

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
Наставно-научном већу

ИЗВЕШТАЈ
О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. УВОД

Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидата Николете Алексић, мастер геолога, гласи: *„Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине“*.

Дисертација садржи:

- 135 страна рачунарски обрађеног текста А4 формата;
- 22 табеле у тексту дисертације;
- 125 слика и дијаграма у тексту дисертације;
- 130 литературних навода у списку литературе.

Хронологија одобравања и израде дисертације

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 28.11.2019. године донело је Одлуку о именовању Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене теме докторске дисертације Николете Алексић, мастер геолога, под насловом *„Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине“*, у саставу: др Александар Костић, ред. проф.; др Раде Јеленковић, ред. проф.; и др Ксенија Стојановић, ред. проф. Универзитета у Београду – Хемијски факултет (документ број 1/371 од 2.12.2019. године).

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 26.12.2019. године усвојило је позитиван Извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора предложене докторске дисертације, Николете Алексић, мастер геолога, под насловом: *„Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине“*. За ментора је именован др Александар Костић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду (документ број 1/410 од 31.12.2019. године).

Веће Научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 23.01.2020. године донело је Одлуку којом се даје Сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Николете Алексић, под називом: „*Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине*“ (документ број: 61206-81/2-20 од 23.01.2020. године; примљено на Рударско-геолошком факултету 27.01.2020. године.)

Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 16.09.2021. године донело је Одлуку којом се именује Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације Николете Алексић, мастер геолога, под насловом: „*Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине*“ у саставу: др Александар Костић, редовни професор, др Раде Јеленковић, редовни професор и др Ксенија Стојановић, редовни професор Универзитета у Београду – Хемијски факултет (документ број: 1/275 од 21.09.2021. године).

Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација кандидата Николете Алексић, мастер геолога, припада научној области Геологија, односно ужој научној области Економска геологија (Студијски програм Геологија, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет). За ментора докторске дисертације одређен је др Александар Костић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, ужа научна област Економска геологија.

Биографски подаци о кандидату

Кандидат Николета Алексић рођена је 18.10.1989. године у Вршцу. Основну школу завршила је са одличним успехом након чега је 2004. године уписала Гимназију „Борислав Петров-Браца“ у Вршцу, коју је 2008. године такође завршила са одличним успехом.

Од октобра школске 2008/2009. године започела је студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Геологија. Основне академске студије завршила је 2011. године са просечном оценом 9,11. Завршни рад одбранила је са оценом 10, након чега је стекла диплому о високом образовању и стручном називу *геолог*. Мастер академске студије уписала је школске 2011/2012 године, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Геологија – модул Економска геологија. Мастер студије је завршила 2015. године са просечном оценом 9,45. Мастер рад, из области геологије нафте, под називом „*Примена апаратуре Rock-Eval 6 у испитивању органске и минералне материје седимената, на примеру уљних шејлова Алексића*“ одбранила је са оценом 10, након чега је стекла стручни назив *мастер геолог*. Докторске студије уписала је школске 2015/2016. године на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Геологија. Положила је свих 15 предмета у обиму 175/180 ЕСПБ, са просечном оценом 10.

У склопу докторских студија посебно је овладала методиком пиролитичких и микроскопских испитивања керогена и битумена матичних стена за нафту и гас, као и уљних шејлова.

Од маја 2015. године запослена је на Рударско-геолошком факултету као *сарадник у настави* на Катедри за економску геологију. У марту 2016. године изабрана је у звање *асистента* на Катедри за економску геологију. Предмети за које је по последњој акредитацији задужена за извођење вежби су: Основи геологије нафте, Лежишта и истраживање нафте и гаса, Пројектовање у истраживању лежишта нафте и гаса, Процена ресурса и резерви нафте и гаса, као и Лежишта угљева.

Током рада на Рударско-геолошком факултету, Николета Алексић, мастер геолог, обавила је више краћих обука и усавршавања у земљи и иностранству, чиме је битно унапредила свој даљи научно-истраживачки рад, посебно у домену метода анализе органске супстанце и коришћења релевантног софтвера:

- У октобру 2014. године похађала је у Београду обуку од стране стручњака компаније *Vinci Technologies* (Француска) за апаратуру „Rock-Eval 6“ инсталирану на Департману за економску геологију, коју од тада успешно користи у свом научно-истраживачком раду, укључујући мастер рад и докторску тезу, а уз примену софтвера: „Rockint™ 6“ и „RockSix“.
- Године 2015, похађала је обуку за рад на моторизованом микроскопу „Zeiss“ – Axio Imager, инсталираном на Департману за економску геологију, као и употребу софтвера „FOSSIL“ (Hilgers Technisches Büro, Немачка), што такође од тада успешно користи у свом научно-истраживачком раду, укључујући докторску дисертацију. Осим тога, обучила се и за употребу линије „Struers“ за припрему микроскопских препарата, које од тада самостално и израђује.
- У јуну 2016. године, у Потсдаму (Немачка), похађала је ICCP тренинг курс за органску петрологију - „*ICCP Training Course in Organic Petrology*“.
- Године 2017, у Београду је похађала курс „*Coal and Peat Organic Petrography*“ који је на РГФ (26-30. мај) одржао др Stavros Kalaitzidis (*University of Patras*), у оквиру ERASMUS+ програма (*Key Action 1, International Mobility*).
- У јуну 2017, у Потсдаму (Немачка) похађала је и посебан ICCP тренинг курс за дисперзну органску супстанцу – „*ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter*“.
- У оквиру Erasmus + програма (PLKRAKOW02, International Mobility), у периоду 8-11 мај 2018. године (РГФ, Београд), похађала је курс: „*Laboratory measurements and well logging for determination of petrophysical properties of rocks*“ који је одржала Проф. др Jadwiga Jarzyna (*Faculty of Geology, Geophysics and Environmental protection, AGH University of Science and Technology, Krakow*).
- Током 2018. године била је један од 50 студената докторских студија са Балкана који су добили стипендију руског Института за нуклеарна истраживања за похађање међународне школе за нуклеарне методе за заштиту животне средине („*International School of Nuclear Methods for Environmental and Life Sciences*“) у Будви, Црна Гора (22-28. априла 2018. године).
- У периоду 21-23 јануара 2020. године, на Рударско-геолошком факултету у Београду, похађала је тренинг курс „*Studio RM Introductory Training*“ за рад у програмском пакету „*DATAMINE*“, за шта је добила сертификат.

