

Хемијски факултет
Број захтева: 392/5
датум: 13. 6. 2024. године

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области природних наука

З А Х Т Е В

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 48. ст. 5. тач 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ број 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/20, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

„Развој одрживе стратегије засноване на бифазним воденим системима и тетрабутилфосфонијум јонским течностима за издвајање критичних метала из катодног материјала литијум јонских батерија“

НАУЧНА ОБЛАСТ: Хемија – Аналитичка хемија;

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата:
ЈАСМИНА (ЈАСМИНКО) МУШОВИЋ

2. Предходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

ХЕМИЈСКИ ФАКУЛТЕТ БЕОГРАД, МАСТЕР ХЕМИЈА;

3. Година завршетка претходног нивоа студија: **2021.**

4. Година уписа на докторске студије: **2021.**

5. Назив студијског програма докторских студија: **ХЕМИЈА**

6. Датум подношења пријаве теме докторске дисертације: **19. 4. 2024.** године

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **ДР ДАЛИБОР СТАНКОВИЋ**

Звање: Доцент Универзитета у Београду – Хемијског факултета

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. B.B. Petković, M. Milčić, **D. Stanković**, I. Stambolić, D. Manojlović, V.M. Jovanović, S.P. Sovilj, Complexation ability of octaazamacrocyclic ligand toward Co²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺ metal cations: Experimental and theoretical study, *Electrochimica Acta* 89 (2013) 680–687.

<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.11.100>

2. I.Andjelkovic, **D.Stankovic**, M. Jovic, M. Markovic, J. Krstic, D. Manojlovic, G. Roglic, Microwave-hydrothermal synthesis of TiO₂ and zirconium doped TiO₂ adsorbents for removal of As(III) and As(V), *Journal of Saudi Chemical Society* 19 (2015) 429-435.

<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2014.05.009>

3. J. Mutic, D. Manojlovic, **D. Stankovic**, A. Lolic, Development of Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry for Arsenic Determination in Wine, *Polish Journal of Environmental Studies* 20 (2011) 133-139.

<https://www.pjoes.com/pdf-88539-22398?filename=Development%20of.pdf>

4. I. Andjelkovic, J. Nestic, **D. Stankovic**, D. Manojlovic, M. B. Pavlovic, C. Jovalekic, G. Roglic, Investigation of Sorbents synthesised by mechanical-chemical reaction for sorption of As(III) and As(V) from aqueous medium, *Clean Technologies and Environmental Policy* 16 (2014) 395-403.

<https://doi.org/10.1007/s10098-013-0635-1>

5. Ivan Andjelkovic, Bojan Jovic, Milica Jovic, Marijana Markovic, **D. Stankovic**, D.Manojlovic, G. Roglic, Microwave-hydrothermal method for the synthesis of composite materials for removal of arsenic from water, *Environmental Science and Pollution Research* 23 (2016) 469-476.

<https://doi.org/10.1007/s11356-015-5283-z>

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **ДР АЛЕКСАНДРА ДИМИТРИЈЕВИЋ**

Звање: Виши научни сарадник Универзитета у Београду – Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **A. Dimitrijević**, J. Milićević, A. Jocić, S. Marić, T. Trtić-Petrović, S. Papović, A. Tot, S. Gadžurić, M. Vraneš, Further insight into the influence of functionalization and positional isomerism of pyridinium ionic liquids on the aqueous two-phase system equilibria, *Fluid Phase Equilib.*, 512 (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2020.112520>
2. A. Jocić, S. Marić, **A. Dimitrijević**, A. Tot, S. Gadžurić, M. Vraneš, T. Trtić-Petrović, Protic ionic liquids as adjuvants to enhance extraction and separation performance of diverse polarity compounds in PEG-salt based aqueous biphasic system, *J. Mol. Liq.*, 303 (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112484>
3. S. Marić, A. Jocić, A. Krstić, M. Momčilović, L. Ignjatović, **A. Dimitrijević**, Poloxamerbased aqueous biphasic systems in designing an integrated extraction platform for the valorization of pharmaceutical waste, *Sep. Purif. Technol.*, 275 (June) (2021).
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119101>
4. S. Marić, A. Jocić, D. Tekić, J. Mušović, J. Milićević, **A. Dimitrijević**, Customizable cholinium-based aqueous biphasic systems as ecofriendly extraction platform for removal of pesticide from wastewaters, *Sep. Purif. Technol.*, 340 (February) (2024).
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126609>
5. **A. Dimitrijević**, S. Marić, A. Jocić, D. Tekić, J. Mušović, J.S. Amaral, Green Extraction Strategy Using Bio-Based Aqueous Biphasic Systems for Polyphenol Valorization from Grape By-Product, *Foods*, 13 (6) (2024).
<https://doi.org/10.3390/foods13060954>

Обавештавамо вас да је Наставно научно веће на седници одржаној **13. 6. 2024.** године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Горан Роглић

Прилог: 1. Одлука о прихватању теме и одређивању ментора

2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

На основу члана 46. Статута Хемијског факултета и члана 23. Правилника о докторским академским студијама на Универзитету у Београду – Хемијском факултету, Наставно-научно веће Хемијског факултета је дана 13. 6. 2024. године донело следећу

О Д Л У К У

Члан 1.

Прихвата се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Јасмине (Јасминко) Мушовић**, мастер хемичара, под насловом:

„Развој одрживе стратегије засноване на бифазним воденим системима и тетрабутилфосфонијум јонским течностима за издвајање критичних метала из катодног материјала литијум јонских батерија“

Члан 2.

