

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ, ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације кандидата **Емилије Н. Вукићевић**, мастер хемичара, студента докторских студија и истраживача приправника на Хемијском факултету Универзитета у Београду.

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду–Хемијског факултета, одржаној 13. јуна 2024. године, изабрани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о оцени научне заснованости и оправданости предложене теме за израду докторске дисертације кандидата **Емилије Н. Вукићевић**, мастер хемичара, студента докторских студија и истраживача приправника Хемијског факултета Универзитета у Београду, пријављене под називом:

“Оптимизација процеса пиролизе пољопривредног отпада у циљу добијања биоугља”

На основу поднете документације и увида у досадашњи рад кандидата подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Биографски подаци о кандидату

Емилија Н. Вукићевић је рођена 13. фебруара 1998. године у Косовској Митровици, Република Србија. Основну школу „Слободан Пенезић Крцун“ у Лепосавићу завршила је са одличним успехом, као и средњу школу „Никола Тесла“ у Лепосавићу, природно-математички смер.

Основне академске студије на студијском програму Хемија на Хемијском факултету Универзитета у Београду уписала је школске 2016/17. године и завршила је школске 2019/20. године. Одбранила је завршни рад под насловом „Органско-геохемијске карактеристике седимената повлате, подине и лежишта пробертита у Ваљевско-мионичком басену“ под менторством редовног професора др Бранимира Јованчићевића, при Катедри за примењену хемију са просечном оценом 8,66, стичући звање дипломирани хемичар.

Мастер академске студије на студијском програму Хемија на Хемијском факултету Универзитета у Београду завршила је школске 2020/21. године. одбраном завршног рада под насловом „Одређивање и карактеризација ароматичних каротеноидних деривата β -каротена у седиментима из Ваљевско-мионичког басена“ под менторством редовног професора др Бранимира Јованчићевића, при Катедри за примењену хемију и просечном оценом 9,50, стичући звање мастер хемичар.

Докторске академске студије на студијском програму Хемија на Хемијском факултету уписала је школске 2021/22. године при Катедри за примењену хемију под менторством редовног професора др Бранимира Јованчићевића.

Од октобра 2021. запослена је на Хемијском факултету Универзитета у Београду у звању истраживач-приправник. Емилија се у оквиру свог истраживања бави процесом пиролизе отпадне биомасе, анализом чврстих и течних производа пиролизе, оптимизацијом услова пиролизе, применом различитих техника за хемијску анализу, укључујући гасну хроматографију са масеном спектрометријом за анализу добијених течних производа, као и применом добијених производа у даљој употреби. Истраживање укључује поглед на отпадну биомасу као потенцијални обновљиви извор енергије, уз додатак пластичне отпадне масе. Главни циљ истраживања је физичко-хемијска карактеризација чврстог остатка (биоугља) који се добија пиролизом под различитим условима, и његова даља примена. Овако добијен биоугаљ се даље може користити као адсорбент у пречишћавању загађених вода или као чврсто гориво.

У летњем семестру 2023/24. године била је ангажована као сарадник за извођење лабораторијских вежби на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, на предмету Органска хемија, на студијским програмима: Технологија конзервисања и врења, Технологија анималних производа и Технологија ратарских производа.

Била је учесник пројекта BMBF пројекат немачког Савезног министарства образовања и истраживања „Agricultural residues and plastic waste as a sustainable source of alternative fuels and valuable chemicals" (AGRIPLAST, 2021-2024).

Тренутно је ангажована на ПРОМИС пројекту Фонда за науку Републике Србије „Peloids in Serbia: geochemical characterization, quality assessment and ecosystem services of peloid-rich areas“ (PELAS, 2023-2024).