Кандидат Николета Алексић од 2017. године активно учествује на **пројекту** Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом „Истраживање могућности повећања енергетске ефикасности коришћењем енергетских потенцијала на примеру „НИС-Нафтагаса“ (ТР-33001). Осим тога, током 2016. и 2017. године, учествовала је и на пројекту под називом „Пројекат процене угљоводоничног потенцијала источне Херцеговине“ (РГФ, Београд; за потребе НИС Газпром нефт), како у теренским, тако и у лабораторијским и кабинетским радовима - под руководством свог ментора.

Од октобра 2014. године, редовно учествује као **предавач** на семинарима у Истраживачком центру „Петница“ из области геологије нафте. У периоду 27-31. мај 2019. године, у оквиру ERASMUS+ програма („*International Mobility for Staff Teaching and Training Activities*“), одржала је предавање у Леобену (Аустрија) на тему остварених резултата из области испитивања органске супстанце уљних шејлова Алексинца.

Кандидат Николета Алексић је до сада као аутор и коаутор публиковала **4 рада** у часописима међународног значаја (два рада категорије М21; и два категорије М23), као и **2 саопштења** са научних скупова међународног и националног значаја (категорије М34 и М63, респективно). У новембру 2018. године положила је и **стручни испит** прописан Законом о рударству и геолошким истраживањима.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Николете Алексић садржи следећа основна поглавља:

- Увод
- Регионални геолошки и нафтно-геолошки приказ
- Геолошка грађа истражног подручја
- Методика испитивања термичке зрелости и нафтно-матичног потенцијала
- Преглед извршених истраживања
- Резултати истраживања и интерпретација
- Термичка зрелост органске супстанце
- Нафтно-матични потенцијал
- Закључак
- Литература

Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* докторске дисертације (стр. 1-2) дефинисани су циљеви истраживања као и примењена методика којом је испитивана органска супстанца седимената на простору источне Херцеговине. Циљ докторске дисертације обухватио је, као први аспект,

сагледавање геолошке грађе, еволуције и нафтно-гасног потенцијала ширег подручја уз корелацију са могућим нафтно-матичним потенцијалом источне Херцеговине. Полазне хипотезе за истраживање нафтно-матичног потенцијала источне Херцеговине била су еквивалентност структурно-тектонског модела и стратиграфске припадности потенцијалних нафтно-матичних формација на ширем подручју, као и значајна појава сипежи битумена на Мишљену (у близини Требиња), која је у прошлости била и експлоатисана у бунарима. Други и најважнији аспект циља докторске дисертације, приказан у *Уводу*, био је дефинисање термичке зрелости органске супстанце и нафтно-матичног потенцијала применом савремених и широко прихваћених аналитичких метода. Коришћена су пиролитичка испитавања апаратуром Rock-Eval 6, органо-петрографска проучавања дисперзне органске супстанце у одбијеној светлости (нормалној и флуоресценцији), мерења рефлексије хуминита/витринита и мерење рефлексије битумена (у узорцима без фитокласта), док је микроскопски евидентно порекло органске супстанце на крају сагледавано и потврђено органско-геохемијским параметрима (биомаркерима) добијеним на основу резултата гаснохроматографско-масеноспектрометријских (GC-MS) испитивања. У *Уводу* је дат и кратак приказ прикупљених седимената на простору источне Херцеговине узоркованих на 16 локалитета. На крају *Увода* следи навођење 10 поглавља приказаних у докторској дисертацији.

Друго поглавље - ***Регионални геолошки и нафтно-геолошки приказ*** (стр. 3-20) садржи следећа потпоглавља: Еволуцију ширег подручја, Тектонске јединице Динарида, Геотермичке карактеристике као и Нафтно-геолошке карактеристике. Ово поглавље је значајно за добијање јасне представе о стварању и геотектонском развоју Динарида, као простора у оквиру ког се налази истражно подручје источне Херцеговине, при чему је дат и приказ издвојених тектонских јединица на простору Динаридског планинског система. У оквиру Геотермичких карактеристика наглашени су геотермални градијенти и просечне вредности топлотних токова присутних на простору источне Херцеговине као и у ширем региону који обухвата Албанију, Хрватску и Италију, што је од великог значаја за геотермичку еволуцију могућих матичних стена. Потпоглавље нафтно-геолошке карактеристике обухватило је приказ до сада откривених матичних, резервоар и заштитних стена, као и замки и значајних налазишта нафте и гаса на простору ширег региона (Албанија, Хрватска и Италија), што је од значаја за корелацију са подручјем источне Херцеговине. Посебно су назначени и могући/очекивани елементи нафтног система у источној Херцеговини, приказани на слици 17.