Састав Комисије за подношење извештаја о оцени научне заснованости теме: **др Далибор Станковић**, доцент Универзитета у Београду – Хемијског факултета, **др Александра Димитријевић**, виши научни сарадник Универзитета у Београду – Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију, **др Драган Манојловић**, редовни професор Универзитета у Београду – Хемијског факултета, **др Јелена Мутић**, редовни професор Универзитета у Београду – Хемијског факултета, **др Слађана Марић**, научни сарадник Универзитета у Београду – Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију.

Члан 3.

За менторе се именују: **др Далибор Станковић**, доцент Универзитета у Београду – Хемијског факултета, **др Александра Димитријевић**, виши научни сарадник Универзитета у Београду – Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију.

Члан 4.

Одлука ступа на снагу даном доношења.

Члан 5.

Одлуку, Извештај комисије и Захтев доставити надлежном органу Универзитета. Одлуку доставити члановима Комисије, докторанту и Архиви Факултета.

ДЕКАН ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Горан Роглић

Универзитет у Београду – Хемијски факултет

Наставно-научно веће

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације Јасмине Мушовић, мастер хемичара

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржаној 16. 5. 2024. године, одређени смо у Комисију за подношење Извештаја о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације Јасмине Мушовић, мастер хемичара, под насловом:

„Развој одрживе стратегије засноване на бифазним воденим системима и тетрабутилфосфонијум јонским течностима за издвајање критичних метала из катодног материјала литијум јонских батерија “

На основу поднете документације и увида у досадашњи рад **Јасмине Мушовић**, Комисија подноси Наставно-научном већу Хемијског факултета, следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Биографски подаци о кандидату

Јасмина (Јасминко) Мушовић рођена је 15.01.1995. године у Београду (Савски венац). Основну школу у Београду, завршила је 2010, а природно-математички смер у „XIII београдској гимназији“ у Београду је завршила 2014. и те исте године уписује основне академске студије на Хемијском факултету, Универзитета у Београду, студијски програм Хемија. Завршни рад под називом „Одређивање садржаја Al, Fe, P и S у узорцима јабуке третираним Brevis хербицидом“ одбранила је 2020. године, на Катедри за аналитичку хемију. Основне академске студије Универзитета у Београду – Хемијског факултета, завршила је са просечном оценом 8,34 (осам и 34/100) и оценом 10 на завршном раду. Исте године је уписала мастер студије на Хемијском факултету, Универзитета у Београду, студијски програм Хемија, и 2021. одбранила је завршни рад под називом „Директна

екстракција Cd (II) i Pb (II) из седимента реке Саве применом водених бифазних система на бази јонских течности“ и експерименте за завршни мастер рад урадила је у Институту за нуклеарне науке „Винча“, Институту од националног значаја за Републику Србију, где је волонтирала до јануара 2022. Мастер академске студије Универзитета у Београду – Хемијског факултета, завршила је са просечном оценом 10,00 (десет) и оценом 10 на завршном раду. Докторске академске студије Универзитета у Београду – Хемијског факултета, студијског програма Хемија, уписала је 2021. године. До сада је положила све испите предвиђене планом и програмом за прву, другу и трећу годину докторских студија, студијског програма Хемија. Од јануара 2022. године ради у Институту за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију, на позицији истраживач приправник и тренутно је ангажована на теми „Развој одрживих интегрисаних процеса за изолацију разноврсних једињења применом иновативних решења у складу са принципима зелене хемије“. Учесник је COST (The European Cooperation in Science and Technology) акције (Action CA18202) за период од 2019 до 2023. године. Члан је Српског хемијског друштва, Клуба младих хемичара и EuChem-DAC SamplePrep Network мреже од 2022. године. У мају 2023. године на Универзитету у Катанији, Департману за хемију, преко Nectar Cost акције (Action CA18202) била је добитник гранта и учествовала је у краткорочној научној мисији. Научно истраживање Јасмине Мушовић усмерено је на област заштите животне средине. Бави се испитивањем и применом одрживих интегрисаних процеса базираних на екстракцијама (бифазним воденим системима) са јонским течностима које су у складу са принципима зелене хемије за изолацију и сепарацију полутаната различитог порекла.

Б. Објављени научни радови и саопштења

Јасмина (Јасминко) Мушовић је аутор и коаутор укупно двадесет шест саопштења, од којих су два рада у међународном часопису изузетних вредности (M21a), три рада у врхунским међународним часописима (M21), четири саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33), четрнаест саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34) и три саопштења са скупова националног значаја штампана у изводу (M64).

M21A – Радови публиковани у међународном часопису изузетних вредности:

- Lazarević D., **Mušović J.**, Trtić-Petrović T., Gadžurić S., Partition of parthenolide in ternary {block copolymer + biocompatible ionic liquid or natural deep eutectic solvent + water} systems, *Separation and Purification Technology* 314 (2023) 123653. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123653>
- Marić S., Jocić A., Tekić D., **Mušović J.**, Milićević J., Dimitrijević A., Customizable cholinium-based aqueous biphasic systems as ecofriendly extraction platform for removal of pesticide from wastewaters, *Separation and Purification Technology* 340 (2024) 126609. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126609>

M21 – Радови публиковани у врхунском међународном часопису:

- **Mušović J.**, Vraneš M., Papović S., Gadžurić S., Ražić S., Trtić-Petrović T., Greener sample preparation method for direct determination of Cd(II) and Pb(II) in river sediment based on an aqueous biphasic system with functionalized ionic liquids, *Journal of Molecular Liquids* 369 (2023) 120974. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120974>
- Ražić S., Arsenijević J., Đogo Mračević S., **Mušović J.**, Trtić-Petrović T., Greener chemistry in analytical sciences: from green solvents to applications in complex matrices. Current challenges and future perspectives: a critical review, *The Analyst* 148 (2023) 3130-3152. <https://doi.org/10.1039/D3AN00498H>
- Dimitrijević A., Marić S., Jocić A., Tekić D., **Mušović J.**, Amaral J.S., Green Extraction Strategy Using Bio-Based Aqueous Biphasic Systems for Polyphenol Valorization from Grape By-Product, *Foods* 13(6) (2024) 954. <https://doi.org/10.3390/foods13060954>

Саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33):

- **Mušović J.**, Lazarević D., Vraneš M., Gadžurić S., Trtić-Petrović T., Spectrophotometric study of stability constant of 1-butyl-3-methylimidazolium 2-mercaptopbenzothiazole and cadmium(II), 3rd European NECTAR Conference, Ljubljana, Slovenia, 2022, Proceedings: 37-38, ISBN 978-961-7078-29-9.

- Lazarević D., **Mušović J.**, Gadžurić S., Vraneš M., Trtić-Petrović T., Spectrophotometric determination of stability constants cobalt (II) and cholinium-picolinate, 3rd European NECTAR Conference, Ljubljana, Slovenia, 2022, Proceedings: 86-87, ISBN 978-961-7078-29-9.
- Mrđa D., **Mušović J.**, Vučićević B., Turanjanin V., Trtić-Petrović T., Marinović-Cincović M., Gojak M., Effect of Carbon Nanotubes and Nanofibers Addition on the Thermal Properties of Coconut Oil PCM, 20th International Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia Niš, Serbia, 2022.
- Mrđa D., Vučićević B., **Mušović J.**, Marinović-Cincović M., Trtić-Petrović T., Mladenović M., Turanjanin V., THE POSSIBILITY OF USING POLYMER-BASED PHASE CHANGE MATERIALS FOR THERMAL ENERGY STORAGE, XII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT, Trebinje, 2023.

Саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34):

- **Mušović J.**, Papović S., Vraneš M., Gadžurić S., Trtić-Petrović T., Evaluation of the environmental acceptability of the separation method based on ionic liquid for Cd(II) and Pb(II) determination, 58th Meeting of the Serbian Chemical Society, Beograd, Serbia, 2022, Proceeding: 79, ISBN: 978-86-7132-079-5.
- **Mušović J.**, Papović S., Vraneš M., Ražić S., Gadžurić S., Trtić-Petrović T., Functionalized Ionic Liquid Based on 2-Mercaptobenzothiazole for Solid-Liquid Extraction of Cd(II) and Pb(II) from a Sediment Sample, 2nd European Sample Preparation e-Conference, on-line, Organized by the EuChemS-DAC Sample Preparation Study Group and Network, 2022, Proceeding: 170, ISBN: 978-2-9602706-1-7.
- Trtić-Petrović T., Lazarević D., **Mušović J.**, PARTITION OF PARTHENOLIDE IN ABS BASED ON BLOCK COPOLYMER AND IONIC LIQUID, BIOPARTITIONING & PURIFICATION CONFERENCE, AVEIRO, PORTUGAL, 2022, Proceeding: 34.
- Ražić S., **Mušović J.**, Vraneš M., Papović S., Gadžurić S., Trtić-Petrović T., Greener Sample Preparation Method for Direct Determination of Toxic Metals in River Sediments

Using Functionalized Ionic Liquids, International Conference on Chemistry and the Environment – ICCE 2023, Venice, Italy, 2023. Proceeding: 188.

- **Mušović J.**, Marić S., Jocić A., Milićević J., Stanković D., Dimitrijević A., Responsive Ionic Liquid-Based Aqueous Biphasic Systems as Efficient Extraction Platform for Sustainable Removal of Pesticides from Wastewater, 28th Young Investigators' Seminar on Analytical Chemistry YISAC 2023, Belgrade, Serbia, 2023, Proceeding: 31, ISBN: 97886-7220-121-5.
- Lazarević D., **Mušović J.**, Jovanović J., Trtić-Petrović T., The Influence of Natural Deep Eutectic Solvents and Ionic Liquids on the Formation of the Biphasic Water Systems, Applications of Chemistry in Nanosciences and Biomaterials Engineering , on line , 2023.
- Lazarević D., **Mušović J.**, Trtić-Petrović T., Gadžurić S., Pluronic-based biocompatible ternary systems for extraction of parthenolide, 38th International Conference on Solution Chemistry , Belgrade, Serbia , 2023, Proceeding:35, ISBN: 978-86-7031-624-9.
- Trtić-Petrović T., **Mušović J.**, Stanković D., Vraneš M., Gadžurić S., The effect of pH value on the partitioning of technology-critical elements in aqueous biphasic systems based on a deep eutectic solvent, 38th International Conference on Solution Chemistry, Belgrade, Serbia , 2023, Proceeding: 107, ISBN: 978-86-7031-624-9.
- **Mušović J.**, Stanković D., Trtić-Petrović T., Vraneš M., Gadžurić S., Partitioning of metals by green aqueous biphasic systems based on functionalized ionic liquid and deep eutectic solvent, 38th International Conference on Solution Chemistry, Belgrade, Serbia , 2023, Proceeding:109, ISBN: 978-86-7031-624-9.
- **Mušović J.**, Stanković D., Vraneš M., Ražić S., Trtić-Petrović T., Separation of e-waste metals using green aqueous two-phase systems based on functionalized ionic liquids and deep eutectic solvents, EuroAnalysis 2023 , Geneva, Switzerland, 2023, Proceeding: 112.
- Tekić D., Dimitrijević A., Jocić A., Marić S., **Mušović J.**, Enhanced regeneration of adsorbent material through innovative application of ionic liquids, 3rd DIFENEW INTERNATIONAL STUDENT CONFERENCE DISC 2023 , Novi Sad , 2023, Proceeding:66, ISBN 978-86-6022-632-9.
- Tekić D., Dimitrijević A., Jocić A., Marić S., **Mušović J.**, Maximising pesticide extraction efficiency with ionic liquid-based aqueous biphasic systems optimisation approach, 3rd

DIFENEW INTERNATIONAL STUDENT CONFERENCE DISC 2023 , Novi Sad , 2023, Proceeding:65, ISBN 978-86-6022-632-9.

