

**Наставно-научном већу
Хемијског факултета
Универзитета у Београду**

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације мастер хемичара Александра Д. Крстића, сарадника Института за Нуклеарне науке „Винча“

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета, Универзитета у Београду, одржаној 13. фебруара 2020. године, одређени смо у Комисију за подношење извештаја о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације Александра Д. Крстића, мастер хемичара, сарадника Института за Нуклеарне науке „Винча“, пријављене под називом:

**„Примена угљеничних криогелова допираних азотом и сумпором за
уклањање тешких метала и фармацеутика у процесу пречишћавања вода“**

На основу ове одлуке, Наставно-научном већу Хемијског факултета подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Основни подаци о кандидату

Александар Крстић је рођен 19.06.1991. у Лесковцу. Основну школу завршио је у Власотинцу. Средњу Медицинску школу, смер фармацеутски техничар, завршио је 2010. године у Лесковцу. Основне студије хемије на Хемијском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2010/2011. године, а дипломирао 2014. године са просечном оценом 8,32 и оценом 10 на дипломском раду (наслов рада: „Уклањање сметњи које потичу од јона гвожђа (III) „у линији“, при одређивању бакра проточно ињекционом (ФИА) методом са амперометријском детекцијом“). Мастер академске студије на Хемијском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2014/2015. године, а дипломирао је септембра 2015. године са просечном оценом 10,00 и оценом 10 на завршном (мастер) раду (наслов рада: „Квантификација киселих функционалних група на површини биоугљева применом модификованих Бојемових титрација“).

Докторске академске студије на студијском програму „Хемија“ при катедри за аналитичку хемију Хемијског факултета у Београду уписао је школске 2015/2016 године. Положио је све испите на докторским студијама предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10,00.

Професионалну каријеру започео је радећи као аналитичар у акредитованој лабораторији за испитивање Институт МОЛ д.о.о. од маја 2015. до априла 2018. године. У том периоду бавио се испитивањима вода, земљишта и карактеризације отпадних материјала. Од маја 2018. године је запослен у Лабораторији за физичку хемију, Института за Нуклеарне науке „Винча“. Од 01.09.2018. до 31.12.2019. године Александар Крстић је био ангажован на пројекту основних истраживања Министарства просвете науке и технолошког развоја Републике Србије број 172045 „Водонична енергија – развој нових материјала: електролитичко добијање водоника, водоничне горивне ћелије, изотопски ефекти“.

Као истраживач-аналитичар, учествовао је на пројекту Организације уједињених нација за индустријски развој (УНИДО) број 100313 под називом „Environmentally Sound Management and Final Disposal of PCBs“.

Члан је Клуба младих хемичара Србије и Међународног друштва за електрохемију.

Б. Објављени научни радови и саопштења

Александар Крстић је објавио два научна рада у међународним часописима: један рад у врхунском међународном часопису (M₂₁) и један у истакнутом међународном часопису (M₂₂). Коаутор је 5 научних саопштења на међународним научним скуповима и на скуповима од националног значаја.

Целокупна библиографија кандидата категорисана према критеријумима Министарства просвете и науке Републике Србије, дата је у Прилогу.

Ц. Образложење теме

1. Научна област: Хемија – Аналитичка хемија

2. Предмет рада

Предмет рада ове докторске дисертације је испитивање примене угљеничних криогелова допираних азотом и ко-допираних азотом и сумпором у уклањању тешких метала (цинк, кадмијум и жива) и фармацеутика (карбамазепин, напроксен, диазепам и диклофенак) из воде са циљем развоја угљеничног материјала са побољшаним адсорпционим карактеристикама у односу на материјале сличних (структурних и површинских) карактеристика. Кандидат ће у склопу докторске дисертације прво синтетисати немодификовани угљенични криогел и две групе модификованих угљеничних криогелова са различитим концентрацијама азота, односно азота и сумпора. Синтетисани узорци угљеничних криогелова биће детаљно структурно и површински анализирани. Након тога урадиће се испитивања адсорпционих карактеристика добијених материјала и механизма адсорпције за одабране тешке метале и фармацеутике и добијени резултати ће бити корелисани са резултатима структурно-површинске анализе.