У трећем поглављу - ***Геолошка грађа истражног подручја*** (стр. 21-25) издвојена су потпоглавља: Структурно-тектонски склоп и Стратиграфско-литолошки приказ. У оквиру Структурно-тектонског склопа истражног подручја описан је положај и развој Далматинско-херцеговачке зоне односно зоне Високог Крша којој припада простор источне Херцеговине, док су у оквиру стратиграфско-литолошког приказа дати литолошки описи свих стратиграфских јединица издвојених на истражном подручју источне Херцеговине, од тријаса до квартара.

У четвртном поглављу - *Методика испитивања термичке зрелости и нафтно матичног потенцијала* (стр. 25-42) приказане су методе које се стандардно користе за таква проучавања, а то су: Пиролиза Rock-Eval - како са становишта анализе термичке зрелости, тако и са становишта анализе нафтно-матичног потенцијала; Органо-петрографске методе које се односе на микроскопско проучавање органске супстанце у одбијеној нормалној светлости и флуоресценцији, чиме се кроз евидентирање различитих мацерала и битумена недвосмислено доказују природа и порекло органске супстанце, али и најпозуданије дефинишу нивои матурације органске супстанце кроз методу рефлексије хуминита/витринита. У овом поглављу приказана је и Рефлексија битумена – метод који се може применити у случају одсуства фитокласта (а присуства чврстих битумена), што је често од посебног значаја за кречњаке, иначе доминантно присутне у истражном подручју. Даље, разматране су и главне Органско-геохемијске методе, конкретно GC-MS анализа, којом се на основу идентификације различитих биомаркера - геохемијских индикатора и њихове обилности, може одредити порекло и средина таложења органске супстанце седимената, али дати и емпиријска процена нивоа матурације. Последње потпоглавље овог одељка је Моделовање матурације које се односи на приказ реконструкције конседиментационе и геотермичке еволуције седимената моделом EASY %Ro, које је кандидат за подручје источне Херцеговине посебно и урадио - на основу усаглашавања резултата мерења и математичких прорачуна рефлексије витринита.

Пето поглавље - *Преглед извршених истраживања* (стр. 43-57) обухвата следећа три потпоглавља: Примењени критеријуми узорковања, Прикупљени узорци и њихове карактеристике и Примењене методе испитивања. Дат је опис критеријума којима је вршено узорковање на простору источне Херцеговине приликом теренског истраживања кандидата, почевши од критеријума репрезентативности (свежих) изданака за узорковање, референтног литолошког састава и уочавања присуства органске супстанце у седиментима (визуелно и мирисом), све до тога да се обухвате све откривене стратиграфске јединице (од тријаса до неогена). У потпоглављу о прикупљеним узорцима следи табеларни приказ и литолошки опис свих прикупљених узорака (њих 96), према стратиграфској припадности, који је праћен сликама снимљеним током теренског истраживања и узорковања. У последњем делу поглавља - о примењеним методама испитивања, наводе се методе и апаратуре коришћене током лабораторијског проучавања, коришћени стандарди, као и обим испитивања сваком методом. У оквиру овог поглавља описана је и припрема узорака за анализе претходно наведеним методама. Током истраживачког рада на докторској дисертацији, укупно је урађено преко 160 анализа на прикупљеним узорцима, при чему је највише анализа - њих 109 (96 пре екстракције и 13 после) извршено пиролизом Rock-Eval (апаратура „Rock-Eval 6”; РГФ, Београд), затим 46 анализа на микроскопу „Zeiss“ – *Axio Imager* (РГФ, Београд), укључујући мерење рефлексије витринита (23 препарата), као и 13 органско-геохемијских анализа урађених на Универзитету у Београду - Хемијском факултету, (Катедра за примењену хемију). Све анализе које је кандидат радио на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, урађене су у Лабораторији за истраживање минералних сировина на Департману за економску геологију.

Шесто поглавље - *Резултати истраживања и интерпретација* је најобимније поглавље докторске дисертације (стр. 58-110) и у њему докторанд кроз три потпоглавља даје свеобухватан и детаљан преглед резултата и интерпретације резултата прво Пиролизе Rock-Eval, потом Органо-петрографских испитивања и на крају Органско-геохемијских испитивања.