- **Mušović J.**, Tekić D., Marić S., Jocić A., Dimitrijević A., ANION INFLUENCE IN PHOSPHONIUM-BASED IONIC LIQUIDS ON THE FORMATION OF THE AQUEOUS BIPHASIC SYSTEMS, 3rd DIFENEW INTERNATIONAL STUDENT CONFERENCE DISC 2023 , Novi Sad , 2023, Proceeding:49, ISBN 978-86-6022-632-9.
- **Mušović J.**, Tekić D., Marić S., Jocić A., Dimitrijević A., EXTRACTION OF COBALT AND LITHIUM USING GREEN AQUEOUS BIPHASIC SYSTEMS BASED ON IONIC LIQUIDS, 3rd DIFENEW INTERNATIONAL STUDENT CONFERENCE DISC 2023, Novi Sad , 2023, Proceeding:48, ISBN 978-86-6022-632-9.

Саопштења са скупова од националног значаја штампана у изводу (M64):

- Lazarević D., **Mušović J.**, Trtić-Petrović T., Extraction of active pharmaceutical compound (parthenolide) using aqueous biphasic system based on triblock copolymers and deep eutectic solvent, 8th Conference of Young Chemists of Serbia, Beograd, Serbia, 2022, Proceeding: 68, ISBN: 978-86-7132-080-1.
- **Mušović J.**, Lazarević D., Stanković D., Trtić-Petrović T., Metal ion separations in polypropylene glycol (PPG400)-based aqueous biphasic systems with functionalized ionic liquids and deep eutectic solvents, 8th Conference of Young Chemists of Serbia, Belgrade, Serbia, 2022, Proceeding:69, ISBN: 978-86-7132-080-1.
- **Mušović J.**, Tekić D., Marić S., Dimitrijević A., Promising Phosphonium-Based Ionic Liquids aqueous biphasic systems for metal extraction, 9th Conference of Young Chemists of Serbia, Novi Sad, Serbia, 2023, Proceeding:91, ISBN: 978-86-7132-084-9.

В. Образложење теме

1. Научна област: Хемија

Ужа научна област: Аналитичка хемија

2. Предмет рада

Фокус предложене докторске дисертације биће на испитивању и развоју одрживе стратегије засноване на бифазним воденим системима (БВС) и јонским течностима (ЈТ) за издвајање критичних метала из катодног материјала литијум јонских батерија.

Ова научна студија обухватиће следеће истраживачке правце:

Први део истраживања обухватаће испитивање процеса расподеле метала у бифазним воденим системима са тетрабутилфосфонијум ЈТ и сулфатним солима. ЈТ су термички и хемијски стабилна једињења са ниским напоном паре, што их чини еколошки прихватљивим за примену у сепарационим процесима. Такође, ЈТ су такозвани дизајнирани растварачи тј. комбинацијом катјона и ањона је могуће подешавати њихова физичко-хемијска својства. Планирана је синтеза ЈТ са фосфонијум катјоном и комплексирајућим ањонима као што су лактат, гликолат, никотинат, диетилентриаминпентацетат, и др. који са изабраним металима граде комплексе различите стабилности. Најпре ће бити окарактерисана течно-течна равнотежа и одређени фазни дијаграми БВС а затим ће бити детаљно испитана расподела метала у овим системима. Такође ће бити одређене константе стабилности комплекса које граде метали и јонске течности како би се објаснили добијени резултати.

У другом делу истраживања биће урађена оптимизација екстракције изабраних метала из водених раствора. Детаљно ће бити испитани и оптимизовани услови екстракције, као што су састави БВС, рН, температура и односи фаза у БВС, у циљу добијања оптималних параметара екстракције односно високе ефикасности екстракције и сепарације испитиваних метала.

У трећем делу ће бити испитана примена оптимизованог БВС конкретно за екстракцију и сепарацију наведених метала из катодног материјала литијум јонских батерија из лужног раствора (односно сумпорне киселине са или без присуства оксиданса). С обзиром да је БВС заснован на ЈТ и сулфатима, а да су сулфатни ањони већ присутни у систему након лужења, формирање БВС се постиже подешавањем рН вредности раствора и евентуално додавањем сулфатне соли до претходно оптимално одређеног састава БВС.

У четвртом делу истраживања испитаће се примена ЈТ као самосталног средства за лужење или у комбинацији са стандардним лужним раствором са сумпорном киселином и биће испитани сви релевантни параметри лужења као што су време, температура, однос количине узорка и лужног раствора, однос компонената у лужном раствору итд.

3. Научни циљ истраживања

Основни циљ докторске дисертације ће бити да се испита, развије и оптимизује течно-течна екстракциона метода заснована на бифазним воденим системима са тетрабутилфосфонијум јонским течностима и сулфатима за издвајање метала из катодног материјала литијум јонских батерија.