Б. Објављени научни радови и саопштења

Емилија Н. Вукићевић је коаутор једног рада објављеног часопису од међународног значаја (**М23**) и аутор саопштења на међународним научним скуповима (**М34**). Досадашње резултате истраживања кандидат је публиковао у следећим научним радовима и саопштењима:

М23 – Рад објављен у научном часопису међународног значаја

- 1) Isailovic, J., **Vukicevic, E.**, Antic, M., Schwarzbauer, J., Ignjatovic, L., Gajica, G., & Antic, V. (2024). Pyrolysis of corn stalks: The potential of using bio-oil as a fuel. In Journal of the Serbian Chemical Society (Issue 00, pp. 43–43). National Library of Serbia. DOI: <https://doi.org/10.2298/jsc240110043i>

М34 – Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

- 1) D. Savić, J. Isailović, **E. Vukićević**, I. Jovančićević, G. Gajica, M. Antić, B. Jovančićević, J. Schwarzbauer, V. Antić. GC-MS analysis of liquid fraction obtained by off-line pyrolysis of reference synthetic and natural polymers. 22nd European Meeting on Environmental Chemistry, Ljubljana, Slovenia, 5-8 December 2022, Book of abstracts, p. 107, ISBN 978-961-297-035-2.
- 2) T. Tosti, S. Štrbac, S. Blagojević, N. Antić, V. Rončević, **E. Vukićević**, M. Kašanin-Grubin. Anions Determination as an Important Property of Soil in Urban Forests: Case Study Avala Mountain, Serbia. 22nd European Meeting on Environmental Chemistry, Ljubljana, Slovenia, 5-8 December 2022, Book of abstracts, p. 22, ISBN 978-961-297-035-2.

- 3) J. Isailović, D. Savić, **E. Vukićević**, I. Jovančičević, G. Gajica, M. Antić, B. Jovančičević, J. Schwarzbauer, V. Antić. Comparison of Off-Line Pyrolysis of Commercial Biopolymers and Biomass Samples. 22nd European Meeting on Environmental Chemistry, Ljubljana, Slovenia, 5-8 December 2022, Book of abstracts, p. 108, ISBN 978-961-297-035-2.
- 4) **E. Vukićević**, D. Savić, J. Isailović, I. Jovančičević, G. Gajica, M. Antić, B. Jovančičević, J. Schwarzbauer, V. Antić. Physicochemical Characterization of Biomass Samples Used for Pyrolysis and Co-Pyrolysis for Pyrolytic Processes. 22nd European Meeting on Environmental Chemistry, Ljubljana, Slovenia, 5-8 December 2022, Book of abstracts, p. 109, ISBN 978-961-297-035-2.
- 5) **E. Vukićević**, J. Isailović, D. Savić, I. Jovančičević, G. Gajica, M. Antić, B. Jovančičević, J. Schwarzbauer, V. Antić. Potential of Biochar as Fuel Obtained by Pyrolysis of Agricultural Waste. 23rd European Meeting on Environmental Chemistry, Budva, Montenegro, 3-6 December 2023, Book of abstracts, p. 92, ISBN 978-9940-9059-2-7.
- 6) J. Isailović, **E. Vukićević**, D. Savić, I. Jovančičević, G. Gajica, M. Antić, B. Jovančičević, J. Schwarzbauer, V. Antić. Physicochemical Characteristics of Biofuel Obtained by Pyrolysis of Corn Waste. 23rd European Meeting on Environmental Chemistry, Budva, Montenegro, 3-6 December 2023, Book of abstracts, p. 104, ISBN 978-9940-9059-2-7.