- Резултати пиролизе Rock-Eval који су обухватили све прикупљене површинске узорке на подручју источне Херцеговине, већ на почетку интерпретације омогућили су сагледавање нафтно-матичног потенцијала седимената источне Херцеговине, али су омогућили и почетне процене степена термичке зрелости, већином преко параметра T_{max} . За сваки анализирани узорак, од тријаса до неогена, дат је приказ садржаја укупног органског угљеника (*енг.* Total Organic Carbon, TOC; мас. %), количине слободних угљоводоника (HC) присутних у стени (S1; mg HC/g стене), количине генерисаних угљоводоника (S2; mg HC/g стене), затим температуре максималног генерисања угљоводоника (T_{max} ; °C), водоничног (HI; mg HC/g TOC), кисеоничног (OI; mg HC/g TOC) и продукционог (PI) индекса. Поуздана интерпретација резултата пиролизе обухватила је 81 узорак у којима је детектована довољна количина органског угљеника (TOC >0,30 %) али и температура T_{max} од преко 395 °C. Резултати анализираних седимената свих стратиграфских јединица праћени су табеларним приказима као и основним дијаграмима односа различитих параметара из пиролизе Rock-Eval (HI- T_{max} ; HI-OI). На основу сагледавања односа водоничног индекса и температуре максималног генерисања угљоводоника (HI- T_{max}), као и односа водоничног и кисеоничног индекса (HI-OI) може се закључити да се испитивани узорци тријаса одликују претежно керогеном типа II и мањим делом керогеном типа II/III, при чему се према матурационом нивоу налазе на стадијуму касне дијагенезе и ране катагенезе. Седименти јуре према резултатима анализе Rock-Eval одликују се делом керогеном типа II, а делом керогеном типа II/III, при чему се такође налазе како у дијагенетском, тако и у ранокатагентском стадијуму. Анализирани седименти креде одликују се аномално ниским вредностима T_{max} , али одличним нафтно-матичним потенцијалом (високим водоничним индексом), док се анализирани седименти палеогена и узорак угља неогене старости одликују керогеном типа III и дијагенетским стадијумом, што је и очекивано. У оквиру пиролизе Rock-Eval дат је и упоредни приказ резултата пре и после екстракције битумена, при чему су прорачунате и приказане кориговане вредности значајних параметара. На основу свих резултата пиролизе, извршена је коначно и селекција узорака за детаљне органско-петрографске и органско-геохемијске анализе.
- Органо-петрографским испитивањима било је обухваћено квалитативно микроскопско проучавање органске суптанце у одбијеној светлости (нормалној и флуоресценцији) у 23 издвојена узорка, као и мерење рефлексије хуминита/витринита, такође на 23 узорка. Проучавања су показала да се анализирани узорци тријаса одликују не само обилним честицама витринита, већ и значајним садржајем липтинита, посебно морског алгинита запаженог у једном узорку, при чему измерене средње рефлексије витринита у узорцима варирају од 0,58 до 0,78 % R_r - што доказује почетни стадијум катагенезе. Узорци јуре

поред честица витринита нису садржали друге групе мацерала али су код њих запажене значајне количине чврстог гранулираног битумена. Средња вредност измерених рефлексција јурских узорака креће се у опсегу од 0,58 до 0,65 % R_g што такође показује почетни катагентски стадијум. Код узорака кредне старости запажено је присуство мацерала ламалгинита и битуминита, при чему су рефлексције витринита измерене само на два узорка са средњим вредностима од 0,53 до 0,54 % R_g - што показује почетни стадијум катагенезе, посебно код термички лабилнијих керогена. Рефлексција измерена на узорку палеогене старости износи 0,38 % R_g (стадијум дијагенезе) при чему поред честица хуминита, у узорку није утврђено присуство других мацерала. Узорак угља неогене старости одликује се средњом вредношћу рефлексције од 0,34 % R_g.

- Резултати добијени на основу *органско-геохемијских испитивања*, односно анализом различитих биомаркера указују на порекло и средину таложења органске супстанце у 13 анализираних узорака мезозојских седимената источне Херцеговине и сипежи са Мишљена. Према добијеним резултатима, битумен у седиментима тријаса одликује се мешовитим морским до копнено-биљним пореклом, битумен јурских седимената мешовитим пореклом, али са већим уделом биљне прекурсорске масе, док битумен кредних узорака указује како на екстремно карбонатно-евапоритску средину таложења матичне органске супстанце, тако и на средине са повишеном/високим салинитетом и доминацијом микробних талога.

Седмо поглавље дисертације - *Термичка зрелост органске супстанце* (стр. 111-115) односи се на синтезну интерпретацију и давање коначног суда о нивоима матурације органске супстанце различитих стратиграфских јединица на основу свих добијених резултата, односно резултата свих примењених метода. Правилним узимањем у обзир рефлексције витринита као најпоузданијег показатеља степена зрелости органске супстанце, закључено је да се узорци тријаса, јуре и креде, који су данас на површини, налазе на стадијуму ране катагенезе. Докторанд појашњава због чега вредности параметра T_{max} код многих испитиваних узорака нису били у складу са измереним рефлексцијама витринита, већ су показивали аномално ниже вредности, посебно код анализираних узорака креде. На основу карактеристичних облика пиролизичких кривих, као и резултата добијених Rock-Eval анализом пре и после екстракције, затим евидентних опсервација под микроскопом и путем органско-геохемијских проучавања, као узрок ниских вредности параметра T_{max} и донекле измењених вредности осталих параметара пиролизе (првенствено S₁, S₂ и PI) истиче се присуство површински измењеног битумена/асфалтена у узорцима, што је додатно појашњавано у тези и аргументовано ранијим сличним запажањима публикованим у релевантној литератури.