Први корак ка овом циљу је испитивање утицаја ЈТ са тетрабутилфосфонијум катјоном и комплексирајућим анијонима као што су лактат, гликолат, никотинат, диетилентриаминпентацетат, и др. на грађење БВС у комбинацији са сулфатним солима. Најпре ће бити одређени фазни дијаграми за сваки појединачни систем (ЈТ + со + вода) и испитан утицај структуре конституената на формирање БВС. Такође, одређивање везних линија (нагиба и дужине) у саставу фазних дијаграма је од изузетне важности за каснију оптимизацију процеса екстракције. Биће испитан и дискутован механизам формирања БВС који је одговоран за раздвајање фаза код система са солима.

Следећи циљ је испитивање расподеле метала у БВС из водених раствора, одређивањем различитих екстракционих параметара (ефикасност екстракције, коефицијент екстракције и селективост). Такође, биће одређене константе стабилности комплекса које формирају метали и јонске течности у циљу испитавања корелације између способности екстракције БВС и стабилности комплекса. Након избора најефикаснијег екстракционог система, биће урађена оптимизација БВС односно одређени оптимални параметри (рН, температура, концентрације БВС компонената и односи фаза у БВС) за даљу примену у екстракцији метала из реалних узорака односно литијум јонских батерија. Испитивање и оптимизација сваког појединачног корака је врло важна како би се на крају ефикасно изоловала супстанца од значаја, у одговарајућем облику и са задовољавајућом селективношћу. На крају, стандардне таложне методе биће примењене за изолацију метала из матрикса ЈТ или соли. Такође, циљ ће бити и да се испита примена ЈТ као самосталног средства за лужење или у комбинацији са стандардним лужним раствором са сумпорном киселином. Биће испитани сви релевантни параметри лужења као што су време, температура, однос количине узорка и лужног раствора, однос компонената у лужном раствору итд.

Као крајњи и свеобухватни циљ докторске дисертације биће предложен принцип интегрисане сепарационе методе, за издвајање и изолацију метала који улазе у састав

литијум јонских батерија, у складу са принципима зелене хемије и одрживог развоја што би значајно допринело концепту валоризације електронског отпада (литијум јонских батерија).

4. Методе истраживања

У оквиру ове докторске дисертације биће коришћени следећи експериментални поступци, методе и технике:

- Приликом рада биће коришћене ЈТ са тетрабутилфосфонијум катјоном и комплексирајућим анијонима синтетисане на основу доступних процедура описаних у литератури, методом потенциометријске киселинско-базне титрације или реакцијом метатезе. Структуре синтетисаних ЈТ ће бити потврђене помоћу инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR; енгл. Fourier-transform infrared spectroscopy). Све компоненте ће бити одмераване гравиметријски коришћењем аналитичке ваге са прецизношћу од $1 \cdot 10^{-4}$ g.
- Тернарни фазни дијаграми за различите БВС (ЈТ + со + вода) биће одређени применом визуелне методе титрације до тачке замућења на собној температури и атмосферском притиску. Цртање и фитовање експерименталних података ће бити извршено помоћу програма OriginPro 2016 и MathCad 2015. У циљу потпуне карактеризације фазних дијаграма биће одређене дужине и нагиби везних линија, као и тачни састави фаза (гравиметријски или експериментално). Концентрације ЈТ у горњој и доњој фази БВС биће одређене методом УВ-ВИС спектроскопије (енгл. UV-Vis spectroscopy) или јонском хроматографијом (енгл. Ion chromatography).
- На основу добијених фазних дијаграма биће одређени услови за екстракцију тј. количине компонента бифазних водених система. Затим ће бити испитане расподеле метала из водених раствора и реалних узорака између фаза описаних БВС на основу којих ће се одредити екстракциони параметри, односно израчунати коефицијенти расподеле, ефикасности екстракције и селективности.
- Концентрације метала из раствора (БВС фаза и лужних раствора) биће одређене методом оптичке емисионе спектроскопије индуктивно спрегнуте плазме (енгл. Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy, ICP-OES).

- Константе стабилности комплекса биће одређене методом УВ-ВИС спектроскопије, применом спектрофотометријских титрација, а за одређивање броја врста и вредности константи стабилности биће коришћен програм НурСрес.
- Изолација метала из фазе богате ЈТ или фазе богате соли биће урађена применом таложних метода.

5. Актуелност проблематике

Литијум јонске батерије (ЛЈБ) су извор енергије које данас налазе широку примену у различитим областима, укључујући системе за складиштење енергије као што су хидроелектране, термоелектране, соларни системи, електрични уређаји, бицикли, возила, војна опрема, ваздухопловство и друге области. Катода је једна од кључних компонената ЛЈБ с обзиром на висок садржај метала - кобалта, литијума, никла и мангана, од којих су сви означени као критични у закону о критичним сировинама које је усвојила Европска Унија (енг. EU Critical Raw Material Act, Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724, (EU) 2019/1020). Имајућу у виду прогнозиран вишеструки раст употребе наведених метала у наредним годинама и деценијама, неопходно је уложити значајне ресурсе у развој технологије рециклаже ових метала. ЛЈБ представљају изузетан секундарни извор наведених метала с обзиром да се из пола милиона тона батерија може издвојити преко 75.000 тона литијума и 60.000 тона кобалта [1]. Истраживање и развој метода за издвајање метала из катодног материјала литијум-јонских батерија су од суштинског значаја за подстицање циркуларне економије и осигуравање одрживе будућности употребе метала. Ове технологије морају бити ефикасне, једноставне са практичног аспекта, као и енергетски и еколошки прихватљиве [2].

Постојеће технике рециклирања батерија углавном се ослањају на пирометалуршке и хидрометалуршке методе. Пирометалургија има предност у погледу оперативне једноставности, али носи низ недостатака нарочито са аспекта енергетске потрошње, емитовања штетних гасова и занемаривања литијума приликом издвајања метала. Са друге стране, хидрометалургија је ефикасна метода за екстракцију метала из батерија која не захтева велику потрошњу енергије. Међутим, хидрометалуршке методе захтевају значајну потрошњу токсичних хемикалија и комплексне процедуре које нису у складу са одрживим развојем и принципима зелене хемије [3].

