

**Универзитет у Београду – Хемијски факултет**

**Студентски трг 12-16**

**11000 Београд, Србија**

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

**Предмет:** Извештај о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације кандидата Жељка Трифковића, мастер хемичара.

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Хемијског факултета, одржаној 9. априла 2026. године, изабрани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације кандидата Жељка Трифковића, мастер хемичара, студента докторских академских студија, пријављене под насловом:

**„Конјугати 4-аминобензојеве киселине и фулерена C<sub>60</sub> у заштити од УВ зрачења“**

На основу увида у поднету документацију подносимо Наставно-научном већу следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **А. Биографски подаци о кандидату**

Жељко Трифковић рођен је 6. септембра 1999. године у Бијељини, Република Српска, Босна и Херцеговина. Основну школу завршио је у Угљевику, а Средњу медицинску школу завршио је 2018. године у Бијељини, смер Медицински техничар. Основне академске студије Универзитета у Београду – Хемијског факултета завршио је 2022. године са просечном оценом 8,80 (осам и 80/100) и оценом 10 (десет) на завршном раду под називом „Синтеза и одређивање антиоксидативних вриједности деривата фулеропиролидина”. Исте године уписао је мастер академске студије студијског програма Хемија на Универзитету у Београду – Хемијском факултету, а завршио 2023. године са просечном оценом 10,00 (десет и 100/100) и оценом 10 (десет) на завршном раду под називом „Синтеза фулеропиролидина са фенолном подјединицом и одређивање њихове биолошке активности”. Током основних студија, 2022. године учествовао је на семинару „Symbiosis” посвећеном контролисаном дизајну ефикасних ензим-MOF композита за биокатализу. Такође, у оквиру организације „Отворене лабораторије“ био је један од предавача и реализатора хемијских радионица. Похађао је „GrInShield“ летњу школу посвећену хемији угљеничних наноматеријала 2023. и 2024. године. За сарадника у настави на катедри за Органску хемију Хемијском факултету изабран је 2022. године. Докторске академске студије уписао је 2023. године, а 2024. године стиче звање асистент на Катедри за органску хемију Хемијског факултета. Учествовао је у реализацији лабораторијских вежби из предмета Органска хемија 1 и 2 за студенте ОАС Хемија, ОАС Хемија животне средине и ИАС Настава хемије, Органска хемија 1 за студенте ОАС Биохемија, Органска хемија за студенте Биолошког факултета Универзитета у Београду као и на предмету Супрамолекулска и нанохемија МАС Хемија. Служи се енглеским језиком (напредни ниво) и руским језиком (почетни ниво).

Кандидат Жељко Трифковић, бави се научно-истраживачким радом из области органске хемије са фокусом на хемију фулерена. Његов научно-истраживачки рад обухвата синтезу, структурну карактеризацију и нековалентне модификације фулеропиролидина, као и испитивање њихове биолошке активности.

## **Б. Објављени научни радови и саопштења**

### **М34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу**

Željko V. Trifković, Katarina N. Kotlaja, Ivan Ž. Ćurić, Tatjana J. Kop, Dragana R. Milić, „Stable Aqueous Dispersions of Dually Active Fulleropyrrolidines Containing Aromatic Subunits”, 3rd International Conference on Noncovalent Interactions, ICNI-III, 17- 21 June 2024, Belgrade, Serbia, Book of Abstracts PS36.

### **М64 Саопштење са националног скупа штампано у изводу**

Željko Trifković, Katarina Kotlaja, Tatjana Kop, Dragana Milić, „Synthesis and determination of in vitro antioxidant activities of novel fulleropyrrolidines containing aromatic subunit”, 9th Conference of Young Chemists of Serbia, 4th November 2023, Novi Sad, Serbia, Book of abstracts, p. 77. ISBN: 978-86-7132-084-9.

Željko Trifković, Katarina Kotlaja, Tatjana Kop, Dragana Milić, „Synthesis and determination of in vitro biological activity of novel fulleropyrrolidines containing phenol subunit”, 9th Conference of Young Chemists of Serbia, 4th November 2023, Novi Sad, Serbia, Book of abstracts, p. 76. ISBN: 978-86-7132-084-9.

