

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – ХЕМИЈСКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости и оправданости теме за израду докторске дисертације мастер хемичара Јелене Б. Остојић

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Хемијског факултета, одржаној 12. јуна 2025. године, изабрани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације мастер хемичара Јелене Б. Остојић, пријављене под насловом: *„Развој волтаметријских метода за детекцију и квантификацију ксантинских алкалоида применом једнократних штампаних сензора“*; *„Development of voltammetric methods for the detection and quantification of xanthine alkaloids using disposable printed sensors“*. На основу поднете документације и увида у досадашњи рад кандидаткиње Јелене Б. Остојић, Комисија подноси Наставно-научном већу Хемијског факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Биографски подаци кандидаткиње

Јелена Остојић је рођена 22.01.1997. у Суботици.

Основну школу „Јован Јовановић Змај” и Нижу музичку школу у Суботици на гудачком одсеку, завршила је са одличним успехом 2012. Године. Гимназију „Светозар Марковић”, природноматематички смер, завршила је са одличним успехом 2016. године.

Студије хемије на Хемијском факултету Универзитета у Београду уписала је 2016. године. Дипломирала је на Катедри за аналитичку хемију Хемијског факултета Универзитета у Београду 30. Септембра 2021. године под менторством др Далибора Станковића са темом „Волтаметријско одређивање иргасана штампаним електродама модификованим лантан гвожђе оксидом и карбон нитридом”. Завршни рад је оцењен највишом оценом (10), а студије је завршила са просечном оценом 7,43.

Мастер академске студије уписала је 2021. године на Катедри за аналитичку хемију Хемијског факултета Универзитета у Београду под менторством др Далибора Станковића, а завршила их 30. Септембра 2022. године. Њен мастер рад, под називом „Развој електроаналитичких метода за квантитативно одређивање кофеина и никотина бором допованим дијамантским електродама и штампаним електродама модификованим угљеничним наноцевима“, оцењен је највишом оценом (10), а студије је завршила са просечном оценом 10,00.

Докторске академске студије уписала је 2022. године на Катедри за аналитичку хемију Хемијског факултета Универзитета у Београду.

Током мастер и докторских студија, у оквиру CEEPUS (Central European Exchange Programme for University Studies) програма, остварила је сарадњу са више европских универзитета и истраживачких института. Боравила је на Хемијском институту (Катедра за аналитичку хемију) Универзитета у Грацу (Аустрија), Хемијско-технолошком факултету (Катедра за аналитичку хемију) Универзитета у Пардубицама (Чешка) и Институту за електронику и фотонику Факултета електротехнике и информационих технологија на словачком технолошком Универзиту у Братислави (Словачка).

Чланица је Српског хемијског друштва од 2021. године и Клуба младих хемичара Србије од 2022. године. Током студија учествовала је на Конференцији младих хемичара Србије и на „YISAC” (The 30th Young Investigators’ Seminar on Analytical Chemistry) конференцији.

2022. године основала је своју фирму и од тада послује као самостална предузетница у области развоја брендова, са фокусом на сарадњи са компанијама из струке, комерцијалним лабораторијама и сродним секторима, промовишући кроз своје пословање науку и иновације.

У слободно време бави се стрељаштвом и свирањем виолине. Течно говори енглески језик и поседује основно знање италијанског језика.

Б. Објављени научни радови и саопштења

Јелена Б. Остојић је коауторка на једном раду у врхунском међународном часопису (M21a).

Потпуна библиографија кандидаткиње Јелене Б. Остојић, категорисана према критеријумима Министарства науке, технолошког развоја и иновација, дата је у Прилогу 1. овог Извештаја.

В. Образложење теме

Научна област: Хемија

Ужа научна област: Аналитичка хемија

2. Предмет научног истраживања

Предмет научног истраживања ове докторске дисертације засниваће се на развоју волтаметријских метода за детекцију и квантификацију ксантинских алкалоида (кофеина, теобромина и теофилина) помоћу штампаних сензора са бором допованом дијамантском радном електродом и радном електродом од вишезидних угљеничних наноцеви. Истраживање ће обухватити оптимизацију услова снимања и параметара

техника ради добијања брзе, прецизне, високо сензитивне и селективне методе одређивања присуства и концентрације ксантинских алкалоида у реалним узорцима прехранбених производа (кофеин и теобромин) и лекова (теофилин).

3. Научни циљ истраживања

У оквиру научноистраживачке активности кандидаткиње, планиран је развој метода за детекцију и квантификацију одабраних ксантинских алкалоида (кофеина, теобромина и теофилина) штампаним сензором са бором допованом дијамантском радном електроном и штампаним сензором са радном електроном од вишезидних угљеничних наноцеви, и примена развијених метода на реалним узорцима.