Јонске течности представљају класу једињења које се састоје од великих органских катјона и различитих органских или неорганских ањона који су течни на температурама нижим од 100°C. ЈТ се могу сматрати „зеленијом“ алтернативом органским и неорганским токсичним растварачима, због своје неиспарљивости и незапаљивости [4]. До сада, фокус је углавном био на примени хидрофобних ЈТ, које се могу користити и као екстрактанти и као растварачи. Међутим, ове ЈТ такође се суочавају са изазовима везаним за њихову велику вискозност, токсичност и знатно мањи број комбинација катјона и ањона који могу наградити хидрофобну ЈТ. Са друге стране, увођење хидрофилних ЈТ у концепт бифазних водених система представља обећавајућу алтернативу ка одрживим екстракционим процесима издвајања метала. Фокус ове дисертације ће бити на БВС са ЈТ који се формирају комбинацијом водених раствора ЈТ са воденим раствором сулфатне соли изнад одређене концентрације. Генерално, БВС са ЈТ представљају знатно погоднију алтернативу течностечним системима јер је могуће адекватним избором ЈТ (односно одговарајућом комбинацијом катјона и ањона), друге компоненте БВС и релативно једноставном манипулацијом саставом система подесити карактеристике фаза БВС. Огромна предност БВС са ЈТ са аспекта зелене хемије је што се обе фазе састоје претежно од воде и неиспарљивих и нетоксичних конституената. Истовремено су карактеристике фаза довољно различите да се може постићи одлична селективност и висока ефикасност при издвајању једињења од интереса [4].

Последњих година, фокус истраживања издвајања метала из катодног материјала батерија је на развоју интегрисаних екстракционих система чије су главне предности мањи број корака и коришћење неконвенционалних растварача као што су ЈТ. Постоји више публикација, у којима је испитана примена БВС за екстракцију метала које се углавном фокусирају на селективну сепарацију метала - кобалта, никла и мангана, из катодних материјала различитих батерија. Patrício и сарадници су користили БВС засноване на полимерима и сулфатним солима, уз примену калијум тиоцијаната као комплексирајућег агенса за екстракцију кобалта, никла и гвожђа. Постигли су високе вредности ефикасности екстракције за кобалт, преко 99% док су ниже ефикасности добијене за гвожђе и никл (~12% и ~3%, редом) применом БВС са полиетиленгликолом 1500 у комбинацији са амонијум сулфатом. Испитан је и утицај рН вредности при чему су максимани фактори раздвајања између кобалта и гвожђа постигнути на рН=4 док за гвожђе и никл на рН=2 [5].

Даље, Leite и сарадници [6] су испитали БВС који се састоје од полоксамера (кополимера) и натријум сулфата, уз додатак различитих екстракционих агенаса за екстракцију кобалта и бакра. Оптимизацијом услова екстракције (рН вредност, избор и концентрација агенса) постигли су високу вредност сепарационог фактора између бакра и кобалта од 322 на рН=6. Метода је такође примењена на реални узорак ЛЈБ у више узастопних корака екстракције. Саи и сарадници [7] су користили два БВС који се састоје од хидрофилне јонске течности и различитих соли за селективно раздвајање кобалта, никла и мангана. У првом кораку, раздвојени су кобалт и никл и заједно екстраховани у фазу богату јонском течношћу, док је манган остао у фази богатој соли. У другом кораку, фаза богата јонском течношћу је помешана са натријум хлоридом у циљу настанка новог БВС који је омогућио ефективно раздвајање кобалта и никла где је никл екстрахован у фази богатој соли а кобалт у фази богатој јонском течношћу. Овај истраживачки тим је такође користио БВС који се састоји од полимера, аминокиселине и воде за екстракцију кобалта из реалног узорка. Аминокиселина је претходно коришћена за лужење кобалта из реалног узорка, а затим је кобалт екстрахован са вредношћу ефикасности екстракције од 97% и чистоће од преко 95% додавањем тиоцијанатних јона у БВС.

Међутим, БВС са ЈТ који се могу користити за екстракцију метала из катодних материјала нису довољно истражени. У циљу ефикасне екстракције метала је уведен је кисели БВС, где је показана потенцијална примена за истовремено лужење и екстракцију метала из концентрованих киселих раствора [8]. Gras и сарадници [9] су искористили кисели БВС који се састоји од јонске течности, хлороводоничне киселине и воде за екстракцију кобалта и никла и доказали да се ефикасно раздвајање оба метала може постићи у једном кораку. Такође је наглашено да се екстракција оба метала може подесити променом температуре и на 50 °C је екстрахован кобалт у фазу богату јонском течношћу, са фактором раздвајања у односу на никл од 400. Овај истраживачки тим даље је развио свој приступ, предлажући методу једног лонца која комбинује лужење, екстракцију и електродепозицију у један јединствени процес, олакшавајући рециклирање никла и кобалта из никл-метал хидридних батерија [10]. Подешавањем услова екстракције, односно променом концентрације хлороводоничне киселине и соли, постигнуто је селективно одвајање кобалта и никла. Међутим, утврђено је да киселина утиче на накнадну електродепозицију кобалта па је као решење предложено увођење јонске течности у БВС. Након екстракције кобалта у фазу

богату ЈТ променом количине воде у фази успешно је добијен чист метални кобалт [10]. Међутим, избор хидрофилних ЈТ које су способне да формирају киселе БВС је ограничен у поређењу са конвенционалним БВС са ЈТ где је доступно мноштво опција. Разматрајући широк избор хидрофилних ЈТ и њихова прилагодљива својства, постоји значајан неискоришћен потенцијал у овим системима који треба истражити и пронаћи стратегију за побољшање ефикасности и одрживости рециклирања метала из катодног материјала батерија.

