

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Марије Ивановић, мастер инжењера технологије.

Одлуком бр. 35/124 од 13.05.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Марије Ивановић** под насловом

„Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

5.4.2016. кандидат **Марија Ивановић**, мастер инж. технологије пријавила је тему докторске дисертације под називом „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“.

Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду је дана 14.04.2016. одлуком 35/167 именовало Комисију за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације.

23.06.2016. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, на основу извештаја комисије донета је одлука 35/328 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације **Марије Ивановић**, мастер инж. технологије, под називом „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“. За ментора ове докторске дисертације именоване су др Ивона Радовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и др Снежана Ненадовић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“.

4.7.2016. донета је Одлука Универзитета, 02 број: 61206-3392/2-16, о сагласности на предлог теме докторске дисертације **Марије Ивановић**, мастер инж. технологије, под називом „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“.

13.05.2021. На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука број 35/124 о именовању чланова комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације **Марије Ивановић**, мастер инж. технологије, под називом „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“, у саставу др Ивона Радовић, редовни професор Технолошко-

металуршког факултета, Универзитета у Београду, др Снежана Ненадовић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“, др Мирјана Кијевчанин, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, др Љиљана Кљајевић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“ и др Миљана Мирковић, научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научнј области Технолошко инжењерство, ужа област Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментори одређени за вођење дисертације су Др Ивона Радовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду и Др Снежана Ненадовић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке Винча, Универзитета у Београду. Др Ивона Радовић објавила преко 75 а др Снежана Ненадовић преко 55 научних радова у међународним часописима.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Марија Ивановић, мастер инж. технологије, рођена је 25.08.1987. године у Смедервској Паланци. Завршила је основну школу 2002. год. и гимназију 2006. године у граду где је и рођена. Основне студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду започела је 2006/2007. школске године, а завршила у марту 2012. године са просечном оценом 7,70 на одсеку за Биохемијско инжењерство и биотехнологију. Завршни рад под називом „Својства и примена антимикуробних паковања у прехранбеној индустрији“ одбранила је са оценом 10. Мастер студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду започела је школске 2012/2013. године, а завршила у јулу 2013. године са просечном оценом 9,75 на Одсеку за Хемијско инжењерство. Мастер рад под називом „Прорачун сушница у флуидизованом слоју намењених добијању бакар (II)-сулфат-моноксидрата из бакар (II)-сулфат-пентахидрата“ одбранила је оценом 10 на студијском програм Хемијско инжењерство.

Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на катедри за Хемијско инжењерство, уписала је школске 2013/2014. У оквиру докторских студија положила је све испите предвиђене студијским програмом, као и завршни испит, са просечном оценом 9,92.

Од децембра 2016. запослена је у Институту за нуклеарне науке Винча у звању истраживач-приправник. У марту 2017. године стиче звање истраживач сарадника. Област интересовања докторанда су неоргански материјали и геополимери. У току свог научно-истраживачког рада бави се истраживањима везаним за синтезу нових еколошких материјала на бази природних сировина, као и индустријског отпада. Осим тога употреба тих нових материјала је у сврху заштите животне средине, која се односи на уклањање тешких метала из отпадних вода. Резултати досадашњег научно-истраживачког рада су публиковани у међународним и домаћим часописима и саопштени на конференцијама (7 радова са SCI листе и 16 радова саопштених на домаћим и међународним конференцијама).

Поред научно-истраживачког рада Марија Ивановић се бавила едукацијом предшколске и школске деце кроз пројекте „Винчине научионице“ и у марту 2017. године учествује на 5. Регионалном сајму образовања „НОУ ФЕСТ“ у Ћуприји. Сарађује са Центром за таленте у Земуну где је и ментор у оквиру израде научно-истраживачког рада. Учествује у међународном билатералном пројекту Републике Србије и Републике Црне Горе. Такође је учествовала је у организацији (део међународног Организационог одбора) прве

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Марије Ивановић „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална примена“ написана је на 124 нумерисане стране и садржи седам поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и Дискусија, Примена алкално активираниог материјала, Закључак и Литература*. Дисертација садржи 55 слика, 19 табела и 339 литературна навода. На почетку дисертације дат је резиме (на српском и енглеском језику), након тога је дат садржај дисертације, док је после референци наведена биографија аутора са библиографијом, изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије, изјава о коришћењу и изјава о оригиналности тезе. По форми и стандарду рад задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу *Увод* су дефинисани главни циљеви дисертације, предмет истраживања и очекивани допринос дисертације. Осим тога приказана је актуелност и значај испитивања у оквиру приложене докторске дисертације. Истакнуто је да су синтетисани материјали еколошки прихватљиви и да је због мале потрошње енергије смањен и ефекат стаклене баште.