V. Образложење теме

1. Научна област: Хемија

Ужа научна област: Примењена хемија

2. Предмет рада

Предмет научног истраживања предвиђен овом дисертацијом је пиролиза пољопривредног отпада у циљу добијања биоугља. Органски отпад из пољопривреде, шумарства, из прехранбене индустрије биљног или животињског порекла, као и комунални чврсти отпад, су прихватљива сировина за производњу биоугља и показују значајан потенцијал. [1] Пиролиза је процес загревања узорка (биомасе) у инертној атмосфери, којим се добијају три главна производа: биоугаљ, биоуље и гас. [2] Загревањем биомасе без присуства кисеоника, од већих, природних макромолекула

добиају се различити течни и чврсти производи. Биомаса садржи различите количине целулозе, хеми-целулозе и лигнина. [3] Овакве структуре се пиролизом разграђују на мање молекуле које дају биоугље, док тежи макромолекули и полимерни ланци остају у чврстом остатку – биоугљу. [4] Из ових разлога, тип почетне биомасе од које се добија биоугаљ диктира принос и карактеристике биоугља. Топлотна ефикасност, време трајања, тип биомасе и брзина загревања утичу на производе пиролизе. Топлота је примарни фактор који утиче на својства биоугља. [1] Чврсти остатак након процеса пиролизе је материјал са повећаним садржајем угљеника, који може да има различиту примену. Биоугаљ је материјал који поседује јединствене квалитете, укључујући велику специфичну површину, високу порозност, различите функционалне групе и висок капацитет за размену катјона. На основу оваквих карактеристика, биоугаљ је погодан за широку примену. [5] Брза и једноставна производња која је еколошки безбедна, могућност рециклирања и исплативост биоугља су само неке од предности биоугља као материјала и процеса његовог добијања. Бројна истраживања су показала ефикасност биоугља у уклањању различитих загађујућих супстанци из земљишта или воде. [6]

У оквиру овог истраживања планирана је оптимизација услова пиролизе отпадне биомасе са/без додатка синтетичких полимерних материјала (на пример, отпадне пластичне амбалаже) у циљу добијања биоугља различитих карактеристика. Овакав приступ би значајно допринео истовременом смањењу пољопривредног отпада [7], као и пластичног отпада у животној средини.

3. Научни циљ истраживања

Планирана истраживања која укључују пиролизу отпадне биомасе пре свега парадајза и дувана имају неколико циљева. Пре свега, ови типови биомасе су одабрани јер се у великим количинама узгајају на простору Србије и региона, па самим тим, заостају велике количине отпада након бербе и прераде. Први циљ се односи на оптимизацију услова пиролизе биомасе у циљу добијања течних и чврстих производа са погодним карактеристикама за даље коришћење. Главни фокус је на оптимизацији услова пиролизе за добијање чврстог остатка – биоугља у одговарајућем приносу и са карактеристикама погодним за различите сврхе. Други циљ је свеобухватна карактеризација добијеног биоугља, да би се размотриле могућности његовог даљег

коришћења. На овај начин отпадна биомаса, која нема другу примену и представља еколошки проблем могла би да се искористи и да се на тај начин смањи њена количина. Претпоставља се да би додатак пластике биомаси побољшао производе који се добијају пиролизом и пружио могућност позитивне модификације чврстог остатка (биоугља). Трећи циљ је испитивање могућности коришћења добијеног биоугља као чврстог горива или као адсорбенса у загађеним водама.

4. Методе истраживања

Методе које су планиране у оквиру ове дисертације имају за циљ првенствено карактеризацију почетне биомасе ради процене погодности за процес пиролизе. Затим би уследили процеси пиролизе и копиризе. Коначно, у последњој фази истраживања добивени биоугаљ би био детаљно карактерисан са хемијског и физичко-хемијског аспекта.

Почетна биомаса ће се окарактерисати класичним хемијским методама као што су одређивање садржаја лигнина, целулозе и хемицелулозе. Затим, сагоревањем на 750 °C и устаљивањем масе остатка одређивање се садржај пепела, а сушењем на 105 °C садржај влаге. Инструменталне технике микроанализе ће се користити за одређивање елементарног састава (садржаја угљеника, водоника, азота и сумпора). Планирано је да се ураде и термогравиметријска анализа, као и да се одреди топлотна моћ узорак биомасе.