6. Очекивани резултати

На основу постављених циљева, очекује се да из предложене докторске дисертације Јасмине Мушовић проистекну следећи резултати истраживања:

- Успешна синтеза јонских течности са тетрабутилфосфонијум катјонима и комплексирајућим анјонима као што су лактат, гликолат, никотинат, диетилентриаминпентацетат и други и њихова карактеризација (потврда структуре).
- Одређени и потпуно окарактерисани тернарни фазни дијаграми нових бифазних водених система сачињених од ЈТ и сулфатних соли.
- Одређени параметри екстракције метала из водених раствора применом БВС са ЈТ.
- Одређене константе стабилности комплекса насталих између метала и ЈТ.
- Дефинисани оптимални услови екстракције метала из воденог раствора, односно одабран најефикаснији БВС и његов састав, температура и рН раствора и однос БВС фаза, при којима се постиже висока ефикасност екстракције и селективност.
- Примена оптималног БВС за екстракцију метала из реалних узорака односно литијум јонских батерија.
- Примена ЈТ као средства за лужење метала из литијум јонских батерија и одређени оптимални услови за лужење метала.
- Предложен интегрисани процес за издвајање метала из литијум јонских батерија заснован на бифазним воденим системима са јонским течностима.

7. Литература

[1] K. Giza, B. Pospiech, J. Gega, Future Technologies for Recycling Spent Lithium-Ion Batteries (LIBs) from Electric Vehicles—Overview of Latest Trends and Challenges, *Energies* (2023) 16, 5777. <https://doi.org/10.3390/en16155777>.

[2] J. Xie, Y.C. Lu, A retrospective on lithium-ion batteries, *Nat. Commun.* 11 (2020) 9–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16259-9>.

[3] J. Spooren, K. Binnemans, J. Björkmalm, K. Breemersch, Y. Dams, K. Folens, P. Kinnunen, Near-zero-waste processing of low-grade, complex primary ores and secondary raw materials in Europe: technology development trends. *Resources, Conservation and Recycling* 160 (2020) 104919. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104919>.

[4] M. G. Freire, A. F. M. Cláudio, J. M. M. Araújo, J. A. P. Coutinho, I. M. Marrucho, J. N. C. Lopes, L. P. N. Rebelo, Aqueous biphasic systems: a boost brought about by using ionic liquids, *Chemical Society Reviews* 41(14) (2012) 4966. <https://doi.org/10.1039/C2CS35151J>.

[5] P. da R. Patrício, M.C. Mesquita, L.H.M. da Silva, M.C.H. Da Silva, Application of 862 aqueous two-phase systems for the development of a new method of cobalt(II), 863 iron(III) and nickel(II) extraction: A green chemistry approach, *J. Hazard. Mater.* 193 864 (2011) 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.062>.

[6] D. da S. Leite, P.L.G. Carvalho, L.R. de Lemos, A.B. Mageste, G.D. Rodrigues, Hydrometallurgical separation of copper and cobalt from lithium-ion batteries using aqueous two-phase systems, *Hydrometallurgy*, 169 (2017) 245. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.01.002>.

[7] C. Cai, T. Hanada, A.T.N. Fajar, M. Goto, Novel Ionic Liquid-Based Aqueous Biphasic System with Amino Acids for Critical Metal Recovery from Lithium-Ion Batteries, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 61 (15) (2022) 5306. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00295>.

[8] C. Cai, A.T.N. Fajar, T. Hanada, R. Wakabayashi, M. Goto, Amino Acid Leaching of Critical Metals from Spent Lithium-Ion Batteries Followed by Selective Recovery of Cobalt Using Aqueous Biphasic System, *ACS Omega*, (2022). <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06654>.

[9] M. Gras, N. Papaiconomou, N. Schaeffer, E. Chainet, F. Tedjar, J.A.P. Coutinho, I. 873 Billard, Ionic-Liquid-Based Acidic Aqueous Biphasic Systems for Simultaneous 874 Leaching and

Extraction of Metallic Ions, *Angew. Chemie - Int. Ed.* 57 (2018) 1563–875 1566.
<https://doi.org/10.1002/anie.201711068>.

[10] N. Schaeffer, M. Gras, H. Passos, V. Mogilireddy, C.M.N. Mendonça, E. Pereira, E. 857
Chainet, I. Billard, J.A.P. Coutinho, N. Papaiconomou, Synergistic Aqueous Biphasic 858
Systems: A New Paradigm for the “one-Pot” Hydrometallurgical Recovery of Critical 859 Metals,
ACS Sustain. Chem. Eng. 7 (2019) 1769–1777. 860
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05754>.

8. Закључак

На основу изложеног, закључујемо да је предложена тема актуелна, да су одабране истраживачке технике и методе одговарајуће и доступне, као и да је кандидаткиња својим досадашњим радом и резултатима показала способност за научно-истраживачки рад у области хемијских наука (Аналитичка хемија).