Поглавље *Теоријски део* обухвата преглед литературе која је релевантна за предложена истраживања као и преглед и анализу до сада објављених резултата из области испитивања ефикасности наведених метода. Теоријски део се састоји из 7 потпоглавља.

Прво потпоглавље *Порозни материјали*, представља сам почетак докторске дисертације и објашњава шта су то порозни материјали, њихов значај, настанак као и карактеристике и примену. У другом потпоглављу *Аморфно-стакласто стање* се показује разлика између кристалног и аморфног материјала на основу структурног уређења. Говори се о аморфним материјалима, њиховој уређености и проводљивости. Као треће потпоглавље описани су *Силикати/силикатни материјали* који представљају најзаступљенију класу минерала у земљиној кори. Ово потпоглавље говори о структури силиката и његовим физичко-хемијским карактеристикама. Приказана је и подела-класификација силиката. Глинени минерали и глине као четврто потпоглавље дефинише назив глина и глинени материјал на основу гранулометријског састава. Осим тога истиче њихов значај и најзаступљеније представнике. Пето потпоглавље под називом *Неоргански полимери на бази алуминосиликатних материјала*, дефинише шта су то неоргански полимери као и термин „геополимер“. Ту спадају још 2 потпоглавља, у којима се описују алкално активирани и хибридни алкално активирани материјали. Синтеза алкално активираних материјала (ААМ) је шесто потпоглавље у теоријском делу где је описан процес алкалне активације. У овом делу се говори и о структури алуминосиликатног гела, као и о разликама у структури геополимера добијених применом различитих алкалних активатора. Дат је приказ и детаљно описан механизам реакције полимеризације. Примена алкално активираних материјала као порозних силикатних материјала представља последње - седмо потпоглавље у теоријском делу. У овом потпоглављу дат је кратак осврт на примену порозних материјала. Резултати проистекли из ове дисертације доприносе приближавању могућности шире употребе

порозних силикатних материјала. Говори се о површинским особинама и стабилности дисперзија која претходи адсорпцији тешких метала из водених раствора. Фактора који утиче на животну средину је присуство тешких метала у земљишту, води и ваздуху. Најчешћи тешки метали које се налазе у животној средини су кадмијум, цинк, олово, бакар, хром. У овом делу се говори о решавању проблема загађења водених система коришћењем различитих методе, као и о њиховим предностима и манамма. Још једно потпоглавље које се јавља је Примена хибридног алкално активаног материјала, јер се све више говори о мешању два различита система, органског и неорганског, што би допринело неким побољшаним својствима, као што су време подешавања, побољшана обрадивост, смањено скупљање, побољшана механичка својства и издржљивост. Да би се побољшала својстава геополимерних материјала, попут мале чврстоће на савијање, што ограничава њихову примену као структурног материјала, дошло је до стварања геополимерних композита. Разматрана је нова класа геополимерних композита са органском матрицом са главним циљем да се побољша отпорност на пожар органских полимера и смањи производња дима који настаје њиховим сагоревањем, као и да се побољшају механичке особине. Ови композити су такође названи „хибридни“ неорганско-органички композити. Нови материјали имају знатно смањену кртост у односу на геополимерну матрицу. Из ових разлога хибридни материјали би се могли користити за све примене у којима је употреба чистог геополимера ограничена његовом кртошћу.