Главни циљеви предложене докторске дисертације ће бити:

- Морфолошка и микроструктурална карактеризација површина електрода уз помоћ скенирајућег електронског микроскопа (енг. *scanning electron microscope*, SEM).
- Испитивање електрохемијске активности електродних површина штампаних сензора.
- Оптимизација метода у погледу одабира помоћних електролита и волтаметријских техника.
- Оптимизација параметара волтаметријских техника.
- Аналитичка карактеризација метода и примењених штампаних сензора (линеарни концентрациони опсег, граница детекције, граница квантификације, репродуцибилност, поновљивост, тачност и прецизност) применом волтаметријских техника.
- Испитивање потенцијалних ометајућих једињења за сваки одабрани алкалоид понаособ.
- Примена развијених метода за одређивање одабраних алкалоида у узорцима неалкохолних пића, прехранбених и фармацеутских производа.

Очекује се да ће исход ове студије бити добијање брзих, прецизних, високо сензитивних и високо селективних метода које би представљале ефикасно решење за одређивање присуства и концентрације ксантинских алкалоида штампаним сензорима са бором допованом дијамантском електроном и вишезидним угљеничним наноцевима као радним електродама, и њихову примену на реалне узорке у прехранбеној и фармацеутској индустрији.

4. Методе истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације ће се одвијати у шест фаза.

У оквиру почетне фазе, кандидаткиња ће се бавити испитивањем електрохемијског понашања штампаних сензора са бором допованом дијамантском електродом и вишезидним угљеничним наноцевима у присуству одабраних ксантинских алкалоида, понаособ, применом цикличне волтаметрије (енг. *cyclic voltammetry*, CV). Након тога ће бити одабрани помоћни електролити за сваки ксантински алкалоид, понаособ.

Штампани сензор са бором допованом дијамантском електродом и вишезидним угљеничним наноцевима ће бити анализиран скенирајућом електронском микроскопијом (енг. *scanning electron microscope*, SEM) у циљу добијања информација о морфолошкој структури и микроструктури површине радних електрода и референтних квазиреверзибилних сребрних електрода. Такође ће бити испитивана електрокаталитичка својства штампаног сензора, снимањем електрохемијског одговора $K_4[Fe(CN)_6]$ у 0.1 М KCl при различитим брзинама скенирања.

Наредна фаза ће обухватити избор одговарајуће волтаметријске технике, диференцијалне пулсне волтаметрије (енг. *differential pulse voltammetry*, DPV) или скенирајуће волтаметрије са правоугаоним таласима (енг. *square wave voltammetry*, SWV) за сваки ксантински алкалоид понаособ. Потом оптимизацију радних параметара одабране волтаметријске технике са штампаним сензорима, у електрохемијском одређивању. Испитаће се линеарни концентрациони опсег за овај сензор и понаособ све ксантинске алкалоиде. На основу добијених података израчунаће се границе детекције и квантификације, одредиће се репродуцибилност и поновљивост сензора.

У последњој фази биће испитана могућност примене развијене методе, са штампаним сензором, за одређивање ксантинских алкалоида у узорцима различитих неалкохолних пића за кофеин, узорцима чоколаде за теобромин и узорцима лекова за теофиллин. Затим ће се урадити поређење добијених резултата са стандардним методама за њихово одређивање анализирањем истог сета узорака тим методама.

5. Актуелност проблематике

Ксантински алкалоиди, међу којима су најзначајнији кофеин, теобромин и теофиллин, представљају биолошки активна једињења са широком применом у прехранбеној и фармацеутској индустрији. Њихово присуство у великом броју комерцијалних производа, као што су напаци, чоколада и лекови, захтева развој брзих, поузданих и економичних метода за њихово одређивање. Праћење њихових концентрација је од општег значаја за контролу квалитета и регулаторне сврхе у индустрији.

Традиционалне аналитичке технике, попут течне хроматографије или спектрофотометрије, иако веома прецизне, често захтевају сложену припрему узорка и дуготрајно време анализе. Са друге стране, електрохемијске методе, посебно волтаметријске технике, представљају одрживији и „зеленији“ приступ. Оне захтевају знатно мање количине реагенса и узорака, чиме се генерише мање хемијског отпада и

смањује утицај на животну средину. Поред тога, омогућавају економски приступачнију анализу и са краћим временом припреме узорка.

