Journal of Power Sources*, 159 (2)1510–1518.
7. K. Liu, F.S. Zhang (2016) Innovative leaching of cobalt and lithium from spent lithium-ion batteries and simultaneous dechlorination of polyvinyl chloride in subcritical water, *Journal of Hazardous Materials*, 316, 19–25.
8. D. Tong, Q. Lai, X. Ji (2005) Recycling of LiCoO<sub>2</sub> cathode materials from spent lithium ion batteries, *Journal of Chemical Industry and Engineering (CHINA)*, 56,1967–1970.
9. J. Senćanski, D. Bajuk-Bogdanović, D. Majstorović, E. Tchernychova, J. Papan, M. Vujković (2017) The synthesis of Li(Co-Mn-Ni)O<sub>2</sub> cathode material from spent Li ion batteries and the proof of its functionality in aqueous lithium and sodium electrolytic

solutions, *Journal of Power Sources*, 342,690–703.

10. Z. Takacova, T. Havlik, F. Kukurugya, D. Orac (2016) Cobalt and lithium recovery from active mass of spent Li-ion batteries: Theoretical and experimental approach, *Hydrometallurgy*, 163,9–17.
11. P. Meshram, B.D. Pandey, T.R. Mankhand (2015) Recovery of valuable metals from cathodic active material of spent lithium ion batteries: Leaching and kinetic aspects, *Waste Management*, 45,306–313.
12. X. Chen, T. Zhou (2014) Hydrometallurgical process for the recovery of metal values from spent lithium-ion batteries in citric acid media, *Waste Management & Research*, 32 (11) 1083–1093.
13. X. Chen, H. Ma, C. Luo, T. Zhou (2017) Recovery of valuable metals from waste cathode materials of spent lithium-ion batteries using mild phosphoric acid, *Journal of Hazardous Materials*, 326,77–86.
14. F. Jiang, Y. Chen, S. Ju, Q. Zhu, L. Zhang, J. Peng, X. Wang, J. D. Miller (2018) Ultrasound-assisted Leaching of Cobalt and Lithium from Spent Lithium-ion Batteries, *Ultrasonics Sonochemistry*, 48,88–95.
15. P. Meshram, B.D. Pandey, T.R. Mankhand (2015) Hydrometallurgical processing of spent lithium ion batteries (LIBs) in the presence of a reducing agent with emphasis on kinetics of leaching, *Chemical Engineering Journal*, 281,418–427.
16. M.K. Jha, A.K. Amrita, K. Jha, V. Kumar, J. Hait, B.D Pandey (2013) Recovery of lithium and cobalt from waste lithium ion batteries of mobile phone, *Waste Management*, 33, 1890– 1897.
17. P. Meshram, B.D. Pandey, T.R. Mankhand (2014) Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy*, 150, 192–208.
18. Q. Meng, Y. Zhang, P. Dong (2017) Use of glucose as reductant to recover Co from spent lithium ions batteries, *Waste Management*, 64, 214–218.
19. X. Zeng, J. Li, N. Singh (2014) Recycling of Spent Lithium-ion Battery: A Critical Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44,1129–1165.
20. B. Swain, J. Jeong, J.C. Lee, G.H. Lee, J.S. Sohna (2007) Hydrometallurgical process for recovery of cobalt from waste cathodic active material generated during manufacturing of lithium ion batteries, *Journal of Power Sources*, 167,536–544.
21. J. Nan, D. Han, M. Yang, M. Cui, X. Hou (2006) Recovery of metal values from a mixture of spent lithium-ion batteries and nickel-metal hydride batteries, *Hydrometallurgy*, 84 (1–2) 75–80.
22. T. Suzuki, T. Nakamura, Y. Inoue, M. Niinae, J. Shibata (2012) A hydrometallurgical process for the separation of aluminum, cobalt, copper and lithium in acidic sulfate media, *Separation and Purification Technology*, 98, 396–401.
23. R. Golmohammadzadeh, F. Rashchi, E. Vahidi (2017) Recovery of lithium and cobalt from spent lithium-ion batteries using organic acids: Process optimization and kinetic aspects, *Waste Management*, 64,244–254.
24. J. Myoung, Y. Jung, J. Lee, Y. Tak (2002) Cobalt oxide preparation from waste  $\text{LiCoO}_2$  by electrochemical–hydrothermal method, *Journal of Power Sources*, 112 (2)639–642.