У *Експерименталном делу* су наведени материјали и методе коришћене у експерименталном раду и састоји се из 8 потпоглавља. У првом потпоглављу је реч о материјалима који су коришћени у дисертацији: каолин, метакаолин, алкални активатор, органска фаза- ПВА. У другом потпоглављу је приказана и детаљно описана синтеза алкално активаног материјала док је у трећем потпоглављу описан процес синтезе алкално активаног материјала са додатком органске фазе. У четвртном потпоглављу су описани уређаји за испитивање термодинамичких параметара и начин рада истих. У наставку експерименталног дела докторске дисертације дат је опис и приказане су методе карактеризације почетног материјала метакаолина и алкално активаног материјала па се и ово потпоглавље састоји од неколико потпоглавља. Описана је рендгенска флуоресцентна анализа (*XRF*) помоћу које су одређени хемијски састави МК и ААМ. Величина честица синтетисаних материјала праћена је ласерском методом за одређивање величине честица. Одређена је специфична површина и порозност синтетисаног материјала помоћу *BET* методе. Гама спектроскопијом је урађена радиолошка карактеризација. Различитим методама (рендгенска дифракциона анализа (*XRD*), Фуријеова трансформација инфрацрвена спектроскопија (*FTIR*), Раман спектроскопија, скенирајућа електронска микроскопија, (*SEM*)) анализирани су промене структуре синтетисаног материјала као и морфологије честица прахова прекурсора и микроструктура синтетисаних узорака. *MALDI-TOF* методом потврђени су синтетисани полимерни материјали. Испитана је и природна радиоактивност материјала полазне сировине, метафазе и полимерног материјала. Такође је и урађена карактеризација термички третираних узорака као и рендгенска фотоелектронска спектроскопија (*XPS*). У следећем, шестом потпоглављу је описана и урађена термичка анализа узорака помоћу *TGA/DTA* методе, ради праћења процеса апсорпције или десорпције. Даље је описано одређивање зета потенцијала као седмо потпоглавље у циљу добијања информација у вези са површинским наелектрисањем честица и физичкој стабилности добијених дисперзија, испитан је утицај рН вредности на дисперзиону стабилност и одређена је изоелектрична тачка (pH_{iet}) испитиваних узорака ААМ. Адсорпција јона *Cd (II)* на алкално активаном материјалу, представљена је у осмом потпоглављу.

Поглавље *Резултати и дискусија* садржи детаљан приказ добијених резултата и њихову дискусију. Састоји се од три већа потпоглавља. У првом је представљена карактеризација полазног материјала-метакаолина који је добијен калцинацијом каолина. Испитивање метакаолина је урађено помоћу метода које су наведене у претходном поглављу у експерименталном делу.

У овом делу се пореде резултати сировог каолина и калцинисаног каолина, са резултатима из литературе. Анализа елементарног састава метакаолина, урађена је помоћу *XRF* методе. Даље је одређена специфична површина метакаолина помоћу *BET* методе и расподела величине честица. Резултати овог истраживања су показали да је дошло до смањења специфичне површине термичком активацијом каолина у метакаолин при температури од 750 °C за скоро 50%. Потврђено је да је дошло до процеса алгомерације током термичке активације каолина у метакаолин и повећања средње величине честица што је у складу са литературом. Урађена је и радиолошка анализа метакаолина јер сви грађевински материјали садрже различите активности природних радионуклида. Испитана је специфична активност радионуклида и израчунате вредности радијумског еквивалента активности, R_{eq} , индекса радијационог ризика H_{ex} , јачине екстерне апсорбоване дозе \dot{D} (nGy/h) и годишње ефективне дозе EDR (mSv/y). У наставку дисертације је урађена минералозна анализа метакаолина помоћу *XRD* методе, на основу које се у узорку МК уочава присуство аморфне фазе, као и присуство кварца и мусковита. Након тога је приказана *FTIR* анализа метакаолина са детаљним описом спектра. Ради даље карактеризације МК урађена је и приказана Раман анализа која је потврдила пикове који се јављају у МК и приликом *FTIR* анализе. Даље је представљена *MALDI TOF* анализа која је погодна за испитивање молекуларне структуре синтетисаних неорганских материјала. Приказани су сви сигнали са њиховим положајем и идентитетом откривени у узорку МК. Након тога следи потпоглавље *SEM/EDS* анализа. Приказана је морфологија МК где се види присуство кварца и других нечистоћа, а на основу *EDS* анализе утврђен је елементарни састав испитиване површине узорка метакаолина, где доминирају силицијум, алуминијум, што је показала и *XRF* метода. У следећем, потпоглављу карактеризације МК детаљно је приказана и Рендгенска фотоелектронска спектроскопија (*XPS*). Урађена је детаљна анализа линије кисеоника O1s, и показано да се његова спектрална линија може разложити на три доминантна доприноса. И као последње потпоглавље карактеризације МК приказан је зета потенцијал. Због површинских својстава и стабилности дисперзије метакаолина одређивана је вредност електрокинетичког потенцијала честица при различитим *pH* вредностима.