У осмом поглављу - *Нафтено-матични потенцијал* (стр. 116-123), на основу свих резултата испитивања, како вредности и односа релевантних параметара из пиролизе Rock-Eval приказаних на дијаграмима, тако и на основу квалитативног проучавања дисперзне органске супстанце под микроскопом и присутних биомаркера, кандидат детаљно сагледава и дефинише могући нафтно-матични потенцијал свих стратиграфских јединица, од тријаса

до неогена. На основу синтезне интерпретације резултата, истиче се да су главни носиоци нафтно-матичне потенцијалности на простору источне Херцеговине матичне стене креде (турона) и тријаса (карна), који се у овом подручју услед краљуштања и издизања појављују на површини у стадијуму ране катагенезе, са добрим до одличним квалитетом. Преостали анализирани седименти, од јуре до палеогена, одликују се slabим нафтно-матичним потенцијалом и у овом подручју нису могли одиграти улогу матичних стена. Као главна проблематика евентуалних детаљних нафтно-геолошких истраживања источне Херцеговине истичу се заштитне стене, тј. њихов могући изостанак на овом подручју.

У **Закључку** докторске дисертације (стр. 124-126) кандидат укратко сумира резултате својих проучавања термичке зрелости органске супстанце и нафтно-матичног потенцијала седимената источне Херцеговине, добијених на основу пиролизе Rock-Eval, органо-петрографских и органско-геохемијских испитивања, при чему у првом делу овог поглавља даје краћи осврт на развој спољашњих Динарида односно Карбонатане платформе као простора на ком се налази истражно подручје, са освртом на нафтно-геолошке и геотермичке карактеристике региона.

У одељку **Литература** (стр. 127-135) дат је списак свих референци које је кандидат користио и цитирао у докторској дисертацији, како из области опште геологије, тако и из геотермије, моделовања басена и посебно геологије и геохемије нафте.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација Николете Алексић под насловом „*Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине*“ представља оригинално дело које на научно-заснован и савремен начин дефинише термичку зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал седиментних стена источне Херцеговине. Током рада на докторској дисертацији, спроведена теренска, лабораторијска и кабинетска проучавања допринела су разумевању геолошке грађе и нафтно-геолошких карактеристика истражног простора, као и јасном дефинисању степена матурације органске супстанце седимената мезозоика и кенозоика, издвајању и карактеризацији матичних стена источне Херцеговине. Очекује се да ће поред научног значаја, резултати приказани у докторској дисертацији имати и практичан значај за рационализацију будућих истраживања нафте и гаса на подручју источне Херцеговине, али и за корелације и предвиђања могућег потенцијала суседних истражних подручја у региону.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „*Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине*“, аутора Николете Алексић, мастер геолога, утврђено је да подударање текста износи 6 %. Овај степен

подударности последица је у првом реду понављања општих појмова из наслова тезе у заглављима (“*headers*”) сваке странице доктората (око 800 речи), затим географских и геолошких одредница, библиографских података о коришћеној литератури, стандардних параметара анализа, супстанци па чак и бројева (са или без децимала), као и уобичајених скраћеница појединих параметара и појашњења њиховог значења - који се дају у потписима појединих слика, а што је све у складу са чланом 9. Правилника.

Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације докторанд Николета Алексић је користила литературу из области опште геологије, геотектонике, геодинамике, моделовања басена, геотермије, а посебно из области геологије и геохемије нафте и гаса. Референтна литература обухвата све сегменте дисертације, односно најзначајније публикације које се односе на проблематику геотектонских, геотермичких и нафтно-геолошких карактеристика ширег и предметног подручја, као и извршених ранијих проучавања. Најстарија публикација коју је кандидат користио потиче из 1940. године, а најновији публиковани подаци из 2021. године.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Николета Алексић је за потребе израде докторске дисертације користила адекватне научне методе, а посебно оне развијене у оквиру геологије и истраживања нафте и гаса. Основне групе коришћених метода се могу поделити на следећи начин:

- Кабинетски радови
- Теренске методе проспекције и систематског узорковања
- Лабораториске аналитичке методе проучавања органске супстанце, са одговарајућом припремом узорака

У оквиру кабинетских радова, у првој фази извршено је прикупљање и анализа доступне релевантне литературе која се односила на нафтно-геолошке и геотермичке карактеристике ширег подручја, на савремени концепт геодинамичког развоја с акцентом на приказ геолошких и геотектонских прилика које су довеле до формирања спољашњих Динарида односно простора Карбонатне платформе. После критичке обраде и корелације публикованих података, у другој фази су систематично издвајане нафтно-геолошки интересантне стратиграфске јединице (потенцијалне матичне стене), јединице које су важне за сагледавање матурације (угљевити седименти), а коначно извршено и планирање главних маршрута и места узорковања на терену - којим се уједно обухватају и све откривене стратиграфске јединице подручја источне Херцеговине (од тријаса до неогена).

Теренске методе које су представљале основ за сва даља проучавања односиле су се на нафтно-геолошку проспекцију терена источне Херцеговине која је била првенствено усмерена на регистровање и узорковање могућих нафтно-матичних стена и битуменске

сипежи (Мишљен), али посебно и седимената са керогеном типа III - погоднијих за анализу матурације. Сви теренски радови су извршени током 2019. године, већином дуж предвиђених маршрута, при чему је прикупљено 96 површинских узорака са (свежих) изданака 16 издвојених локалитета (Клобук, Жупа, Автовац, Сушица-Јазина, Нецвијеће, Симијова, Богдашићи, Горња Мека Груда, Тодорићи, Придворци, Буговина, Мишљен, Чепелица, Граб, Кљен, Гацко).