У том контексту, штампани електрохемијски сензори представљају савремену платформу која, захваљујући својој минијатурности, преносивости и могућности масовне производње, има потенцијал за примену у анализи на лицу места (*point-of-care*). Бором допован дијамант (BDD) као радни електродни материјал поседује изузетну електрохемијску стабилност и широк оквир потенцијала, и високу физичку отпорност, што га чини погодним за примену у агресивним условима, укључујући јаке киселине и базе. Са друге стране, електроде на бази вишезидних угљеничних наноцеви (MWCNTs) одликују се високом проводљивошћу, значајном површинском активношћу и високом осетљивошћу, што их чини адекватним за примену у развоју аналитичких метода за одређивање органских једињења као што су ксантински алкалоиди.

Због све већег интересовања за развој преносивих, поузданих и економичних сензорских платформи, као и потребе за контролом биолошки-активних супстанци у индустрији хране и лекова, тема ове докторске дисертације је веома актуелна. Њен значај огледа се у могућности доприноса развоју нових аналитичких алата применљивих у контроли квалитета и безбедности хране чиме се остварује директна примена у области индустрије и фармације.

6. Очекивани резултати

У оквиру предложеног истраживања очекује се развој и валидација осетљивих, селективних и брзих електрохемијских метода за одређивање ксантинских алкалоида (кофеина, теобромина и теофилина) применом штампаних електрохемијских сензора са бором допованом дијамантском радном електродом и радном електродом од вишезидних угљеничних наноцеви. Развијене методе ће омогућити једноставну и директну анализу реалних узорка прехранбених производа и лекова, без потребе за захтевном припремом узорка.

Очекује се да ће оптимизацијом параметара волтаметријских метода, као и избором одговарајућих електролита, бити постигнут висок ниво аналитичке осетљивости и селективности. У том смислу, биће одређени и аналитички параметри као што су линеарни опсег концентрација, границе детекције и квантификације, поновљивост, репродуцибилност и тачност метода.

На основу резултата морфолошке и микроструктуралне карактеризације електрода методом скенирајуће електронске микроскопије (SEM), очекује се добијање детаљних информација о хомогености и структури радне површине, што ће пружити додатни увид у корелацију између структуре електрода и њиховог електрохемијског понашања. Поред тога, електрохемијска карактеризација у стандардним редокс системима омогућиће процену активне површине, стабилности и електрокаталитичке ефикасности сензора.

Такође се очекује да ће развијене методе показати добру применљивост у анализи реалних узорака, и да ће резултати добијени овим методом бити упоредиви са резултатима стандардних аналитичких техника. Успешна примена предложених сензора и метода у контексту контроле квалитета и безбедности хране и лекова указиваће на њихов потенцијал за широку практичну примену, посебно у оквиру брзих, преносивих и економичних аналитичких решења.

Сумирано, као исход овог истраживања очекује се:

- Развој поузданих волтаметријских метода за одређивање ксантинских алкалоида
- Демонстрација предности употребе штампаних сензора у савременој аналитици
- Доказивање применљивости метода на реалним узорцима
- Потврда да предложене методе представљају одрживу алтернативу конвенционалним аналитичким техникама у контроли квалитета прехранбених и фармацеутских производа

6. Литература

- (1) Ashihara, H.; Mizuno, K.; Yokota, T.; Crozier, A. *Xanthine Alkaloids: Occurrence, Biosynthesis, and Function in Plants*; 2017; Vol. 105.
- (2) Group, B. M. J. P. Coffee Consumption and Health: Umbrella Review of Meta-Analyses of Multiple Health Outcomes. *BMJ* **2018**, 360, k194. <https://doi.org/10.1136/bmj.k194>.
- (3) Elvira Gonzalez de Mejia; Marco Vinicio Ramirez-Mares. Impact of Caffeine and Coffee on Our Health. *Trends Endocrinol. Amp Metab.* **2014**, 25 (10), 489–492. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2014.07.003>.
- (4) Eva Martínez Pinilla; Ainhoa Oñatibia-Astibia; Rafael Franco. The Relevance of Theobromine for the Beneficial Effects of Cocoa Consumption. *Front. Pharmacol.* **2015**. <https://doi.org/10.3389/fphar.2015.00030>.
- (5) Hendrik J. Smit.; Rachel J. Blackburn. Reinforcing Effects of Caffeine and Theobromine as Found in Chocolate. *Psychopharmacology (Berl.)* **2005**, 101–106. <https://doi.org/10.1007/s00213-005-2209-3>.
- (6) Mitsugu Yoneda; Naotoshi Sugimoto; Masanori Katakura; Kentaro Matsuzaki; Hayate Tanigami; Akihiro Yachie; Takako Ohno-Shosaku; Osamu Shido. Theobromine Up-Regulates Cerebral Brain-Derived Neurotrophic Factor and Facilitates Motor Learning in Mice. *J. Nutr. Biochem.* **2017**. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.10.002>.
- (7) Yasuaki Einaga. Boron-Doped Diamond Electrodes: Fundamentals for Electrochemical Applications. *Acc. Chem. Res.* **2022**, 55 (24), 3605–3615. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.2c00597>.