У наставку су анализирани термодинамички параметри коришћених алкалних активатора у процесу полимеризације (геополимеризације) алумосиликатних прекурсора у зависности од температуре. Приказани су резултати за две серије узорака: смеше Na_2SiO_3 и раствора NaOH моларности 2M - 8M за прву серију и од 10M - 16M за другу серију. Испитан је и утицај моларности који је најизраженији код испитивања вискозитета.

У трећем потпоглављу је урађена физичко-хемијска карактеризација алкално активираних материјала методама које су описане у експерименталном делу: *XRF* анализа, *BET*, радиолошке карактеристике ААМ, специфична активност радионуклида, анализа *XRD*, *FTIR*, Раман спекторскопија, *SEM*, *MALDI-TOF* анализа.

У оквиру поглавља *Примена алкално активираних материјала*, испитана је могућност примене синтетисаних порозних силикатних материјала као адсорбента тешких метала, и потенцијална примена у грађевинској индустрији. Ово поглавље се састоји из четири већа потпоглавља у оквиру којих су описани зета потенцијал ААМ и адсорпција Cd јона из водених раствора на ААМ. Треће потпоглавље се односи на примену ААМ у грађевинарству. Као последња потенцијална примена, у четвртном потпоглављу, описани су органско-неоргански хибридни ААМ. Анализирани су две врсте узорака на основу односа између органске и неорганске фазе.

У *Закључку* су сумирани добијени резултати проистекли из дисертације и изведени закључци на основу урађених истраживања.

На крају дисертације наведена је *Литература* која обухвата наводе цитиране у раду, као и публикације које су настале као резултат истраживачког рада везаног за ову докторску дисертацију.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Последњих деценија због све веће потражње за материјалима чија производња подразумева смањено ослобађање угљен-диоксида у атмосферу и малу потрошњу енергије, примећен је растући интерес академске заједнице и индустрије за развој, карактеризацију и примену нових одрживих материјала, који су предуслов за модерну инфраструктуру са новим стандардима.

Силикатни и алуминосиликатни материјали су традиционално веома важни материјали за примену у адсорпцији, катализи, грађевинарству, због својих механичких, термо/хидротермичких својства и јоноизмењивачких способности. Један од ових нових алумосиликатних материјала је геополимер, синтетички алкални алумосиликатни порозни материјал који настаје у реакцији алумосиликата са високо концентрованим воденим раствором алкалног хидроксида и силиката. У зависности од дизајна смеше и услова обраде, геополимери могу показивати различита својства као што су висока притисна чврстоћа, отпорност на киселине, ватросталност, и др. Ова и друга неопходна својства омогућавају употребу ове врсте порозних материјала у апликацијама као што је могућа замена за Портланд цемент у грађевинарству, високо температурне апликације, стабилизација тла и коловоза. Геополимери као порозни материјали могу се користити за имобилизацију токсичног отпада (нуклеарног отпада, отпадних вода и отпада који садржи тешке метале). Следећи корак у дизајнирању система према жељеној примени је разумевање очвршћавања материјала, структурне промене током процеса геополимеризације, као и финалне особине геополимера као порозних силикатних материјала.