Лабораторијске аналитичке методе су прво захтевале одговарајућу припрему свих прикупљених узорака за пиролизу Rock-Eval, што подразумева дробљење, млевење, просејавање и мерење узорака на аналитичкој ваги; затим селекцију (на основу резултата пиролизе) и припрему микроскопских препарата од издробљених зрна стена намењених за органо-петрографску анализу и мерење рефлексije витринита – што подразумева изливање у калупе са епоксидном смолом и полирање. Припрема узорака за органско-геохемијске анализе (GC-MS), урађена на Хемијском факултету, односила се на екстракцију битумена и његово хроматографско раздвајање на фракције алифатичних угљоводоника, ароматичних једињења и поларних једињења, посебно одабраних узорака мезозојских седимената.

Аналитичке лабораторијске методе које је докторанд Николета Алексић користила за анализу органске супстанце седимената источне Херцеговине су:

- Пиролиза Rock-Eval - аутоматизована контролисана пиролиза спрашених узорака стена, која се заснива на континуираном повећању температуре у апаратури и регистровању реакција трансформације и различитих излазних параметара, представља једну од најшире коришћених метода анализе дисперзне органске супстанце седимената. Применом методе Rock-Eval добијају се информације о садржају и природи органског угљеника, индикације о нивоу матурације, типу и продуктивности керогена, али и нека сазнања о минералној материји (преко неорганског угљеника). Апаратура даје велики број параметара од којих су најзначајнији: укупни органски угљеник (TOC; мас. %), резидуални угљеник (RC, мас. %) и пиролизујући (генеративни) угљеник (PC; мас. %) количина слободних угљоводоника у стени (S1; mg HC/g стене), генеративни потенцијал (S2; mg HC/g стене), температура максималног генерисања угљоводоника (T_{max} ; °C), водонични индекс (HI; mg HC/g TOC), кисеонични индекс (OI; mg HC/g TOC) и продукциони индекс (PI). Кандидат је наведене параметре критички и селективно разматрао током проучавања и анализе органске супстанце седимената источне Херцеговине, будући да се они не могу сви у потпуности користити у конкретном случају (површински измењени узорци). Посебно је извршена и упоредна анализа резултата пиролизе 13 реперних узорака пре и после екстракције битумена, што је био исправан приступ за конкретно истражно подручје и велика помоћ у интерпретацији.
- Органо-петрографске методе - које су уопште узевши најпоузданије методе сагледавања органске супстанце јер омогућавају непосредно опажање различитих типова керогена, битумена, битумија, минералне материје и њиховог просторног односа под микроскопом. У случају дисперзне органске супстанце седимената та

испитивања обухватају првенствено квалитативну анализу органске супстанце, односно заступљеност појединих типова керогена и битумена - у одбијеној нормалној светлости и флуоресценцији. За утврђивање степена термичке зрелости посебно је значајна метода рефлексије витинита (%Rr), односно рефлексије чврстих битумена (у случају одсуства витринита). Органо-петрографске методе се како у свету тако и код нас традиционално и систематски примењују будући да пружају непосредан увид у врсту и карактеристике органске и минералне материје, а метода мерења рефлексије витринита даје убедљиво најпоузданије информације о степену термичких промена органске супстанце. Како су се поједини анализирани узорци из источне Херцеговине одликовали одсуством репрезентативних честица витринита, а присуством битумена, кандидат је користио и методу мерења рефлексије битумена – уз примену одговарајуће формуле еквиваленције.

- Органско-геохемијске методе, од којих су посебно значајне гаснохроматографско-масеноспектрометријске (GC-MS) анализе екстракта седимената, које омогућавају додатно, а код аморфног керогена и једино могуће, сагледавање прекурсора органске супстанце, средине њиховог таложења и еквивалентног стадијума матурације - кроз анализу садржаја појединачних једињења у екстракту (битумену) као што су *n*-алкани, изопреноиди, стерани, хопани, трициклични терпани и др. Имајући у виду специфичност екстрахованог битумена из површинских узорака, кандидат је у интерпретацији првенствено користила резултате органско-геохемијских испитивања који се односе на порекло органске супстанце и средину седиментације.

Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Резултати научних истраживања приказани у докторској дисертацији кандидата Николете Алексић су високог степена применљивости. Могућност њихове практичне примене огледа се у следећем:

- Дефинисан је степен термичких промена свих седимената откривених на подручју источне Херцеговине, од тријаса до неогена;
- Идентификоване су и окарактерисане нафтно-матичне стене источне Херцеговине и утврђен њихов генеративни потенцијал;
- Процењен је интензитет ерозије и геотермичке еволуције Карбонатне платформе у истражном подручју, уз давање смерница за евентуална даља нафтно-геолошка истраживања на подручју источне Херцеговине и процене њене перспективности.

Резултати научног истраживања кандидата Николете Алексић су научно верификовани у више публикација и саопштења међународног и националног значаја у часописима категорије (M21 и M23 и на конгресима M34 и M63). Научни рад који је не само према примењеним методама и објекту истраживања везан за тему докторске дисертације, већ који се непосредно односи и на подручје источне Херцеговине, публикован је у часопису категорије M23, при чему је у њему приказан само део резултата докторандових научних истраживања приложених у дисертацији.