- (8) Matvieiev, O.; Šelešovská, R.; Vojs, M.; Marton, M.; Michniak, P.; Hrdlička, V.; Hatala, M.; Janíková, L.; Chýlková, J.; Skopalová, J.; Cankař, P.; Navrátil, T. Novel Screen-Printed Sensor with Chemically Deposited Boron-Doped Diamond Electrode: Preparation, Characterization, and Application. *Biosensors* **2022**, *12* (4), 241. <https://doi.org/10.3390/bios12040241>.
- (9) Kateryna Muzyka; Jianrui Sun; Tadesse Haile Fereja; Yixiang Lan; Wei Zhang; Guobao Xu. Boron-Doped Diamond: Current Progress and Challenges in View of Electroanalytical Applications. *R. Soc. Chem.* **2018**, *11*, 397–414. <https://doi.org/10.1039/C8AY02197J>.
- (10) Mazloun-Ardakani, M.; Sheikh-Mohseni, M. A.; Mazloun-Ardakani, M.; Sheikh-Mohseni, M. A. Carbon Nanotubes in Electrochemical Sensors. In *Carbon Nanotubes - Growth and Applications (Book)*; IntechOpen, 2011. <https://doi.org/10.5772/20604>.

Г. Закључак

На основу свих елемената изложених у овом Извештају, Комисија сматра да је предложена тема научно заснована и актуелна, а очекивани резултати би могли представљати значајан допринос у области аналитичке хемије, посебно у развоју волтаметријских метода и примене штампаних електрохемијских сензора у анализи биолошки активних једињења. Развој преносивих, осетљивих и еколошки прихватљивих метода за одређивање ксантинских алкалоида има потенцијалну примену у контроли квалитета и безбедности хране и фармацеутских производа, што додатно потврђује научну и практичну вредност предложеног истраживања. Сагласно Закону о високом образовању и Статуту Универзитета у Београду - Хемијског факултета сматрамо да кандидаткиња испуњава све потребне услове за израду предложене докторске дисертације. На основу свега изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета, да мастер хемичару Јелени Б. Остојић одобри израду докторске дисертације под насловом:

“Development of voltammetric methods for the detection and quantification of xanthine alkaloids using disposable printed sensors”

„Развој волтаметријских метода за детекцију и квантификацију ксантинских алкалоида применом једнократних штампаних сензора”

За менторе предлажемо др Далибора Станковића, ванредног професора Универзитета у Београду – Хемијског факултета, и др Радована Метелку, доцента Универзитета у Пардубицама (Република Чешка) - Хемијско-технолошког факултета.

Списак радова предложених ментора на основу којег се доказује да испуњавају услове из Стандарда за акредитацију студијских програма докторских студија дати су у Прилогу 2. и Прилогу 3.

У Београду,

07. 07. 2025. године

Др Далибор Станковић, ванредни професор,
Универзитет у Београду-Хемијски факултет

Др Радован Метелка, доцент,
Катедра за Аналитичку хемију, Факултет хемијске технологије,
Универзитет у Пардубицама, Чешка

Др Јелена Мутић, редовни професор,
Универзитет у Београду-Хемијски факултет

Др Слађана Ђурђић, доцент,
Универзитет у Београду-Хемијски факултет

Др Весна Станковић, виши научни сарадник,
Институт за хемију, технологију и металургију – Институт од
националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду

Прилог 1. Библиографија кандидаткиње категорисана према Правилнику о стицању истраживачких и научних звања (Сл. гласник РС, бр. 159/2020-82).