3. Научни циљ истраживања

Синтетисани угљенични материјали са развијеном површином и порозношћу су веома атрактивни за примену у адсорпцији, јер се жељене карактеристике материјала могу постићи оптимизацијом процеса синтезе и применом различитих метода модификације. Угљенични криогелови, који се добијају сол-гел поступком, за којим следе сушење у супер-критичним условима и карбонизација, спадају у групу угљеничних материјала које карактеришу развијена порозност, хемијска инертност и компатибилност са животном средином. Уградња хетероатома у структуру угљеничних материјала, током или након синтезе, може имати утицаја на расподелу електрона унутар угљеничне структуре, што за последицу има промене у физичкохемијским карактеристикама материјала. Прелиминарна испитивања су показала да се уградњом азота, као и истовременом уградњом азота и сумпора, у одређеном опсегу, може постићи драстична промена у порозности и површинској хемији угљеничних криогелова. Прелиминарни резултати су показали да овако модификовани угљенични криогелови представљају добре кандидате за примену у процесима уклањања загађујућих супстанци из воде.

4. Методе истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације одвијаће се у неколико фаза.

У првој фази биће синтетисана три типа узорака угљеничних криогелова: немодификовани, допирани азотом, односно ко-допирани азотом и сумпором. Затим ће се урадити детаљна структурна и површинска карактеризација применом следећих инструменталних метода: Раман спектроскопија, мерење специфичне површине и порозности методом Браунер-Емет-Телер (БЕТ), инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR), скенирајућа електронска микроскопија (SEM), фотоелектронска спектроскопија х-зрацима (XPS).

У другој фази испитаће се способност угљеничних криогелова за адсорпцију тешких метала (цинка, кадмијума и живе) и фармацеутика (карбамазепина, напроксена, диазепама и диклофенака) методама индуковано спрегнуте плазме са оптичко емисионом спектрометријом (ICP-OES), односно техником високо ефикасне течне хроматографије са UV детектором (UHPLC-PDA). Кроз експерименте одређивања оптималног односа масе узорка и запремине адсорбата, кинетике адсорпције, зависности од рН вредности, утврдиће се оптимални услови адсорпције. Дефинисањем модела адсорпционих изотерми испитаће се слагање са теоријским моделима и дефинисање механизма адсорпције.

У трећој фази урадиће се испитивање примене узорака угљеничних криогелова за уклањање тешких метала и фармацеутика из синтетичких и реалних узорака вода. У циљу квантификације одабраних тешких метала (цинк, кадмијум, жива) биће коришћена техника индуктивно спрегнуто плазме са оптичко емисионом спектрометријом (ICP-OES). Квантификација одабраних фармацеутика (карбамазепина, напроксена, диазепама и диклофенака) биће урађена помоћу UHPLC-PDA. Извршиће се оптимизација методе за екстракцију одабраних фармацеутика из узорака вода и испитаће се могући утицај потенцијалних интерференци на њихово одређивање техником UHPLC-PDA. Одређивањем аналитичких параметара као што су граница детекције, граница квантификације, линеарност, тачност, репродуктивност и поновљивост испитаће се поузданост оптимизоване методе за квантификацију фармацеутика техником UHPLC-PDA.

5. Актуелност проблематике

Контаминација водених ресурса тешким металима и остацима фармацеутика представља растући ризик за животну средину и здравље људи. Угљенични материјали са развијеном површином и одговарајућом површинском хемијом веома су атрактивни за примену у уклањању различитих тешких метала и фармацеутика из воде¹⁻³. Угљенични криогел је до сада већ имао успешну примену за уклањање арсена из воде⁴. Модификација угљеничних материјала од великог је значаја јер пружа могућности креирања и контроле одређених карактеристика зависно од њихове примене. Азот и сумпор због својих димензија као и електронске структуре представљају допанте за које се очекује да се супституционо инкорпорирају у структуру угљеничног материјала. Супституционом уградњом хетроатома могуће је утицати на порозност и удео површинских активних места који су важни за примену угљеничних материјала као адсорбената у процесима пречишћавања воде⁵⁻⁸.