Katarina Kotlaja, Željko Trifković, Tatjana Kop, Dragana Milić, „Synthesis and determination of in vitro biological activity of novel fulleropyrrolidines containing vanilin subunit”, 9th Conference of Young Chemists of Serbia, 4th November 2023, Novi Sad, Serbia, Book of abstracts, p. 74. ISBN: 978-86-7132-084-9.

Katarina Kotlaja, Željko Trifković, Tatjana Kop, Dragana Milić, „Mono- and disubstituted fulleropyrrolidines: synthesis and optimization of reaction conditions”, 9th Conference of Young Chemists of Serbia, 4th November 2023, Novi Sad, Serbia, Book of abstracts, p. 75. ISBN: 978-86-7132-084-9.

## **В. Образложење теме**

### **1. Научна област: Хемија**

Ужа научна област: Органска хемија

### **2. Предмет научног истраживања**

Предмет научног истраживања ове докторске дисертације обухвата развој и синтезу конјугата фулерена C<sub>60</sub> и 4-аминобензојеве киселине. Истраживање ће обухватити проналажење оптималних услова за Пратову циклоадицију азометинских илида који садрже бар један 4-аминобензоил-структурни сегмент, на фулерен C<sub>60</sub>. Осим тога, у истраживања ће бити укључена и структурна карактеризација синтетисаних фулеропиролидина, *in vitro* испитивање заштите од УВ зрачења, антиоксидативног и антиинфламаторног дејства. Испитивана дејства биће упоређена са активностима нековалентних водених формулација добијених из фулерена C<sub>60</sub> и 4-аминобензојеве киселине или њихових деривата, као и са познатим стандардним једињењима (4-аминобензојева киселина, палимитат О за УВ заштиту, аскорбинска киселина и бутиловани хидрокситолуен (ВНТ) за антиоксидативно дејство и ибупрофен и диклофенак као стандардни антиинфламаторни лекови).

### **3. Циљ научног истраживања**

Циљ ове докторске дисертације обухвата оптимизацију синтезе конјугата 4-аминобензојеве киселине и фулерена C<sub>60</sub> као и њихову структурну карактеризацију применом NMR, инфрацрвене, УВ/ВИС спектроскопије и масене спектрометрије високе резолуције. Посебан фокус биће стављен на развијање услова за формирање

супрамолекулских агрегата 4-аминобензојеве киселине и фулерена C<sub>60</sub>, као и њихових деривата. Стабилност формираних агрегата биће изучавана УВ спектроскопијом, а уређење скенирајућом електронском микроскопијом. У наставку истраживања ће бити испитана *in vitro* заштита од УВ зрачења у присуству ковалентних и нековалентних конјугата, као и антиоксидативна и антиинфламаторна активност.

#### 4. Методе истраживања

У току израде докторске дисертације један од циљева биће оптимизација реакционих услова синтезе (тип растварача, температура, молски односи реактанта, реакционо време, и сл.) у сврху добијања ковалентних конјугата фулерена C<sub>60</sub> и 4-аминобензојеве киселине. Потпуна структурна карактеризација синтетисаних једињења биће постигнута применом нуклеарне магнетне резонанције (1D NMR (<sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C) и 2D NMR), инфрацрвене и УВ/ВИС спектроскопије, као и масене спектрометрије. У области рада усмереној ка изградњи нековалентних структура, биће коришћене уобичајене методе синтетичке супрамолекулске и органске хемије (варијација односа реактанта, рад у високом разблажењу и добијање стабилних водених раствора хибрида методом измене растварача). Заштита од УВ зрачења биће испитана применом соларног симулатора и УВ/ВИС спектроскопије, док ће пенетрација супстанци у кожу бити одређена *in vitro* тестом пасивне пермеабилности кроз вештачку кожу (Parallel Artificial Membrane Permeability Assay скр. ПАМРА тест). Антиоксидативна и антиинфламаторна активност биће испитане применом УВ/ВИС спектроскопије. Коришћени стандардни тестови (DPPH, β-каротенски, денатурација протеина) биће прилагођени специфичним карактеристикама испитиваних супстанци (слаба растволјивост и делимично преклапање апсорпционих спектра са спектрима реагенаса).