Докторска дисертација „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“ кандидата Марије Ивановић је урађена са циљем, да се добију нова сазнања у погледу термодинамичких параметара алкалних активатора, с обзиром да је мало података у овој бласти о термодинамичким параметрима, као и да се укаже на њихов значај у креирању структуре нових порозних материјала. У дисертацији су између осталих испитани и термодинамички параметри густина и вискозност, у почетној фази синтезе полазећи од алуминосиликатних прекурсора (глина каолинског типа), натријум хидроксида различитих моларитета и натријум силиката, као алкалног активатора, који су били одговорни и који су утицали на добијену порозност силикатних материјала. Познавање термодинамичких величина је од великог значаја за синтезу порозних материјала који су се користили за адсорпцију. На синтезу, као и на структуру порозног силикатног материјала утиче састав бинарне смеше алкалног активатора, његова вискозност као и температура. Ове величине су биле значајне за разумевање материје на микроскопском нивоу, али и за понашање система као последице сложене структуре молекула и међу молекулских интеракција које су присутне у свакој реалној смеси. Осим наведеног праћене су структурне промене током процеса алкалне активације у широком опсегу концентрација употребљених алкалних активатора, природна радиоактивност полазних сировина и крајњег производа, термичка стабилност ново синтетисаних материјала, као и утицај додатка органске фазе на структурне особине материјала. Испитана је примена порозних силикатних материјала у адсорпцији кадмијума у зависности од односа Al/Si који је у функцији састава алуминосиликатних прекурсора као и алкалног активатора. У дисертацији је за карактеризацију како полазне сировине, тако и ново синтетисаних материјала коришћен велики број аналитичких метода (XRD, FTIR, SEM/EDS, BET метода, мерење расподеле величина честица методом дифракције ласерске светлости, Раман спектроскопија, рендгенска фото електронска спектроскопија, гама спекрометријска анализа,

матрицом потпомогнута ласерска десорпција/јонизација-MALDI TOF анализа, термичка анализа- TGA/DTA, одређивање зета потенцијала) међу којима је важно напоменути да је први пут у научно доступној литератури примењена MALDI TOF метода за праћење процеса геополимеризације. Рендгенска фотоелектронска спектроскопија, као и Раман анализа је потврдила резултате других примењених метода. Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су објављивањем више радова из тезе у истакнутим међународним часописима и саопштењима на скуповима од националног и међународног значаја.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У току израде дисертације кандидаткиња је прегледала литературу која се односи на утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних материјала и њихову примену, као и на процес полимеризације алкално активираних материјала. С обзиром да механизам реакције полимеризације још увек није до краја расветљен, иако су бројна истраживања на том пољу у последњих тридесетак година резултирала важним сазнањима, резултати истраживања ове докторске дисертације дају значајан допринос. У литературном прегледу докторске дисертације се налази 339 литературних навода, са тематиком значајном за израду ове дисертације. Наведене референце садрже експерименталне резултате истраживања, анализе, дискусију добијених резултата, као и теоријске основе примењених метода истраживања. У оквиру наведене литературе, налазе се и публикације кандидата проистеклих из ове докторске дисертације. Прегледана обимна литература и приложени објављени радови кандидата указују на његово адекватно познавање предметне области истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Физичко-хемијска карактеризација прекурсора и синтетисаних порозних силикатних материјала урађена је коришћењем рендгенске дифракције (*XRD*), рендгенске флуоресцентне анализе (*XRF*), инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом (*FTIR*), скенирајућом електронском микроскопијом (*SEM*), Матрицом потпомогнута ласерска десорпција/јонизација (*MALDI-TOF*). Рендгенском дифракционом анализом (*XRD*) урађена је идентификација фаза. Скенирајућом електронском микроскопијом (*SEM*) испитана је морфологија честица, прахова прекурсора, величине и облик пора синтетисаних порозних материјала. Инфрацрвеном спектроскопијом (*IR*) анализирани су функционалне групе у прекурсор материјалима као и образовању одређених функционалних група током процеса синтезе порозних неорганских материјала. Величина честица је праћена ласерском методом за одређивање величине честица. Гама спектроскопијом урађена су радиолошка мерења полазне сировине, као и коначног производа. Одређена је специфична површина и порозност синтетисаног материјала помоћу *BET* методе. Урађена је и термичка анализа помоћу *TGA/DTA* методе. Такође је урађена и карактеризација термички третираних узорака као и рендгенска фотоелектронска спектроскопија (*XPS*).