Референце:

1. H  l  ne Fallou, Nicolas Cimetiere, Sylvain Giraudet, Dominique Wolbert, Pierre Le Cloirec, Adsorption of pharmaceuticals onto activated carbon fiber cloths – Modeling and extrapolation of adsorption isotherms at very low concentrations, *Journal of Environmental Management* (2016) vol. 166 p.544-555
2. Seef Saadi Fiyadh, Mohammed Abdulhakim AlSaadi, Wan Zurina Jaafar, Mohamed Khalid AlOmar, Sabah Saadi Fayaed, Nuruol Syuhada Mohd, Lai Sai Hin, Ahmed El-Shafie, Review on heavy metal adsorption processes by carbon nanotubes, *Journal of Cleaner Production*, vol. 230, 1 September 2019, p.783-793
3. Sani Abdulrazak, K.Hussaini. H.M. Sani, Evaluation of removal efficiency of heavy metals by low-cost activated carbon prepared from African palm fruit, *Applied Water Science*, october 2017, vol.7, p.3151-3155
4. Tamara Z. Minovi  , Jelena J.Gulicovski, Milovan M.Stoiljkovi  , Bojan M.Joki  , Ljiljana S.Živkovi  , Branko Z. Matovi  , Biljana M.Babi  , Surface characterization of mesoporous carbon cryogel and its application in arsenic (III) adsorption from aqueous solutions, *Microporous and Mesoporous Materials*, vol.201, 1 January 2015, p.271-276
5. Chunxi Zhao, YangJiao, ZheGao, YalingYang, HongLi, N, S co-doped carbon dots for temperature probe and the detection of tetracycline based on the inner filter effect, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 367, December 2018, p. 137-144
6. QiongWu, WeiLi, Shouxin Liu, Chunde Jin, Hydrothermal synthesis of N-doped spherical carbon from carboxymethylcellulose for CO2 capture, *Applied Surface Science*, vol. 369, April 2016, p.101–107

7. Laura Roldán, Yanila Marco, Enrique García-Bordejé, Bio-sourced mesoporous carbon doped with heteroatoms (N,S) synthesised using one-step hydrothermal process for water remediation, *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 222, March **2016**, p. 55-62
8. Wojciech Kiciński, Mateusz Szala, Michał Bystrzejewski, Sulfur-doped porous carbons: Synthesis and applications, *Carbon*, vol. 68, March **2014**, p.1-32

6. Очекивани резултати

Кандидат Александар Крстић ће у оквиру своје докторске дисертације:

- Синтетисати угљенични криогел, и две серије узорака допираних азотом односно ко-допираних азотом и сумпором. Применом одговарајућих инструменталних техника одредиће структуру, морфологију, величину специфичне површине и порозност и садржај и врсту функционалних група синтетисаних материјала.
- Оптимизовати масу адсорбента и запремину адсорбата, рН адсорбата у циљу постизања ефикасне адсорпције за уклањање тешких метала (цинк, кадмијум и, живе) и фармацеутика (карбамазепина, напроксена, диазепама и диклофенака).
- Испитати процесе адсорпције тешких метала и фармацеутика, предложити механизме адсорпције повезати их са структурно површинским карактеристикама материјала.
- Након оптимизовања процеса адсорпције тешких метала и фармацеутика испитати могућност примене угљеничних криогелова на синтетичким и реалним узорцима вода.

Д. Закључак

Мишљења смо да се планирана истраживања уклапају у савремене токове аналитичке хемије и да ће пружити значајан и фундаментални и практични допринос развоју аналитичке хемије.

Допирање угљеничног криогела азотом, односно азотом и сумпором током процеса синтезе би омогућило једноставан начин функционализације површинских карактеристика. Познавањем утицаја допаната на карактеристике угљеничних материјала и њихову примену као адсорбента боље би се разумели механизми процеса адсорпције и на тај начин било би могуће значајно повећати њихову ефикасност као адсорбента.