Окарактерисана биомаса ће бити коришћена за пиролизу и добијање биоугља. Пошто резултати термогравиметријске анализе показују деградацију узорка биомасе са променом температуре, ова анализа може да буде од кључног значаја за почетно дефинисање услова пиролизе. Добијени биоугаљ ће даље бити физичко-хемијски окарактерисан. Користиће се метода индуковане купловане плазме (ICP) за анализу појединих елемената, IR спектроскопија, затим елементарна микроанализа (садржај угљеника, водоника, азота и сумпора), као и BET (Brunauer-Emmett-Teller) i SEM (Scanning-Electron-Microscope) методе за одређивање специфичне површине и запремине пора. У чврстим остацима пиролизе биомасе класичним методама одредиће се и садржај влаге, пепела, pH вредност, и топлотна моћ.

Након потпуне карактеризације, биоугаљ ће се применити у експериментима као потенцијални адсорбенс у пречишћавању вода загађених тешким металима и

пестицидима. Претпоставља се да захваљујући специфичној површини и структури са порама, различите честице могу да се адсорбују и самим тим буду одстрањене из средина у којим су се налазиле.

5. Актуелност проблематике

Парадајз и дуван се широко гаје и користе у готово свим регионима Србије и земаља у окружењу. Након њихове бербе и прераде заостају велике количине стабљика, листова и осталих делова биљке које представљају пољопривредни отпад који нема даљу примену. [8] Пољопривредни отпад се обично уклања процесом сагоревања на пољима. Овакав начин уклањања представља еколошки проблем, јер ови процеси не могу бити контролисани што за последицу има настанак различитих врста токсичних једињења. Ова једињења загађују ваздух, а поред тога долази и до загађења и уништавања пољопривредног земљишта. Последица загађења може бити и улазак ових једињења у ланац исхране кроз раст нових биљака. [9]

Стога је циљ овог истраживања поновно коришћење поменутог пољопривредног отпада процесом пиролизе да би се добио биоугаљ, као и процена могућности коришћења добијеног биоугља. [1-4] Биоугаљ је материјал богат угљеником, карактеристичне структуре, па је због тога погодан за коришћење у различите сврхе (адсорбенс, чврсто гориво, ђубриво, и друго). [9]

6. Очекивани резултати

Из експеримената који укључују оптимизацију процеса пиролизе узорака биомасе пре сјега парадајза и дувана очекују се бројни резултати од фундаменталног и примењеног значаја. Прво, очекује се дефинисање оптималних услова извођења процеса пиролизе, са циљем добијања чврстог остатка – биоугља у високом приносу. Истраживачка жеља је добијање биоугља који ће поседовати карактеристике потребне за његову даљу примену као горива или пак као средства у процесу ремедијације загађених вода. Физичко-хемијска карактеризација биоугља ће показати да ли овај материјал има боље карактеристике од почетне отпадне биомасе. На пример, анализе специфичне површине и величине пора показује да ли је добијени биоугаљ погодан да се користи као адсорбенс у пречишћавању вода загађених тешким металима или

пестицидима. Резултати анализе топлотне моћи биоугља и поређење са стандардним чврстим горивима попут дрвета, ђумура или угља, ће показати да ли се биоугаљ може користити и као чврсто гориво. Резултати добијени изградом ове докторске дисертације могу да допринесу процени у којој мери се биоугаљ који је добијен пиролизом отпадне биомасе парадајза и дувана може применити у поменуте, или неке друге сврхе. С друге стране, претпоставља се да ће додатак отпадне пластике биомаси у процесу пиролизе (копиролизе) изменити карактеристике добијеног чврстог остатка. Карактеризација овог производа ће показати да ли је, и у коликој мери, процесом копиролизе у том смислу постигнут напредак.