3.4. Применљивост остварених резултата

Експериментални подаци и истраживања спроведена у оквиру ове дисертације значајно доприносе бољем разумевању синтезе порозног силикатног материјала која је

нашла и примену у области заштите животне средине и грађевинарству. Добијени материјали су се показали као еколошки прихватљиви материјали због мале потрошње енергије током синтезе, као и лимитиране производње гасова са ефектом стаклене баште. Током рада на докторској дисертацији испитане су и термодинамичке карактеристике хомогених раствора алкалних активатора на основу којих се могу тумачити молекулске интеракције унутар раствора. Показана је утицај вискозности и густине алкалног активатора на синтезу порозног силикатног материјала. Добијени су услови параметара синтезе (температуре полимеризације, реакционог времена, време старења) порозног силикатног материјала. Испитана је кинетика адсорпције тешких метала на порозно силикатном материјалу. Побољшане су перформансе синтетисаног материјала у циљу њихове веће функционалности - површинских карактеристика, порозности материјала, механичких особина као и адсорпционе карактеристике.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Марија Ивановић, мастер инж. технологије је током израде докторске дисертације испољила стручност у припреми и реализацији експеримената, коришћењу различитих техника карактеризације материјала и анализе резултата, као и у писању научних радова који су објављени у међународним часописима и соопштени на конференцијама. Комисија сматра да кандидат поседује све квалитете који су неопходни за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати проистекли из ове докторске дисертације дали су велики допринос у области хемијског инжењерства, заштите животне средине и грађевинарству. Добијени резултати дали су следеће доприносе:

- Синтезом порозних неорганских материјала постигнуто је смањење природне радиоактивности
- Добијени су оптимизовани радни параметари, на основу извршене анализе термодинамичких карактеристика испитиваних система у широком температурном и опсегу концентрација бинарне смеше алкалног активатора
- Добијени су оптимални услови синтезе неогранског материјала одређених микроструктурних карактеристика
- Добијени материјал је показао добре функционалне карактеристике: површинске карактеристике, порозност материјала и адсорпционе карактеристике
- Добијени хемијски састав свих узорака потврђује добре пуцоланске активности
- Извршена је синтеза композитног материјала са додатком ПВА у праху.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу добијених резултата, у овој докторској дисертацији је дат значајан допринос синтези порозних силикатних материјала. Докторска дисертација дала је велики допринос и у праћењу полимеризације (*XRD*; *FTIR*; *MALDI TOF*) анализама. Кандидаткиња је у овој докторској дисертацији потврдила да се природна радиоактивност смањила после

синтезе порозних силикатних материјала. У литературним подацима нисмо успели да нађемо да су се истраживачки тимови бавили истраживањем природне радиоактивности полазног и коначног производа. Детаљна физичка-хемијска карактеризација полазне сировине и коначног производа није успела да нам помогне у потпуности како би одговорили зашто се то и десило. Праћен је процес полимеризације после 7, 14, 21 и 28 дана, а већина карактеризација је урађена после 28 дана када је и порозни материјал спреман за даљу примену. Порозни алкално активирани материјали синтетисани су у распону концентрација од 2М до 16М и у зависности од термодинамичких параметара бинарних смеша која је урађена у овој докторској дисертацији могли смо да препоручимо материјал синтетисан од различитих концентрација натријум хидроксида за разучиту примену. Тако је материјал са нижим моларним концентрацијама коришћен за адсорпцију тешких метала, где је испитана детаљна кинетика адсорпције која је веома важна за разумевање одлучујућег корака адсорпције. Пуцоланска активност свих узорака је око и преко 90% што узорке чини погодним за примену у грађевинарству. У литератури се углавном могу наћи карактеристике синтетисаног материјала са додатком ПВА у виду влакана.

4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру докторске дисертације „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“, као резултат истраживања проистекло је 9 радова (3 на SCI листи и 6 штампаних у изводима са конференција). Два рада су категорије M22 и један рад категорије M23, на којима је кандидат Марија Ивановић први аутор.