Испитивање и оптимизовање процеса адсорпције тешких метала и резидуа фармацеутика пружили би бољи увид у механизам интеракције испитиваних анализата са угљеничним материјалом, у смислу промовисања ефикаснијег адсорбента са циљем уклањања истих у процесима пречишћавања вода.

Комбинацијом савремених аналитичких техника за детекцију и квантификацију испитиваних анализата од великог је значаја за праћење успешности уклањања тешких метала и резидуа фармацеутика из узорака вода што ће значајно допринети бољем упознавању адсорптивних карактеристика угљеничног материјала у процесима пречишћавања вода.

У складу са Статутом Хемијског факултета сматрамо да кандидат Александар Крстић испуњава све потребне услове за одобравање израде докторске дисертације. Сагласно томе, Комисија предлаже Наставно-научном већу Хемијског факултета да Александру Крстићу одобри израду докторске дисертације под насловом:

„Примена угљеничних криогелова допираних азотом и сумпором за уклањање тешких метала и фармацеутика у процесу пречишћавању вода“

За менторе се предлажу др Ана Калијадис, виши научни сарадник Института за Нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду и др Александар Лолић, ванредни професор Хемијског факултета Универзитета у Београду.

У Београду,

Комисија:

05.03.2020.

Др Ана Калијадис, виши научни сарадник (ментор)
Институт за Нуклеарне науке „Винча“,
Универзитет у Београду

Др Александар Лолић, ванредни професор (ментор)
Универзитет у Београду - Хемијски факултет,

Др Рада Баошић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Хемијски факултет,

Прилог:

Библиографија кандидата категорисана према критеријумима Министарства за науку Републике Србије

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. Porobić J. Slavica, **Krstić D. Aleksandar**, Jovanović J. Dragana, Ladjarević M. Jelena, Katnić B. Djurica, Mijin Z. Dušan, Marinović Cincović T. Milena, Synthesis and thermal properties of arylazo pyridone dyes, *Dyes and pigments*, **2019**, vol.170

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Ana Kalijadis, Nemanja Gavrilov, Bojan Jokić, Martina Gilić, **Aleksandar Krstić**, Igor Pašti, Biljana Babić, Composition, structure and potential energy application of nitrogen doped carbon cryogels, *Materials Chemistry and Physics*, **2020**, vol.239

Саопштења са међународних скупова штампано у целини (M33)

1. Marinković D. Ana, Buha-Marković Z. Jovana, **Krstić D. Aleksandar**, Savić Z. Jasmina, Repić S. Branislav, Environmental risk of utilization of bottom and fly ashes from cigar burner biomass combustion system as a soil fertilizer, The Fourth International Symposium on Agricultural Engineering ISAE 2019, Belgrade, Serbia 31. October - 2. November **2019**, Knjiga apstrakata, p.44, ISBN 978-86-7834-341-4
2. **Aleksandar Krstić**, Marija Ječmenica Dučić, Mina Seović, Djurica Katnić, Milena Pijović, Adrijana Šutulović, Gvozden Tasić, Validation method for determination of PCB congeners in soil using GC-MS, The 25 th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary October 7-8, **2019**, Proceedings p. 175-177, ISBN 978-963-306-702-4

Саопштења са скупова од националног значаја штампаних у изводу (M64)

1. **Aleksandar D. Krstić**, Mina M. Seović, Marija V. Ječmenica Dučić, Đurica B. Katnić, Comparison of two cleanup methods of aliphatic hydrocarbons removal for the determination of PAHs in sludge, 7th Conference of the young chemists of Serbia Belgrade, 2nd November, **2019**, Knjiga apstrakata, CA PP 06 p. 62 ISBN 978-86-7132-076-4
2. **Aleksandar D. Krstić**, Aleksandar Đ. Lolić, Marija A. Ilić, Aleksandar M. Mijatović, Snežana J. Zlatanović, Zoran P. Nedić, Vesna M. Pavelkić, Određivanje sadržaja kiselih funkcionalnih grupa na površini biougljeva primenom Boehm-ovih titracija, 52 savetovanje Srpskog Hemijskog društva, Novi Sad 29. i 30. Maj, **2015**,- Knjiga apstrakata, AH P 5, ISBN 978-86-7132-056-6
3. **Aleksandar Krstić**, Snežana Mandić, Uklanjanje smetnji koje potiču od jona gvožđa (III) „u liniji” pri određivanju bakra protočno injekcionom (FIA) metodom sa amperometrijskom detekcijom 51 savetovanje Srpskog Hemijskog društva, Niš, 5-7 jun 2014. Knjiga apstrakata, HA P 05, ISBN 978-86-7132-054-2