7. Литература

- 1) Nidheesh, P. V., Gopinath, A., Ranjith, N., Praveen Akre, A., Sreedharan, V., & Suesh Kumar, M. (2021). Potential role of biochar in advanced oxidation processes: A sustainable approach. *In Chemical Engineering Journal*, **405**, 126582.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126582>
- 2) R. Font, J. Moltó, A. Gálvez, M. D. Rey, (2009). Kinetic study of the pyrolysis and combustion of tomato plant. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **85**, 268
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2008.11.026>
- 3) G. J. Lv, S. B. Wu, R. Lou. (2010). Kinetic study for the thermal decomposition of hemicellulose isolated from corn stalk. *BioResources*, **5**, 1281-1291.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.5.2.1281-1291>
- 4) H. H. Wei, Y. L. Liu, D. Y. Chen. (2015). Analysis of corn straw pyrolysis bio-oil composition. *Applied Mechanics and Materials*, **737**, 14-19.
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.737.14>
- 5) Chen, S., Qin, C., Wang, T., Chen, F., Li, X., Hou, H., Zhou, M. (2019a). Study on the adsorption of dyestuffs with different properties by sludge-rice husk biochar: Adsorption capacity, isotherm, kinetic, thermodynamics and mechanism. *Journal of Molecular Liquids*, **285**, 62–74.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.035>
- 6) Bedia, J., Peñas-Garzón, M., Gómez-Avilés, A., Rodriguez, J. J., & Bolver, C. (2018). A Review on the Synthesis and Characterization of Biomass-Derived Carbons for Adsorption of Emerging Contaminants from Water. *Journal of Carbon Research*, **4**, 63.

DOI: <https://doi.org/10.3390/c4040063>

- 7) G. Ungureanu, G. Ignat, C. R. Vintu, C. D. Diaconu, I. G. Sandu. (2017). Study of utilization of agricultural waste as environmental issue in Romania. *Revista de Chimie*, **68**, 570.

DOI: <http://dx.doi.org/10.37358/RC.17.3.5503>

- 8) L. Maulinda, H. Husin, N. Arahman, C. M. Rosnelly, E. Andau, W. Lestari, J. Karo-Karo. (2021). Fast pyrolysis corn husk for bio-oil production. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **1098**, 022007.

DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/2/022007>

- 9) G. Q. Calixto, D. M. A. Melo, M. A. F. Melo, R. M. Braga. (2021). Analytical pyrolysis (Py-GC/MS) of corn stover, bean pod, sugarcane bagasse, and pineapple crown leaves for biorefining. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **39**, 137.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s43153-021-00099-1>

- 10) A. Demirbas. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, **49**, 2106.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>

Г. Закључак

На основу свега изложеног сматрамо да предложена тема одговара савременим трендовима из области примењене хемије. Предложена тема докторске дисертације научно је утемељена и оправдана. Планираним начином реализације истраживања могу се остварити дефинисани циљеви докторске дисертације.

У складу са Законом о високом образовању и Статутом Универзитета у Београду-Хемијског факултета, сматрамо да кандидат испуњава све предвиђене услове за одобрење израде докторске тезе. На основу свега изложеног Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду-Хемијског факултета да одобри израду докторске тезе **Емилије Н. Вукићевић**, мастер хемичара, студента докторских студија и истраживача приправника Хемијског факултета Универзитета у Београду, под називом:

**“Оптимизација процеса пиролизе пољопривредног отпада
у циљу добијања биоугља”**

За менторе се предлажу др Бранимир Јованчићевић, редовни професор Хемијског факултета Универзитета у Београду и др Гордана Гајица, виши научни сарадник Института за хемију, технологију и металургију Универзитета у Београду. Списак радова предложених ментора из којих се може видети да испуњавају услове из Стандарда за акредитацију студијских програма дати су у Прилогу.

У Београду, 07.2024. године

КОМИСИЈА:

1. Др Бранимир Јованчићевић, ред. проф.,
Универзитет у Београду, Хемијски факултет,

2. Др Гордана Гајица, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Институт за хемију,
технологију и металургију

3. Др Весна Антић, ред. проф.,
Универзитет у Београду, Пољопривредни
факултет,

4. Др Владимир Бешкоски, ред. проф.,
Универзитет у Београду, Хемијски факултет.