Оцена способности кандидата за самостални рад

Кандидат Николета Алексић је и кроз свој рад на докторској дисертацији показала да поседује све потребне квалитете научног истраживача, уз висок ниво самосталности у раду – од избора узорака, преко самосталне припреме, анализе и интерпретације, те да је способна како за тимски, тако и за потпуно самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних резултата

Научни допринос докторске дисертације Николете Алексић је остварен у:

- Истраживању подручја за које се до сада није располагало никаквим информацијама о природи и термичкој зрелости органске супстанце, нафтно-геолошким карактеристикама и могућем матичном потенцијалу. По среди су дакле први такви подаци из источне Херцеговине који ће бити доступни широј научној и стручној јавности, како код нас, тако и у свету.
- Систематизацији и приказу нафтно-геолошких и геотермичких карактеристика ширег региона (Албанија, Хрватска и Италија) и омогућавање корелације нафтних система и модела са подручјем источне Херцеговине и њеним нафтно-геолошким карактеристикама;
- Јасном дефинисању природе, порекла и термичке зрелости органске супстанце, њене количине, типа и продуктивности, како у седиментима мезозоика, тако и у седиментима кенозоика, а на основу примене савремених и општеприхваћених пиролитичких и микроскопских метода;
- Указивању на проблематику класичне интерпретације резултата пиролизе и могућности правилног решавања конкретних проблема, посебно у случајевима када се располаже искључиво површинским узорцима код којих слободни угљоводоници имају битно измењен садржај, састав али и термичку стабилност;
- Прецизнијем утврђивању порекла органске супстанце тј. битумена из седимената источне Херцеговине и специфичности средина седиментације прекурсорске супстанце - кроз анализу биомаркера као основних геохемијских индикатора;
- Утврђивању генеративног потенцијала свих стратиграфских јединица: тријаса, јуре, креде, палеогена и неогена на простору источне Херцеговине, што је омогућило издвајање и карактеризацију матичних стена источне Херцеговине (карн и турон).

Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом релевантне научне литературе и сагледавањем проблематике и приказаних постојећих решења из области докторске дисертације, закључујемо да су резултати добијени научним истраживањем кандидата Николете Алексић значајни и применљиви у пракси. Такође, на основу увида у задате циљеве истраживања закључујемо да је кандидат одговорио на сва релевантна питања и дао научна објашњења од великог значаја за

проблеме на које је наишао током истраживања, а који су и раније запажани у сличним истражним подручјима.

Остварени резултати приказани у докторској дисертацији односе се пре свега на одређивање природе, порекла и степена термичке зрелости органске супстанце у анализираним седиментима свих стратиграфских јединица, од тријаса до неогена, узоркованих на подручју источне Херцеговине, као и на утврђивање генеративног нафтно-матичног потенцијала, тј. главних матичних стена за нафту и њихове продуктивности. Истовремено, геохемијским анализама је прецизирана средина седиментације органске супстанце и утврђени су прекурсори битумена екстрахованих из испитиваних узорака.

Очекивана примена резултата у пракси

Резултати научних истраживања приказани у докторској дисертацији кандидата Николете Алексић су високог степена применљивости. Њихова практична примена огледа се у потпуно новим сазнањима заснованим на савременом проучавању органске супстанце, њене термичке еволуције и генеративног нафтно-матичног потенцијала, што представља први корак у примени савремене концепције истраживања нафте и гаса. Добијени резултати научног испитивања термичке зрелости органске супстанце и нафтно-матичног потенцијала могу имати велики практични значај као основ за планирање будућих истраживања нафте и гаса на простору источне Херцеговине, као и сагледавање њихове основне проблематике, као и главних ризика.

Верификација научних доприноса

Кандидат Николета Алексић је део резултата својих истраживања током рада на докторској дисертацији, а која су везана за органску супстанцу и термичку зрелост седиментних стена источне Херцеговине, публиковала као први аутор у часопису међународног значаја:

- Nikoleta Aleksić, Aleksandar Kostić & Miloš Radonjić (2021): Composition of organic matter and thermal maturity of Mesozoic nad Cenozoic sedimentary rocks in East Herzegovina (External Dinarides, Bosnia and Herzegovina).- *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, Vol. 91. – in press <https://doi.org/10.14241/asgp.2021.16> IF₂₀₂₀=1,333 (M23)

Поред наведеног научног рада који је непосредно везан за истражно подручје обухваћено докторском дисертацијом, кандидат је као коаутор публиковала и три научна рада категорије M21 и M23 који су засновани на истој методици анализе органске супстанце као у докторској дисертацији (пиролиза Rock-Eval, органска петрографија и рефлексција витринита, GC-MS екстракта), а као први аутор и два саопштења са научних скупова везана за геохемију уљних шејлова (микроелементе):

- Gajica G.Đ., Šajnović A.M, Stojanović K.A., Antonijević M.D., Aleksić N.M., Jovančičević B.S. (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*, Chemistry, Multidisciplinary (131/166); pp. 1461-1477.
<https://doi.org/10.2298/JSC170421064G>. ISSN 0352-5139 IF₂₀₁₇ = 0,797 (M23)