25. C.K. Lee, K.I. Rhee (2003) Reductive leaching of cathodic active materials from lithium ion battery wastes, *Hydrometallurgy*, 68 (1–3)5–10.
26. P. Zhang, T. Yokoyama, O. Itabashi, T.M. Suzuki, K. Inoue (1998) Hydrometallurgical process for recovery of metal values from spent lithium-ion secondary batteries, *Hydrometallurgy*, 47 (2–3)259–271.
27. R.C. Wang, Y.C. Lin, S.H. Wu (2009) A novel recovery process of metal values from the cathode active materials of the lithium-ion secondary batteries, *Hydrometallurgy*, 99, 194–201.
28. S.M. Shin, N. H. Kim, J.S. Sohn, D.H. Yang, Y.H. Kim (2005) Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes, *Hydrometallurgy*, 79,172–181.
29. J. Kang, G. Senanayake, J. Sohn, S.M. Shin (2010) Recovery of cobalt sulfate from spent lithium ion batteries by reductive leaching and solvent extraction with Cyanex 272, *Hydrometallurgy*, 100, 168–171.
30. M. J. Lain (2001) Recycling of lithium ion cells and batteries, *Journal of Power Sources*, 97–98, 736–738.
31. B. Wang, X.Y. Lin, Y. Tang, Q. Wang, M.K.H. Leung, X.Y. Lu (2019) Recycling LiCoO<sub>2</sub> with methanesulfonic acid for regeneration of lithium-ion battery electrode materials, *Journal of Power Sources*, 436,226–235.
32. C. Peng, K. Lahtinen, E. Medina, P. Kauranen, M. Karppinen, T. Kallio, B.P. Wilson, M. Lundström (2020) Role of impurity copper in Li-ion battery recycling to LiCoO<sub>2</sub> cathode materials, *Journal of Power Sources*, 450,227630.
33. A. Porvali, A. Chernyaev, S. Shukla, M. Lundström (2020) Lithium ion battery active material dissolution kinetics in Fe(II)/Fe(III) catalyzed Cu-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> leaching system, *Separation and Purification Technology*, 236,116305.
34. V.C.I. Takahashi, A.B. Botelho Junior, D.C.R. Espinosa, J.A.S. Tenório (2020) Enhancing cobalt recovery from Li-ion batteries using grinding treatment prior to the leaching and solvent extraction process, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8,103801.
35. D. Patil, S. Chikkamath, S. Keny, V. Tripathi, J. Manjanna (2020) Rapid dissolution and recovery of Li and Co from spent LiCoO<sub>2</sub> using mild organic acids under microwave irradiation, *Journal of Environmental Management*, 256,109935.
36. J. Nan, D. Han, X. Zuo (2005) Recovery of metal values from spent lithium-ion batteries with chemical deposition and solvent extraction, *Journal of Power Sources*, 152,278–284.
37. A. Cerpa, F.J. Alguacil (2004) Separation of cobalt and nickel from acidic sulfate solutions using mixtures of di(2-ethylhexyl)phosphoric acid (DP8R) and hydroxyoxime (ACORGA M5640), *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79,455–460.
38. J. Myoung, Y. Jung, J. Lee, Y. Tak (2002) Cobalt oxide preparation from waste LiCoO<sub>2</sub> by electrochemical–hydrothermal method, *Journal of Power Sources*, 112,639–642.

Поред наведене литературе, у дисертацији „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“ биће коришћена и друга релевантна

научна литература из области рециклаже катодног материјала из истрошених литијум-јонских батерија. Користиће се литература водећих светских издавача, расположива путем КОБСОН-а кроз доступне базе SCOPUS, Science Direct, Web of Science и сл. Такође, за анализу и обраду добијених експерименталних података користиће се најновија литература из наведених база података.

### 3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе на којима се базира истраживање у оквиру докторске дисертације „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“ проистекле су из опсежног прегледа литературе и анализе резултата истраживања великог броја аутора у овој области. Досадашња научна истраживања указују на неопходност имплементације иновативних технологија у процес рециклаже литијум-јонских батерија. На тај начин би се обезбедило смањење количине утрошене енергије и сачували природни ресурси. Имајући све то у виду, постављене су следеће хипотезе:

- Литијум-јонске батерије су значајан антропогени извор вредних метала;
- Недоступност уређаја за прецизну класификацију/сортирање батерија на основу хемијског састава коришћеног катодног материјала, један је од кључних проблема развоја процеса рециклаже литијум-јонских батерија;
- У процесу пражњења батерија може доћи до електрохемијског нагризања кућишта ћелија, тј. до уласка електролита у унутрашњост ћелије. Тада соли литијума ( $\text{LiPF}_6$ ) могу реаговати са водом и формирати  $\text{HF}$ , и на тај начин довести до смањења ефикасности процеса рециклаже;
- За висок степен излужења кобалта неопходно је присуство редукујућег агенса;
- Применом стандардне процедуре за лужење долази до смањења запремине лужног раствора, те се приликом израчунавања степена излужења мора користити корекциона формула;
- Преглед доступне научне литературе указује да су студије лужења  $\text{LiCoO}_2$  у сулфатној средини урађене претежно у атмосфери кисеоника, и то најчешће у присуству  $\text{H}_2\text{O}_2$  као редукујућег средства. Такође, мали број студија је усмерен на испитивање утицаја процесних параметара (рН вредност раствора, густина струје, температура и др.) на електролитичко таложење кобалта из раствора након лужења.

### 4. Научне методе истраживања

За класификацију литијум-јонских батерија у току израде докторске дисертације под називом „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија“ користиће се оптичка емисиона спектрометрија са индиковано куплованом плазмом (ICP-OES) и рендгенска дифракциона анализа (XRD). XRD анализа биће коришћена и за карактеризацију полазних узорака, као и лужног остатка. За одређивање оптималне температуре термичког третмана катодног материјала користиће се термогравиметријска анализа (TGA). Скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивном спектрометријом (SEM-EDS) биће употребљена за проучавање фазног и

хемијског састава узорака. Садржај кобалта у лужним растворима биће анализиран користећи UV-VIS спектрофотометар. Како би се одредила област потенцијала у којој се одвија електролитичко таложења кобалта биће примењена циклична волтаметрија.

Експериментална и аналитичка истраживања у оквиру ове докторске дисертације биће обављена:

- На Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду;
- У институту за рударство и металургију у Бору;
- У институту за хемију, технологију и металургију у Београду;
- Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду, као и другим институцијама које поседују опрему потребну за наведена испитивања.

## **5. Очекивани научни допринос**

Очекивани научни допринос израде докторске дисертације „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум- јонских батерија“ огледаће се у следећем:

- Развој процедуре за класификацију/сортирање батерија на основу хемијског састава коришћеног катодног материјала;
- Развој апаратуре за пражњење батерија без употребе агресивних електролита;
- Развој апаратуре за континуално праћење концентрације кобалта у лужном раствору;
- Употреба  $\text{SO}_2$  као редукујућег агенса у процесу лужења катодног материјала;
- Дефинисање оптималних параметара процеса лужења катодног материјала у присуству  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{SO}_2$ ;
- Кинетичка анализа процеса лужења катодног материјала;
- Дефинисање оптималних параметара при електролитичком таложењу кобалта из лужних раствора.

## **6. План истраживања и структура рада**

### *6.1. План истраживања*

План истраживања, који одређује ток рада на дисертацији, предвиђа следеће фазе:

- Преглед одговарајуће научне литературе и сакупљање релевантних података;
- Дефинисање предмета и циља истраживања;
- Класификација катодног материјала;

- Припрема и карактеризација  $\text{LiCoO}_2$ ;
- Извођење експеримената;
- Испитивање утицаја различитих параметара на процес лужења  $\text{LiCoO}_2$  (концентрација киселине, време, температура, однос чврсто-течно, и др.);
- Проучавање кинетичких модела лужења  $\text{LiCoO}_2$ ;
- Испитивање утицаја различитих параметара на процес електролитичког таложења кобалта из раствора након лужења (pH вредност раствора, густина струје, температура, и др.);
- Анализа и дискусија резултата;
- Формулисање одговарајућих закључака.

## 6.2. Структура рада

Оквирна структура докторске дисертације састојаће се од следећих поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Литературни преглед досадашњих истраживања
3. Циљ рада
4. Експериментални део
5. Резултати и дискусија
6. Закључак

### Литература

**Биографија кандидата и списак научних радова проистеклих током израде докторске дисертације**

## 7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве кандидата и образложења теме докторске дисертације, Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме закључује, да кандидат Драгана Медић, мастер инжењер технологије, испуњава све законске услове за израду предложене докторске дисертације. Комисија такође сматра, да је предложена тема „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум-јонских батерија”, по предмету истраживања, циљевима, садржају и очекиваним научним доприносима, адекватна за израду докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, да се кандидату Драгани Медић, мастер инжењер технологије, одобри израда докторске дисертације под називом „Валоризација кобалта из катодног материјала истрошених литијум- јонских батерија“ и да се за ментора именује проф. др Снежана Милић, редовни професор на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, која испуњава све Законом предвиђене услове (већи број радова публикованих у часописима са SCI листе).