#### 5. Актуелност проблематике у свету

Последњих неколико деценија значајно је порасла свест о штетности УВ зрачења и здравственим проблемима које оно узрокује, као што су фотодерматоза, убрзано старење и имунодепресија коже. Соларно ултравиолетно зрачење подељено је у три категорије УВ-А, УВ-Б и УВ-Ц. Најштетније УВ-Ц (200-290 nm) зрачење је потпуно заустављено од стране озонског омотача. УВ-Б (290-320 nm) зрачење није у потпуности филтрирано озонским омотачем и одговорно је за оштећења настала на површини коже.<sup>[1]</sup> УВ-А (320-400 nm) продире дубље у кожу и изазива превремено старење коже.<sup>[2]</sup>

Молекули који апсорбују и блокирају УВ зрачење (УВ филтери) у различитом опсегу таласних дужина подељени су у две категорије: неоргански (физички) и органски (хемијски). Главни представници неорганских УВ филтера, титанијум(IV) оксид (TiO<sub>2</sub>) и цинк(II) оксид (ZnO), рефлектују и УВ-Б и УВ-А зрачење.<sup>[3][4]</sup> Органски УВ филтери у највећој мери представљају синтетичке молекуле које апсорбују енергију фотона (апсорбују УВ-Б и УВ-А зрачење), што доводи до њиховог побуђивања и накнадне релаксације, уз емисију зрачења ниже енергије (већих таласних дужина). **4-Аминобензојева киселина (РАВА)** први је хемијски УВ филтер који у највећој мери пружа заштиту од УВ-Б зрачења. Њен озбиљни недостатак је што у неким случајевима изазива контактни дерматитис, па је било пожељено заменити је са дериватима као што је **падимат О** (2-етилхексил 4-(диметиламино)бензоат).<sup>[5]</sup>

*SPF* (Sun Protection Factor), заштитни фактор од сунчевог зрачења, представља однос на ј мање дозе УВ зрачења потребне за изазивање минималног еритема (црвенила) на кожи заштићеној средством за заштиту од сунчевог зрачења у односу на дозу потребну да се исти еритем изазове на незаштићеној кожи.<sup>[6]</sup> *In vitro* мерења су економична, брза и практична и примењују се кроз два процеса. Први је мерење апсорпције и трансмисије

УВ зрачења кроз чврсти узорак (без растварача), а други спектрофотометријско одређивање апсорпционих својстава разблажених раствора узорка.<sup>[7]</sup>

Ултравioletно озрачивање доводи до стварања реактивних кисеоничних врста (ROS) на површини коже, што узрокује оштећења ћелијске мембране путем унутарћелијског оксидативног стреса. Фулерен C<sub>60</sub> и његови деривати показују снажну антиоксидативну способност, што доводи до смањивања концентрације унутарћелијских слободних радикала, спречавајући оксидативно оштећење ћелија.<sup>[8]</sup>

Сходно повећаном интересовању за заштиту од УВ зрачења, као и сазнањима о проблемима у вези са стварањем реактивних кисеоничних врста, развијени су УВ филтери који апсорбују светлост у делу спектра од значаја у комбинацији са скупљачима слободних радикала. Напред речено подразумева и оправдава синтезу нових ковалентних и не ковалентних конјугата 4-аминобензојеве киселине са фулереном C<sub>60</sub> у заштити од УВ зрачења.

## 6. Очекивани резултати

Очекивани резултати истраживања подразумевају добијање конјугата 4-аминобензојеве киселине и фулерена C<sub>60</sub> као и њихових деривата у високом приносу при дефинисаним оптималним условима. Такође, подразумевају и синтезу и успешну карактеризацију стабилних и уређених супрамолекулских агрегата 4-аминобензојеве киселине и фулерена C<sub>60</sub>. Комплетна структурна карактеризација свих синтетисаних једињења биће изведена применом одговарајућих инструменталних метода. Испитаће се капацитет припремљених ковалентних и нековалентних конјугата у заштити од УВ зрачења, као и *in vitro* антиоксидативна и антиинфламаторна активност. Очекује се да ће комбинација 4-аминобензојеве киселине и фулерена C<sub>60</sub> пружити унапређену заштиту од сунчевог зрачења у смислу проширеног спектра апсорпције штетног зрачења и додатне антиоксидативне и антиинфламаторне улоге.