Научни рад у међународном часопису

Knežević, S., **Ostojić, J.**, Ognjanović, M., Savić, S., Kovačević, A., Manojlović, D., Stanković, V., & Stanković, D. (2023). *The environmentally friendly approaches based on the heterojunction interface of the LaFeO₃/Fe₂O₃@g-C₃N₄ composite for the disposable and laboratory sensing of triclosan*. Science of The Total Environment, 857, 159250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159250>

Конференције

Jelena Ostojić, Kurt Kalcher, Astrid Ortner, Dalibor Stanković (2023, November 4th) *Determination of Theobromine in Chocolate with Screen-Printed Boron-Doped Diamond Electrode*, IX Conference of the Young Chemists of Serbia, Novi Sad, Serbia

Jelena Ostojić, Radovan Metelka, Kurt Kalcher, Astrid Ortner, Dalibor Stanković (2023, June 25-27) *Detection and Quantification of Caffeine and Theobromine with Screen-Printed Boron-Doped Diamond Electrode*, 28th Young Investigators' Seminar on Analytical Chemistry (YISAC 2023), Belgrade, Serbia

Прилог 2. Изабрани радови предложеног ментора, др Далибора Станковића

1. Aleksandar Mijajlović, Vesna Stanković, Filip Vlahović, Slađana Đurđić, Dragan Manojlović, **Dalibor Stanković**, *The cathodically pretreated boron-doped diamond electrode as an environmentally friendly electrochemical tool for the detection and monitoring of mesotrione in food samples*, Food Chemistry 447 (2024) 138993 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814624006423?dgcid=rss_sd_all
2. Petr Samiec, Ľubomír Švorc, **Dalibor M. Stanković**, Marian Vojs, Marián Marton, Zuzana Navrátilová: *Mercury-free and modification-free electroanalytical approach towards bromazepam and alprazolam sensing: A facile and efficient assay for their quantification in pharmaceuticals using boron-doped diamond electrodes*. Sensors and Actuators B Chemical 245 (2017) 963-971 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400517302435>
3. Marek Haššo, Olha Sarakhman, Slađana Đurđić, **Dalibor Stanković**, Ľubomír Švorc, *Advanced electrochemical platform for simple and rapid quantification of tannic acid in beverages using batch injection analysis with amperometric detection*, Journal of Electroanalytical Chemistry (2023) 117578 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572665723004381>
4. Lubomir Svorc, Marek Haššo, Olha Sarakhman, Kristina Kianickova, **Dalibor M. Stanković**, Pavel Otřisal: *A progressive electrochemical sensor for food quality control: Reliable determination of theobromine in chocolate products using a miniaturized boron-doped diamond electrode*. Microchemical Journal 142 (2018) 297-304 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X18307367>
5. Sonja Jevtić, Vesna Vukojević, Slađana Djurdjić, Marija V. Pergal, Dragan D. Manojlović, Branka B. Petković, **Dalibor M. Stanković**: *First electrochemistry of herbicide pethoxamid and its quantification using electroanalytical approach from mixed commercial product*. Electrochimica Acta 277 (2018) 136-142 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468618310089>

Прилог 3. Изабрани радови предложеног ментора, др Радован Метелка

1. Oleksandr Matvieiev, Renáta Šelešovská, Marián Marton, Michal Hatala, **Radovan Metelka**, Martin Weis, Marian Vojs, *Effect of different modification by gold nanoparticles on the electrochemical performance of screen-printed sensors with boron-doped diamond electrode*, *Scientific Reports* **13**, (2023) Article number: 21525 <https://www.nature.com/articles/s41598-023-48834-7>
2. **Radovan Metelka**, Pavlína Vlasáková, Sylwia Smarzewska. Dariusz Guziejewski, Milan Vlček, Milan Sýs, *Screen-Printed Carbon Electrodes with Macroporous Copper Film for Enhanced Amperometric Sensing of Saccharides*, *Sensors* (2022) 22(9), 3466 <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3466>
3. Jędrzej Kozak, Katarzyna Tyszczyk-Rotko, **Radovan Metelka**, *Voltammetric Quantification of Anti-Cancer Antibiotic Bleomycin Using an Electrochemically Pretreated and Decorated with Lead Nanoparticles Screen-Printed Sensor*, *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24(1), 472 <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/1/472>
4. Gylxhane Kastrati, Granit Jashari, Milan Sýs, Blanka Švecová, Tahir Arbneshi, **Radovan Metelka**, Zuzana Bílková, Lucie Korecká, *Simultaneous Determination of Vitamin E and Vitamin K in Food Supplements Using Adsorptive Stripping Square-Wave Voltammetry at Glassy Carbon Electrode*, *Appl. Sci.* 2020, 10(14), 4759 <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/14/4759>
5. Mariola Brycht, Anna Łukawska, Michaela Frühbauerová, Kateřina Pravcová, **Radovan Metelka**, Sławomira Skrzypek, Milan Sýs, *Rapid monitoring of fungicide fenhexamid residues in selected berries and wine grapes by square-wave voltammetry at carbon-based electrodes*, *Food Chemistry* **338** (2021) 127975 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620318379>