У Бору, јун 2020. године

КОМИСИЈА:

др Снежана Милић, редовни професор

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

---

др Милан Антонијевић, редовни професор

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

---

др Слађана Алагић, ванредни професор

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

---

др Мирослав Сокић, научни саветник

Универзитет у Београду, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду

---

др Мирослав Павловић, научни сарадник

Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију у Београду

---

*Подаци о ментору*

За кандидата: **Драгана Медих**

Име и презиме ментора: **проф. др Снежана Милић**

Звање: **редовни професор**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. S.M. Šerbula, M.M. Antonijević, N.M. Milošević, **S.M. Milić**, A.A. Ilić, Concentrations of particulate matter and arsenic in Bor (Serbia), *Journal of Hazardous Materials*, 181, 1-3 (2010) 43-51; (ISSN: 0304-3894) (IF (2010) = 3,723; **M21**)
2. M.M. Antonijević, M.D. Dimitrijević, **S.M. Milić**, M.M. Nujkić, Metal concentrations in the soils and native plants surrounding the old flotation tailings pond of the Copper Mining and Smelting Complex Bor (Serbia), *Journal of Environmental Monitoring*, 14, 3 (2012) 866-877; (ISSN: 1464-0325) (IF (2012) = 2,085; **M22**)
3. M.B. Petrović, A.T. Stamenković, M.B. Radovanović, **S.M. Milić**, M.M. Antonijević, Influence of purine on copper behavior in neutral and alkaline sulfate solutions, *Chemical Papers*, 66, 7 (2012) 664-676; (ISSN: 0366-6352) (IF (2012) = 0,879; **M23**)
4. M.B. Radovanović, A.T. Stamenković, M.B. Petrović, **S.M. Milić**, M.M. Antonijević, Influence of purine on brass behavior in neutral and alkaline sulphate solutions, *International Journal of Electrochemical Science*, 7, 12 (2012) 11796-11810; (ISSN: 1452-3981) (IF (2011) = 3,729; **M22**)
5. M.B. Radovanović, M.B. Petrović, A.T. Simonović, **S.M. Milić**, M.M. Antonijević, Cysteine as a green corrosion inhibitor for Cu<sub>3</sub>Zn brass in neutral and weakly alkaline sulphate solutions, *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 7 (2013) 4370-4381; (ISSN: 0944-1344) (IF (2013) = 2,757; **M21**)
6. A.T. Simonović, M.B. Petrović, M.B. Radovanović, **S.M. Milić**, M.M. Antonijević, Inhibition of copper corrosion in acidic sulphate media by eco-friendly amino acid compound, *Chemical Papers*, 68, 3 (2014) 362-371; (ISSN: 0366-6352); (IF (2014) = 1,468; **M22**)
7. M.D. Dimitrijević, D.M. Urošević, Z.D. Janković, **S.M. Milić**, Recovery of copper from smelting slag by sulphation roasting and water leaching, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52, 1 (2016) 409-421; (ISSN: 1643-1049) (IF (2016) = 0,901; **M22**)
8. M.D. Dimitrijević, M.M. Nujkić, S.Č. Alagić, **S.M. Milić**, S.B. Tošić, Heavy metal contamination of topsoil and parts of peach-tree growing at different distances from a smelting complex, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 2 (2016) 615-630; (ISSN: 1735-1472) (IF (2016) = 1,915; **M22**)

9. M. Dimitrijević, D. Urošević, **S. Milić**, M. Sokić, R. Marković, Dissolution of copper from smelting slag by leaching in chloride media, ***Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy***, 53, 3 (2017) 407-412; (ISSN:1450-5339) (IF (2017) = 1,4; **M22**)
10. M. Pešić, **S. Milić**, M. Nujkić, M. Marić, Determination of Heavy Metal Concentration and Correlation Analysis of Turbidity: a Case Study of the Zlot Source (Bor, Serbia), ***Water, Air, & Soil Pollution***, 231, 3 (2020); (ISSN: 0049-6979) (IF (2018) = 1,774; **M22**)  
<https://doi.org/10.1007/s11270-020-4453-x>

Д Е К А Н

---

Проф. др Нада Штрбац