Категорија M22:

1. **Ivanović, M.**, Kljajević, Lj., Gulicovski, J., Petković, M., Janković-Častvan, I., Bučevac, D., Nenadović, S.: The effect of the concentration of alkaline activator and aging time on the structure of metakaolin based geopolymer, *Science of sintering*, vol. 52, no. 2, pp. 219-229, 2020, (IF=1.30, ISSN 0350820X), DOI: 10.2298/SOS2002219I
2. **Ivanovic, M.**, Kljajevic, Lj., Nenadovic, M., Bundaleski, N., Vukanac, I., Todorovic, B., Nenadovic, S.: Physicochemical and radiological characterization of kaolin and its polymerization products, *Materiales de Construcción*, vol. 68, no. 330, e 155, 2018, (IF=1,647, ISSN-L: 0465-2746), DOI:10.3989/mc.2018.00517

Категорија M23:

3. **Ivanović, M.**, Nenadović, S., Pavlović, V., Radović, I., Kijevčanin, M., Pavlović, V., Kljajević, Lj.: The influence of thermodynamic parameters on alkaline activators of geopolymers and the structure of geopolymers, *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 40, no.1, pp. 107–117, 2021, (IF=0,725, ISSN 1857-5552), DOI: 10.20450/mjce.2021.2127

Категорија M34:

1. **Ivanović, M.**, Radović, I., Kijevčanin, M., Kljajević, Lj., Nenadović, M., Mirković, M., Nenadović, S.: Thermodynamic parameters of alkaline activators and porous properties of high molar concentration geopolymers, Book of Abstract Training School Al-rich Industrial Residues for Inorganic Materials, May 24th-28th, pp 68-70, 2021
2. **Ivanović, M.**, Mladenović, N., Gulicovski, J., Todorović, B., Kljajević, Lj., Trivunac, K., Nenadović, S.: "Metakaolin-Based Inorganic Polymer Synthesis using Alkaline Activator", 5th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials, Belgrade, Serbia, 2019, pp. 77 – 77.
3. **Ivanović, M.**, Đukić, D., Mladenović, N., Kljajević, Lj., Pavlović, V., Nenadović, S., Mirković, M.: "The influence of thermodynamic parameters of the alkaline activator on the mechanical properties of geopolymers", Eighteenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering, Belgrade, Serbia, 2019, pp. 87 – 87.
4. **Ivanović, M.**, Mladenović, N., Gulicovski, J., Pavlović, V., Pavlović, V., Kljajević, Lj., Nenadović, S.: "Effect of alkaline activator properties on structure of metakaolin-based geopolymer samples", Serbian Ceramic Society Conference advanced ceramics and application VII, New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing, Belgrade, Serbia, 2018, pp. 73 – 74.
5. **Ivanović, M.**, Kljajević, Lj., Gulicovski, J., Todorović, B., Egelja, A., Pavlović, V., Nenadović, S.: "The Effect of Alkaline Activator Molarity and Aging Time on the Structure of Inorganic Polymer", First International Conference on Electron Microscopy of Nanostructures, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, 2018, pp. 204 – 205.
6. **Ivanović, M.**, Kljajević, Lj., Marković, S., Prekajski, M., Todorović, B., Gulicovski, J., Nenadović, S.: "The influence of alkali activator on the process of polymerization of geopolymers", 4th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials 2017, Belgrade, Serbia, 2017, pp. 66 - 66

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Марије Ивановић, мастер инжењера технологије под називом „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“ представља оригинални научни допринос предметне области истраживања, што је потврђено, између осталог и објављивањем радова у релевантним часописима међународног значаја, као и презентовањем резултата истраживања на конференцијама. Постављени предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности су остварени, на основу чега Комисија износи мишљење да докторска дисертација под називом „Утицај термодинамичких параметара на синтезу порозних силикатних материјала и њихова функционална применена“, испуњава све захтеване критеријуме.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат, пружи на увид јавности поднету докторску дисертацију кандидата Марије Ивановић, мастер инжењера технологије, у законом предвиђеном року, као и да Реферат упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да се након завршене процедуре, кандидат позове на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом у истом саставу.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Ивона Радовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Снежана Ненадовић, Виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја
за Републику Србију, Универзитет у Београду

.....
Др Мирјана Кијевчанин, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Љиљана Кљајевић, Виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја
за Републику Србију, Универзитет у Београду

.....
Др Миљана Мирковић, Научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја
за Републику Србију, Универзитет у Београду