## 7. Литература

1. C. Malsawmtluangi, Deepak Kumar Nath, Italini Jamatia, Lianhingthangi Ralte, E. Zanzoliana, Laldusanga Pachuau: "Determination of Sun Protection Factor (SPF) number of some aqueous herbal extracts" *J App Pharm Sci*, **2013**, 3(09), 150-151. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.3925>
2. Karin Scharffetter-Kochanek, Peter Brenneisen, Jutta Wenk, Gernot Herrmann, Weijian Ma, Lale Kuhr, Christian Meewes, Meinhard Wlaschek: "Photoaging of the skin from phenotype to mechanisms" *Exp Gerontol*, **2000**, 35(3), 307-316. [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(00\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(00)00098-X)
3. Nikhil Tyagi, Sanjeev K. Srivastava, Sumit Arora, Yousef Omar, Zohaib Mohammad Ijaz, Ahmed AL-Ghadhban, Sachin K. Deshmukh, James E. Carter d, Ajay P. Singh, Seema Singh: "Comparative analysis of the relative potential of silver, Zinc-oxide and titanium-dioxide nanoparticles against UVB-induced DNA damage for the prevention of skin carcinogenesis" *Cancer Lett*, **2016**, 383(1), 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2016.09.026>
4. Tanya Sharma, Vinika Tyagi, Megha Bansal: "Determination of sun protection factor of vegetable and fruit extracts using UV-Visible spectroscopy: A green approach", *Sustain Chem Pharm*, **2020**, 18, Article 100347. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100347>
5. Andrea K, Boglárka-Katalin B, Erzsébet F, Emese S, Ibolya F.: "Determination of the sun protection factor of sunscreens" *Bulletin of Medical Sciences Transylvanian Museum Society*, **2022**, 95(1), 64-77. <https://doi.org/10.2478/orvtudert-2022-0004>

6. Sergio Schalka, Vitor Manoel Silva Dos Reis: "Sun protection factor: meaning and controversies", *An Bras Dermatol*, **2011**, 86, 507-515. <https://doi.org/10.1590/S0365-05962011000300013>
7. Mansur J.S., Breder M.N.R., Mansur M.C.A., Azulay R.D. "Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria". *An Bras Dermatol*, **1986**, 61(3), 121-4.
8. H. Takada, H. Mimura, L. Xiao, R. M. Islam, K. Matsubayashi, S. Ito, N. Miwa b:" Innovative Anti-Oxidant: Fullerene (INCI #: 7587) is as "Radical Sponge" on the Skin. Its High Level of Safety, Stability and Potential as Premier Anti-Aging and Whitening Cosmetic Ingredient" **2006**, 14(2-3), 335-341. <https://doi.org/10.1080/15363830600665433>

### Г. Закључак

Предложена тема је научно заснована и актуелна у свету, а очекивани резултати би представљали значајан научни допринос у области фулеренске хемије. У складу са Законом о високом образовању и Статутом Универзитета у Београду – Хемијског факултета, а имајући у виду наведено, сматрамо да кандидат испуњава све потребне услове за одобрење израде докторске дисертације, те Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета да кандидату Жељку Трифковићу, мастер хемичару, одобри израду докторске дисертације под предложеним насловом:

**„Конјугати 4-аминобензоеве киселине и фулерена C<sub>60</sub> у заштити од УВ зрачења“**

Комисија за менторе предлаже др Драгану Милић, редовног професора Универзитета у Београду – Хемијског факултета и др Татјану Коп, научног сарадника Универзитета у Београду – Института за хемију, технологију и металургију, института од националног значаја за Републику Србију. Спискови радова предложених ментора из којих се види да испуњавају услове из Стандарда за акредитацију студијских програма докторских студија су дати у **Прилогу 1а и 1б**.

У Београду,  
29. 4. 2026.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

Др Драгана Милић, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

---

Др Игор Опсеница, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Хемијски факултет

---

Др Татјана Коп, научни сарадник,  
Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију,  
институт од националног значаја за Републику Србију

## Прилог 1a:

Списак радова предложеног ментора објављених у научним часописима са SCI листе који квалификују менторе за вођење докторске дисертације.