Прилог:

Изабрани радови предложеног ментора др Бранимира Јованчићевића:

1. Jovančičević, B., Gajica, G., Veselinović, G., Kašanin-Grubin, M., Šolevic Knudsen, T., Štrbac, S., Šajnović, A. (2022). The use of biological markers in organic geochemical investigations of the origin and geological history of crude oils (I) and in the assessment of oil pollution of rivers and river sediments of Serbia (II), *Journal of the Serbian Chemical Society*, 87, 7-25. <https://doi.org/10.2298/JSC210701072J>
2. Burazer, N., Šajnović, A., Vasić, N., Kašanin-Grubin, M., Životić, D., Mendonça Filho, J.G., Vulić, P., Jovančičević, B. (2020). Influence of paleoenvironmental conditions on distribution and relative abundance of saturated and aromatic hydrocarbons in sediments from the NW part of the Toplica basin, Serbia, *Marine and Petroleum Geology*, 104252. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104252>
3. Samelak, I., Balaban, M., Antić, M., Šolević Knudsen, T., Jovančičević, B. (2020). Geochromatographic migration of oil pollution from a heating plant to river sediments, *Environmental Chemistry Letters*, 459-466. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00937-2>
4. Šajnović, A., Grba, N., Neubauer, F., Kašanin-Grubin, M., Stojanović, K., Petković, N., Jovančičević, B. (2019). Geochemistry of sediments from the Lopare Basin (Bosnia and Herzegovina): Implications for paleoclimate, paleosalinity, paleoredox and provenance, *Acta Geologica Sinica – English Edition*, <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14324>
5. Hagemann, L., Kašanin-Grubin, M., Gajica, G., Štrbac, S., Šajnović, A., Jovančičević, B., Vasić, N., Schwarzbauer, J. (2019). Four Decades of Organic Anthropogenic Pollution: a Compilation for Djerdap Lake Sediments, Serbia, *Water, Air and Soil Pollution*, 230-246. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4277-8>

Изабрани радови предложеног ментора др Гордане Гајице:

1. Šajnović, A., Burazer, N., Veselinović, G., Stojadinović, S., Gajica, G., Trebše, P., Glavaš N., Jovančičević, B. (2023). Changes in hydrocarbons and elemental distribution in peloids during maturation processes (Sečovlje Salina Nature Park Slovenia). *Science of The Total Environment*, 897, 165424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165424>
2. Gajica, G., Šajnović, A., Stojanović, K., Schwarzbauer, J., Kostić, A., Jovančičević, B. (2022). A comparative study of the molecular and isotopic composition of biomarkers in immature oil shale (Aleksinac deposit, Serbia) and its liquid pyrolysis products (open and closed systems). *Marine and Petroleum Geology*, 136, 105383. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105383>
3. Štrbac, S., Randelović, D., Gajica, G., Hukić, E., Stojadinović, S., Veselinović, G., Orlić, J., Tognetti, R., Kašanin-Grubin, M. (2022). Spatial distribution and source identification of heavy metals in European mountain beech forests soils. *Chemosphere*, 309, 136662. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136662>
4. Kojić I., Bechtel, A., Aleksić, N., Životić, D., Trifunović, S., Gajica, G., Stojanović, K. (2021). Study of the Synergetic Effect of Co-Pyrolysis of Lignite and High-Density Polyethylene Aiming to Improve Utilization of Low-Rank Coal. *Polymers*, 13, 75. <https://doi.org/10.3390/polym13050759>
5. Gajica, G., Šajnović, A., Stojanović, K., Antonijević, M., Aleksić, N., Jovančičević, B. (2017). The influence of pyrolysis type on shale oil generation and its composition (upper layer of Aleksinac oil shale, Serbia). *Journal of the Serbian Chemical Society*, 82, 1461-1477. <https://doi.org/10.2298/JSC170421064G>