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме ментора: **др АНА КАЛИЈАДИС**

Звање: **ВИШИ НАУЧНИ САРАДНИК**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације

1. **Ana Kalijadis**, Jelena Đorđević, Tatjana Trtić-Petrović, Marija Vukčević, Maja Popović, Vesna Maksimović, Zlatko Rakočević, Zoran Laušević, *Preparation of boron-doped hydrothermal carbon from glucose for carbon paste electrode*, CARBON 95 (2015) 42-50
2. Marija M. Vukčević, **Ana M. Kalijadis**, Tatjana M. Vasiljević, Biljana M. Babić, Zoran V. Laušević, Mila D. Laušević, *Production of activated carbon derived from waste hemp (Cannabis sativa) fibers and its performance in pesticide adsorption*, MICROPOROUS AND MESOPOROUS MATERIALS 214, (2015) 156-165
3. Minovic-Arsic Tamara, **Kalijadis Ana**, Matovic Branko, Stoiljkovic Milovan, Pantic Jelena, Jovanovic Jovan, Petrovic Rada, Jokic Bojan, Babić Biljana, Arsenic(III) adsorption from aqueous solutions on novel carbon cryogel/ceria nanocomposite, PROCESSING AND APPLICATION OF CERAMICS 10, (2016) 17-23
4. Lalovic Bojana, Djurkic Tatjana, Vukcevic Marija, Jankovic-Castvan Ivona, **Kalijadis Ana**, Lausevic Zoran, Lausevic Mila, Solid-phase extraction of multi-class pharmaceuticals from environmental water samples onto modified multi-walled carbon nanotubes followed by LC-MS/MS, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH 24, (2017) 20784-20793
5. Marina Maletić, Marija Vukčević, **Ana Kalijadis**, Ivona Janković-Častvan, Aleksandra Dapčević, Zoran Laušević, Mila Laušević, Hydrothermal synthesis of TiO₂/carbon composites and their application for removal of organic pollutants, ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY 12, (2019) 4388-4397

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме ментора: **др АЛЕКСАНДАР ЛОЛИЋ**

Звање: **ВАНРЕДНИ ПРОФЕСОР**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације

1. Mutic Jelena, Manojlovic Dragan, Stankovic Dalibor, **Lolic Aleksandar**, *Development of Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry for Arsenic Determination in Wine*, POLISH JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES 20 (2011) 133-139
2. **Lolic Aleksandar**, Paiga Paula, Santos Lucia, Ramos Sandra, Correia Manuela Delerue-Matos Cristina, *Assessment of non-steroidal anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in seawaters of North of Portugal: Occurrence and environmental risk*, SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 508 (2015) 240-250
3. Paiga Paula, **Lolic Aleksandar**, Hellebuyck Floris, Santos Lucia, Correia Manuela, Delerue-Matos Cristina, *Development of a SPE-UHPLC-MS/MS methodology for the determination of non-steroidal anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in seawater*, JOURNAL OF PHARMACEUTICAL AND BIOMEDICAL ANALYSIS 106 (2015) 61-70
4. Antunovic Vesna, Ilic Marija, Baosic Rada, Jelic Dijana, **Lolic Aleksandar**, *Synthesis of MnCo₂O₄ nanoparticles as modifiers for simultaneous determination of Pb(II) and Cd(II)*, PLOS ONE 14 (2019)
5. Dago-Mracevic Svetlana, Krstic Marko, **Lolic Aleksandar**, Razic Slavica, *Comparative study of the chemical composition and biological potential of honey from different regions of Serbia*, MICROCHEMICAL JOURNAL 152, (2020)