**Име и презиме ментора:** др Драгана Милић

**Звање:** Редовни професор

## Изабрани радови:

1. Siniša Đurašević, Gorana Nikolić, Ana Todorović, Dunja Drakulić, Snežana Pejić, Vesna Martinović, Dragana Mitić-Ćulafić, **Dragana Milić**, Tatjana J. Kop, Nebojša Jasnić, Jelena Đorđević, Zoran Todorović: "Effects of fullerene C<sub>60</sub> supplementation on gut microbiota and glucose and lipid homeostasis in rats" *Food Chem Toxicol*, **2020**, *140*, Article 111302. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111302>
2. Tatjana J. Kop, Dragica M. Jakovljević, Ljiljana S. Živković, Andrijana Žekić, Vladimir P. Beškoski, **Dragana R. Milić**, Gordana D. Gojgić-Cvijović, Mira S. Bjelaković: "Polysaccharide-fullerene supramolecular hybrids: Synthesis, characterization and antioxidant activity" *Eur Polymer J*, **2020**, *123*, Article 109461. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109461>
3. Varun Singh, Marija R. Zoric, George N. Hargenrader, Andrew J. S. Valentine, Olivera Zivojinovic, **Dragana R. Milić**, Xiaosong Li, and Ksenija D. Glusac: "Exciton Coherence Length and Dynamics in Graphene Quantum Dot Assemblies" *J Phys Chem Lett*, **2020**, *11*, 210-216. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcl.9b03384>
4. Radoslav Z. Pavlović, Aleksandra Mitrović, William H. Coldren, Mira S. Bjelaković, Cristopher M. Hadad, Veselin Maslak, and **Dragana R. Milić**: "Cycloaddition Reactions of Azomethine Ylides and 1,3-Dienes on the C<sub>2v</sub>-Symmetrical Pentakisadduct of C<sub>60</sub>" *J Org Chem*, **2018**, *83*, 2166-2172. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.7b03083>
5. Radoslav Z. Pavlović, Mira S. Bjelaković and **Dragana R. Milić**: "Diamide-based fullerosteroidal and disterooidal [2]rotaxanes: solvent-induced macrocycle translocation and/or unthreading" *RSC Adv*, **2016**, *6*, 37246-37253. <https://doi.org/10.1039/c6ra03872g>

## Прилог 16:

Списак радова предложеног ментора објављених у научним часописима са SCI листе који квалификују менторе за вођење докторске дисертације.

**Име и презиме ментора:** др Татјана Коп

**Звање:** Научни сарадник

### Изабрани радови:

1. **Tatjana J. Kop**, Mira S. Bjelaković, Ljiljana Živković, Andrijana Žekić, Dragana R. Milić: „Stable colloidal dispersions of fullerene C<sub>60</sub>, curcumin and C<sub>60</sub>-curcumin in water as potential antioxidants“, *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, **2022**, 648, Article 129379. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129379>
2. **Tatjana J. Kop**, Dragana R. Milić, Nataša Terzić-Jovanović, Željko Žižak, Bogdan A. Šolaja: „Iron salt-promoted oxidation of steroidal phenols by m-chloroperbenzoic acid: a route to possible antitumor agents“, *RSC Adv*, **2022**, 12, 20649-20655. <https://doi.org/10.1039/d2ra03717c>
3. Maja D Nešić, Tanja Dučić, Xinyue Liang, Manuel Algarra, Lan Mi, Lela Korićanac, Jelena Žakula, **Tatjana Kop**, Mira Bjelaković, Aleksandra Mitrović, Gordana Gojgić-Cvijović, Milutin Stepić, Marijana Petković: „SR-FTIR spectro-microscopic interaction study of biochemical changes in HeLa cells induced by Levan-C<sub>60</sub>, Pullulan-C<sub>60</sub>, and their cholesterol-derivatives“, *Int J Biol Macromol*, **2020**, 165, 2541-2549. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.141>
4. Radoslav Z. Pavlovic, **Tatjana J. Kop**, Marko Nestic, Olivera Stepanovic, Xiuze Wang, Nina Todorovic, Marko V. Rodic, and Biljana M. Smit: „On the Selectivity in the Synthesis of 3-Fluoropiperidines Using BF<sub>3</sub>-Activated Hypervalent Iodine Reagents“, *J Org Chem*, **2023**, 88(15), 10946-10959. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.3c00944>
5. **Tatjana Kop**, Jelena Đorđević, Mira Bjelaković, Dragana Milić: „Fullerene bisadduct regioisomers containing an asymmetric diamide tether“, *Tetrahedron*, **2017**, 73(50), 7073-7078. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2017.10.069>