- Achim Bechtel, Klaus Oberauer, Aleksandar Kostić, Reinhard Gratzner, Vladimir Milisavljević, Nikoleta Aleksić, Ksenija Stojanović, Doris Groß, Reinhard F. Sachsenhofer, (2018): Depositional environment and hydrocarbon source potential of the Lower Miocene oil shale deposit in the Aleksinac Basin (Serbia).- *Organic Geochemistry*, 115, pp. 93-112. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.10.009>, ISSN 0146-6380 IF₂₀₁₆ = 3,081 **(M21)**
- Ivan Kojić, Achim Bechtel, Nikoleta Aleksić, Dragana Životić, Snežana Trifunović, Gordana Gajica & Ksenija Stojanović (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, 759. <https://doi.org/10.3390/polym13050759> IF₂₀₂₀ = 4,329 **(M21)**
- Nikoleta Aleksić & Aleksandar Kostić, (2018): Trace elements of the Aleksinac oil shale, Serbia.- XXI International Congress of the Carpathian Balkan Geological Association (CBGA) “Advances of Geology in southeast European mountain belts”, Salzburg, Austria, September 10-13, 2018, Abstracts, *Geologica Balcanica*, p. 271. ISBN 978-954-90223-7-7 (print); ISBN 978-954-90223-8-4 (eBook). **(M34)**
- Nikoleta Aleksić (2021): Mikroelementi u uljnim šejlovima Aleksinca i njihov uticaj na životnu sredinu.- VIII Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „*Docent dr Milena Dalmacija 2021*“ Novi Sad, Srbija, ISBN 978-86-7031-567-9. **(M63)**

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кратак осврт на дисертацију у целини, на научне доприносе конкретној научној области и методологији, на примену у пракси и на способности кандидата

Докторска дисертација кандидата Николете Алексић под насловом „*Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине*“ представља оригинално научно дело посвећено детаљном и систематском научном проучавању карактеристика органске супстанце и нафтно-матичног потенцијала седимената источне Херцеговине. Према предмету обраде, примењеној методици истраживања, оствареним резултатима и њиховој интерпретацији докторска дисертација припада ужој научној области Економска геологија. Методика истраживања, као и остварени резултати научног истраживања, могу се применити као модел испитивања дисперзне органске супстанце седимената и сагледавања нафтно-матичног потенцијала различитих перспективних подручја, посебно оних у којима још није било истражног бушења, а има довољно површинских изданака.

Научни значај као и допринос докторске дисертације огледају се у: 1) првим резултатима о карактеристикама дисперзне органске супстанце седимената и нафтно-матичном потенцијалу источне Херцеговине; 2) утврђивању степена зрелости и процени термичке еволуције органске супстанце, укључујући могући интензитет ерозије; 3) издвајању нафтно-матичних стена у источној Херцеговини и сагледавању њиховог генеративног потенцијала.

Тежиште рада у докторској дисертације односи се на одређивање свих релевантних карактеристика органске супстанце у седиментима источне Херцеговине савременим геолошко-геохемијским методама, издвајање матичних стена на основу теренских и лабораторијских опажања и анализа, сагледавање њиховог генеративног потенцијала пиролитичком методом, као и порекла екстрахованих битумена и детаљнијег дефинисања средине седиментације прекурсорске органске супстанце преко детаљне анализе биомаркера.

Апликативни значај докторске дисертације огледа се у систематичној анализи органске супстанце свих стратиграфских јединица откривених на истражном подручју, карактеризацији матичних стена, одредби матурационих зона, као и дефинисању генеративног потенцијала из пироллизе. Приказани резултати имају велики значај јер представљају полазну основу за евентуална будућа истраживања нафте и гаса на овом подручју.

Израдом докторске дисертације и публикавањем дела остварених резултата истраживања у научном раду у часопису међународног значаја, кандидат Николета Алексић је доказала да

влада савременим теренским, кабинетским и лабораторијским методама и да је способна да се бави даљим научним истраживањима из области геологије и геохемије нафте, на различитим нивоима и при различитом степену истражености, укључујући и „нова“ тј. неистражена подручја у којима још није било бушења.

Предлог комисије Наставно-научном већу

На основу свега изложеног сматрамо да докторска дисертација под насловом „Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине“, чији је аутор Николета Алексић, мастер геолог, представља оригинално научно дело из уже научне области Економска геологија.

Предлажемо Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати позитиван Извештај о урађеној докторској дисертацији, као и да кандидата Николету Алексић, позове на усмену одбрану пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 30.09.2021.

Комисија:

Др Александар Костић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

Др Раде Јеленковић, редовни професор, члан
Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет

Др Ксенија Стојановић, редовни професор, члан
Универзитет у Београду - Хемијски факултет

ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Термичка зрелост органске супстанце и нафтно-матични потенцијал источне Херцеговине“, аутора Николете Алексић, констатујем да утврђено подударање текста износи 6%. Овај степен подударности последица је у првом реду понављања општих појмова из самог наслова тезе у заглављима (“*header*”) сваке странице доктората (око 800 речи), затим географских и геолошких одредница, библиографских података о коришћеној литератури, стандардних параметара, супстанци па и бројева, као и уобичајених скраћеница појединих параметара и појашњења њиховог значења - који се дају у потписима појединих слика, а што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Београд, 03.09.2021. године

Ментор

Александар Костић, ред.проф.