Сагласно Закону о високом образовању и Статуту Хемијског факултета, сматрамо да кандидат Јасмина Мушовић, студент докторских студија, испуњава све потребне услове за одобравање израде докторске дисертације. На основу тога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Хемијског факултета, да Јасмини Мушовић, мастер хемичару, одобри израду докторске дисертације под насловом:

„Развој одрживе стратегије засноване на бифазним воденим системима и тетрабутилфосфонијум јонским течностима за издвајање критичних метала из катодног материјала литијум јонских батерија “

За ментора се предлажу др Далибор Станковић, доцент Универзитета у Београду - Хемијског факултета и др Александра Димитријевић, виши научни сарадник Универзитета у Београду – Института за нуклеарне науке „Винча“, Института од националног значаја за Републику Србију. Списак радова предложених ментора из којих се може видети да испуњавају услове из Стандарда за акредитацију студијских програма докторских студија дати су у Прилогу 1 и 2.

У Београду, 31.5. 2024.

Комисија:

др Далибор Станковић (ментор), доцент
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Александра Димитријевић (ментор), виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију

др Драган Манојловић, редовни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Јелена Мутић, редовни професор
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

др Слађана Марић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију

Прилог 1. Изабрани радови предложеног ментора др Далибора Станковића (доцент):

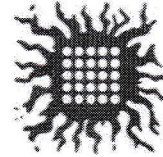
1. B.B. Petković, M. Milčić, **D. Stanković**, I. Stambolić, D. Manojlović, V.M. Jovanović, S.P. Sovilj, Complexation ability of octaazamacrocyclic ligand toward Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} metal cations: Experimental and theoretical study, *Electrochimica Acta* 89 (2013) 680–687. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.11.100>
2. I.Andjelkovic, **D.Stankovic**, M. Jovic, M. Markovic, J. Krstic, D. Manojlovic, G. Roglic, Microwave-hydrothermal synthesis of TiO_2 and zirconium doped TiO_2 adsorbents for removal of As(III) and As(V), *Journal of Saudi Chemical Society* 19 (2015) 429-435. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2014.05.009>
3. J. Mutic, D. Manojlovic, **D. Stankovic**, A. Lolic, Development of Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry for Arsenic Determination in Wine, *Polish Journal of Environmental Studies* 20 (2011) 133-139.
4. I. Andjelkovic, J. Nestic, **D. Stankovic**, D. Manojlovic, M. B. Pavlovic, C. Jovalekic, G. Roglic, Investigation of Sorbents synthesised by mechanical-chemical reaction for sorption of As(III) and As(V) from aqueous medium, *Clean Technologies and Environmental Policy* 16 (2014) 395-403. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0635-1>
5. Ivan Andjelkovic, Bojan Jovic, Milica Jovic, Marijana Markovic, **D. Stankovic**, D.Manojlovic, G. Roglic, Microwave-hydrothermal method for the synthesis of composite materials for removal of arsenic from water, *Environmental Science and Pollution Research* 23 (2016) 469-476. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5283-z>

Прилог 2. Изабрани радови предложеног ментора др Александре Димитријевић (виши научни сарадник):

1. **A. Dimitrijević**, J. Milićević, A. Jocić, S. Marić, T. Trtić-Petrović, S. Papović, A. Tot, S. Gadžurić, M. Vraneš, Further insight into the influence of functionalization and positional isomerism of pyridinium ionic liquids on the aqueous two-phase system equilibria, *Fluid Phase Equilib.*, 512 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2020.112520>
2. A. Jocić, S. Marić, **A. Dimitrijević**, A. Tot, S. Gadžurić, M. Vraneš, T. Trtić-Petrović, Protic ionic liquids as adjuvants to enhance extraction and separation performance of diverse polarity compounds in PEG-salt based aqueous biphasic system, *J. Mol. Liq.*, 303 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112484>
3. S. Marić, A. Jocić, A. Krstić, M. Momčilović, L. Ignjatović, **A. Dimitrijević**, Poloxamer-based aqueous biphasic systems in designing an integrated extraction platform for the valorization of pharmaceutical waste, *Sep. Purif. Technol.*, 275 (June) (2021). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119101>
4. S. Marić, A. Jocić, D. Tekić, J. Mušović, J. Milićević, **A. Dimitrijević**, Customizable cholinium-based aqueous biphasic systems as ecofriendly extraction platform for removal of pesticide from wastewaters, *Sep. Purif. Technol.*, 340 (February) (2024). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126609>
5. **A. Dimitrijević**, S. Marić, A. Jocić, D. Tekić, J. Mušović, J.S. Amaral, Green Extraction Strategy Using Bio-Based Aqueous Biphasic Systems for Polyphenol Valorization from Grape By-Product, *Foods*, 13 (6) (2024). <https://doi.org/10.3390/foods13060954>



Институт за нуклеарне науке „ВИНЧА“
Институт од националног значаја за Републику Србију
Универзитет у Београду
Лабораторија за физичку хемију 050



Жиро рачун: 205-113593-70 | Матични број: 7035250 | ПИБ: 101877940
Мике Петровића Аласа 12-14, 11001 Београд | телефон (011) 3408 868 | и-мејл: office.050@vinca.rs

Изјава

Изјављујем да радови:

S. Marić, A. Jocić, D. Tekić, J. Mušović, J. Milićević, A. Dimitrijević, Customizable cholinium-based aqueous biphasic systems as ecofriendly extraction platform for removal of pesticide from wastewaters, Sep. Purif. Technol., 340 (February) (2024).
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126609>

A. Dimitrijević, S. Marić, A. Jocić, D. Tekić, J. Mušović, J.S. Amaral, Green Extraction Strategy Using Bio-Based Aqueous Biphasic Systems for Polyphenol Valorization from Grape By-Product, Foods, 13 (6) (2024). <https://doi.org/10.3390/foods13060954>

који су наведени као део референци које квалификују ментора за вођење докторске дисертације не припадају радовима који су проистекли или који ће проистећи из моје докторске дисертације, нити ћу их користити у ту сврху.

Јасмина Мушовић

Истраживач приправник

Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију