

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милана Вујовића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5026/11-3 од 30.05.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Вујовића под насловом

Радијациона стабилност полимерних, геополимерних и композитних материјала за примене у управљању радиоактивним отпадом

(Radiation Stability of Polymer, Geopolymer and Composite Materials for Applications in Radioactive Waste Management)

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

Кандидат Милан Вујовић уписао је школске 2011/12 године докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Нуклеарна, медицинска и еколошка техника. Кандидат је положио све испите са просечном оценом 10,00 и испунио све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом изабраног модула докторских академских студија на Електротехничком факултету Универзитета у Београду и на тај начин остварио предвиђених 120 ЕСПБ бодова.

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 545/2 од 13.03.2012. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2011/2012, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

Кандидат је био у статусу мировања у школској 2017/2018. години и школској 2019/2020. години.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду - Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

Кандидат је започео истраживачки рад у области радијационе стабилности материјала и компоненти са посебним акцентом на примену истих у области управљања радиоактивним отпадом под менторством проф. др Милоша Вујисића као ментора за студијски истраживачки рад.

Тему докторске дисертације, под радним насловом „Радијациона стабилност полимерних, геополимерних и композитних материјала за примене у управљању радиоактивним отпадом”, кандидат је пријавио 28.12.2017. године.

Комисија за студије трећег степена је на седници одржаној 10.01.2018. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и Наставно-научном већу Електротехничког факултета упутила предлог Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на предлог Комисије за студије трећег степена, одлуком бр. 5026/11-1 од 25.01.2018. године, именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Оливера Цирај-Бјелац, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
2. др Гордана Пантелић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“
3. др Жељко Ђуришић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
4. др Марко Барјактаровић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

За ментора докторске дисертације предложен је др Милош Вујисић, тада доцент а данас ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације кандидата одржана је 31.01.2018. године на Електротехничком факултету. На усменој одбрани били су присутни сви чланови комисије а кандидат је тему своје докторске дисертације изложио у виду презентације. Кандидат је успешно одговорио на сва питања постављена од стране чланова комисије, захвалио се на сугестијама и конструктивним питањима, усвојио сугестије и показао одлично владање проблематиком која је тема докторске дисертације. Узимајући у обзир све наведено комисија је била става да је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену „задовољно“.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на седници одржаној 13.02.2018. године усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације кандидата Милана Вујовића.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је Одлуком бр. 61206-849/2-18 од 26.02.2018. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације Милана Вујовића, под насловом „Радијациона стабилност полимерних, геополимерних и композитних материјала за примене у управљању радиоактивним отпадом“.

Кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену 05.05.2022. године. Комисија за студије трећег степена је на седници одржаној 10.05.2022. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је одлуком бр. 5026/11-3 од 30.05.2022. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Милош Вујисић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
2. др Јован Цветић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
3. др Ивица Вујчић, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке "Винча", Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада широј научној области Електротехника и рачунарство и ужој научној области Нуклеарна техника за коју је матичан Електротехнички факултет.

Ментор докторске дисертације је др Милош Вујисић, ванредни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, који је наставник на већем броју предмета у оквиру основних, мастер и докторских академских студија, а такође и аутор више научних и стручних радова везаних за ужу научну област којој припада дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милан Вујовић рођен је 19. маја 1986. године у Шапцу. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписује 2005. године. Основне студије на смеру за Физичку електронику, модул за биомедицински и еколошки инжењеринг завршава 2010. године и исте године уписује мастер студије. Мастер студије на модулу за биомедицинско и еколошко инжењерство завршава 2011. године. Докторске студије на модулу за нуклеарну, медицинску и еколошку технику, уписује у школској 2011/12. години.

Од марта 2011. године Милан Вујовић је запослен на месту специјалисте у Одсеку за нуклеарну сигурност и управљање радиоактивним отпадом у Агенцији за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије. Од маја 2016. године налази се на месту руководиоца Групе за нуклеарну сигурност и управљање радиоактивним отпадом, на ком остаје до децембра 2018. године када Агенција прераста у Директорат за радијациону и нуклеарну сигурност и безбедност Србије, у ком наставља рад на истом месту. Од марта 2019. године Милан Вујовић ради на месту начелника Одељења за контролу радијационих делатности и нуклеарних активности у Директорату за радијациону и нуклеарну сигурност и безбедност Србије.

Током свог професионалног ангажовања, прво у Агенцији за заштиту од јонизујућих зрачења и нуклеарну сигурност Србије, а потом у Директорату за радијациону и нуклеарну сигурност и безбедност Србије, Милан Вујовић био је ангажован на већем броју послова у које, између осталог, спадају учествовање у изради Закона о радијационој и нуклеарној сигурности и безбедности, подзаконских аката, уредби Владе и стратегија, рад на потврђивању неколико међународних уговора и конвенција у области јонизујућег зрачења, анализа радијационе сигурности и мера заштите од јонизујућег зрачења за најкомплекснија радијациона и нуклеарна постројења у нашој земљи, анализа и праћење стања у радијационим и нуклеарним постројењима у другим земљама која у редовним или акциденталним ситуацијама могу имати негативне последице по нашу земљу, као и успешно организовање неколико високостручних међународних конференција.

Своје стручне компетенције у области управљања радиоактивним отпадом Милан Вујовић преточио је, заједно са проф. др Оливером Цирај-Бјелац, у уџбеник „Управљање радиоактивним отпадом“, одобрен од стране Електротехничког факултета Универзитета у

Београду, који представља први уџбеник у нашој земљи посвећен питањима управљања радиоактивним отпадом.

Поред професионалног ангажовања у Директорату, Милан Вујовић је учествовао у више десетина стручних радионица и техничких састанака Међународне агенције за атомску енергију, а од 2017. године више пута био је ангажован у експертским мисијама и на консултантским састанцима Међународне агенције за атомску енергију. Током ових ангажовања, учествовао је у изради неколико стручних докумената, био експерт за теме управљања радиоактивним отпадом на техничким састанцима и радионицама, саветовао представнике других држава у овој области и припремио модел анализе сигурности за модуларно постројење за пријем и складиштење радиоактивног отпада и ислужених радиоактивних извора.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Радијациона стабилност полимерних, геополимерних и композитних материјала за примене у управљању радиоактивним отпадом” написана је на српском језику ћириличним писмом. Сажетак је написан на српском и енглеском језику.

Дисертација је написана на 167 страна куцаног текста и садржи 53 слике, 25 табела и листу од 192 библиографске референце.

Текст дисертације је организован у оквиру следећих шест поглавља:

- 1) Увод
- 2) Интеракција јонизујућег зрачења са материјалом
- 3) Утицај јонизујућег зрачења на полимерне, геополимерне и композитне материјале
- 4) Управљање радиоактивним отпадом
- 5) Резултати и дискусија
- 6) Закључак

Дисертација пре Увода садржи и стране нумерисане римским бројевима које одговарају деловима као што су:

- страна са подацима о ментору и члановима комисије,
- захвалница на српском језику,
- стране са подацима о докторској дисертацији на српском и енглеском језику и
- садржај.

Дисертација садржи и насловне стране на српском и енглеском језику које нису нумерисане.

Поред ових делова, на крају дисертације се налазе и додатне стране које нису нумерисане, а обухватају неопходне изјаве и то: Изјаву о ауторству, Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво, уводно, поглавље дисертације даје увид у област дисертације са различитих аспеката и прецизније дефинише идеје и концепте, циљеве и значај истраживања, као и организацију докторске дисертације. У овом поглављу дефинисан је појам радиоактивног отпада, описани

су процеси настанка овог отпада, наведени начини и наглашен значај сигурног управљања радиоактивним отпадом. Такође, поред прегледа стандардне праксе у овој области у свету, описани су и изазови и проблеми са којим се сусреће при избору контејнера за складиштење и одлагање радиоактивног отпада. У овом поглављу описан је и начин на који се приступило истраживању и дат преглед дисертације по поглављима.

Друго поглавље даје детаљан преглед интеракција јонизујућег зрачења са материјалом. У овом поглављу описане су интеракције различитих типова јонизујућег зрачења, са акцентом на оним које могу довести до значајних ефеката у изложеним материјалима.

Треће поглавље бави се утицајем јонизујућег зрачења на полимерне, геополимерне и композитне материјале. У овом поглављу дат је преглед све три разматране класе материјала, њихови типови, поделе и карактеристике. Посебно је дат преглед радијационих ефеката до којих може доћи при излагању полимерних, геополимерних и композитних материјала јонизујућем зрачењу. Описани су механизми путем којих код наведених класа материјала долази до промена физичких или хемијских својстава приликом излагања јонизујућем зрачењу.

Четврто поглавље садржи преглед управљања радиоактивним отпадом. У овом поглављу описани су класификација радиоактивног отпада и фазе управљања радиоактивним отпадом, што обухвата предтретман, третман, кондиционирање, складиштење и одлагање радиоактивног отпада. Посебна пажња посвећена је фазама складиштења и одлагања, у којим контејнери за радиоактивни отпад и материјали њихове испуне имају изразит значај за сигурност управљања овим отпадом. Детаљно је описана фаза складиштења радиоактивног отпада, са освртом на елементе складишта, контејнере за складиштење радиоактивног отпада, постројења за складиштење радиоактивног отпада, сигурност складиштења радиоактивног отпада и складиштење исслуженог нуклеарног горива. У делу поглавља посвећеном одлагању радиоактивног отпада описан је систем вишеструких баријера (који укључује инжењерске и природне баријере) и дати су прегледи типова одлагалишта, метода за одлагање радиоактивног отпада, као и начина оцене перформанси одлагалишта. Засебан део поглавља посвећен је захтевима које треба да испуне контејнери за складиштење и одлагање радиоактивног отпада. Ови захтеви односе се на облик радиоактивног отпада, облик и димензије контејнера, начине манипулације, пуњења, затварања и слагања контејнера, отпорност контејнера на ударце, површинску контаминацију контејнера радиоактивним материјама, као и на материјале од којих су израђени делови контејнера.

Пето поглавље даје опис и резултате симулација спроведених за потребе истраживања у оквиру рада на дисертацији, са анализом и дискусијом. Наведени су полимерни, геополимерни и композитни материјали који су анализирани као погодни кандидати за примене у управљању радиоактивним отпадом. Такође су описани прорачуни и методе коришћени за анализу утицаја јонизујућег зрачења на испитиване материјале, који се односе на одређивање натпритиска у контејнеру за радиоактивни отпад (услед радиолитичког генерисања гаса) и промена средњих молекулских маса полимерних материјала. Поглавље садржи детаљан опис симулација за три случаја: одлагање радиоактивних извора у бушотине; складиштење и одлагање радиоактивног отпада у бурадима запремине 55 галона; и одлагање високо активног радиоактивног отпада. Описи симулација обухватају моделе физичких процеса, геометријске моделе и изворе зрачења.

У шестом поглављу сумирани су кључни резултати и изнети закључци до којих се дошло истраживањем.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Примена радиоактивних материјала у индустрији, медицини, научно-истраживачком раду, као и производња електричне енергије у нуклеарним електранама, поред користи за човечанство, имају за последицу стварање радиоактивног отпада. Као и сви други радиоактивни материјали, радиоактивни отпад емитује јонизујуће зрачење, које потенцијално представља опасност по здравље људи и животну средину. Радиоактивни отпад је радиоактивни материјал за који се не планира даља употреба. Сваки радиоактивни материјал, независно од првобитне примене, може да постане радиоактивни отпад, ако му пре тога радиоактивним распадом активност не опадне испод нивоа при којим се може ослободити у животну средину. Изградња нуклеарних електрана и све распрострањенија примена радиоактивних материјала у различитим делатностима, као и истовремено напуштање неких метода са радиоактивним изворима и декомисија нуклеарних постројења, резултују повећањем генерисања радиоактивног отпада.

Сигурност мора бити обезбеђена током свих фаза управљања радиоактивним отпадом, са посебним акцентом на сигурност током складиштења и одлагања, када се велика количина радиоактивног отпада налази сконцентрисана на једном месту током дугог временског периода. Ово захтева да структуре, системи и компоненте које обезбеђују да радиоактивни материјали не доспеју у животну средину, као и материјали до којих су оне начињене, могу да одговоре сигурносним захтевима током дугог периода. Од посебне важности у управљању радиоактивним отпадом, а посебно при транспорту, складиштењу и одлагању, су контејнери у којим се отпад налази и њихови саставни делови, као што је испуна која обезбеђује додатну заштиту и имобилизује радиоактивни отпад у циљу спречавања његовог ширења у радну и животну средину. Избор конструкционих својстава и материјала контејнера и њихових елемената треба да је такав да обезбеђује дугорочни интегритет ускладиштеног или одложеног радиоактивног отпада. Савременост теме дисертације показује чињеница да у време када се у свету још увек спроводе припреме за одлагање високо активног радиоактивног отпада у дубока геолошка одлагалишта и ислужених радиоактивних извора у бушотине, и док се помно прати стање одложеног ниско и средње активног радиоактивног отпада, дисертација пружа анализу алтернативних материјала који би могли да нађу примене у овој области. Предложени материјали анализирани су са становишта генералне применљивости, али и у светлу дугорочне сигурности ускладиштеног или одложеног радиоактивног отпада.

Тема којом се дисертација бави је изразито актуелна и заснива се увођењу алтернативних материјала као испуне у контејнерима за складиштење и одлагање радиоактивног отпада. Оригиналност доприноса кандидата је потврђена објављивањем два рада у врхунским и истакнутим међународним часописима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације, кандидат је обавио опсежну претрагу релевантне литературе и на коректан начин цитирао 192 библиографске референце. Цитирана литература обухвата различите типове публикација које су претежно везане за тематске области нуклеарних технологија, радијационе стабилности материјала, управљање радиоактивним отпадом, полимерне, геополимерне и композитне материјале и радијациону и нуклеарну сигурност. Списак литературе обухвата и два рада у часописима категорије M21 и M22 на којим је кандидат први аутор и који су проистекли из научно-истраживачког рада на дисертацији, као

и уџбеник „Управљање радиоактивним отпадом“ на ком је кандидат такође коаутор, а који је одобрен од стране Електротехничког факултета као наставна литература. Бројност и квалитет библиографских референци наведених на крају дисертације указују на темељно проучавање различитих аспеката теме дисертације и њеног општег контекста, за шта је неопходно разумевање великог броја различитих фундаменталних концепата и висока упућеност у разноврсна истраживања спроведена у оквиру научне области којој припада тема дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања спроведеног у оквиру предложене докторске дисертације је обухватала следеће фазе:

- преглед полимерних, геополимерних и композитних материјала разматраних или предложених за коришћење у пољима јонизујућег зрачења или у управљању радиоактивним отпадом,
- анализа потреба, начина и техника за управљање различитим типовима радиоактивног отпада,
- анализа својстава контејнера за складиштење и одлагање радиоактивног отпада,
- преглед литературе и анализа ефеката до којих долази услед излагања материјала јонизујућем зрачењу, са акцентом на радијационим ефектима код полимерних, геополимерних и композитних материјала, а посебно код испитиваних материјала из ове три класе,
- дефинисање методологије квантификовања ефеката до којих долази услед излагања полимерних, геополимерних и композитних материјала јонизујућем зрачењу,
- формирање симулационих модела дефинисањем геометрије, извора зрачења и параметара који се прате као резултати симулације,
- анализа резултата истраживања, њиховог значаја у ширем контексту области истраживања, као и у контексту управљања радиоактивним отпадом,
- анализа и обрада резултата симулација, са акцентом на утврђивању обима ефеката излагања испитиваних материјала јонизујућем зрачењу,
- анализа утицаја добијених резултата на дугорочну стабилност посматраних материјала у контексту сигурности ускладиштеног или одложеног радиоактивног отпада,
- припрема и објављивање кључних резултата истраживања у научним часописима,
- приказивање резултата истраживања у форми докторске дисертације.

Симулациони модели за потребе овог истраживања засновани су на Монте Карло техникама. Валидност Монте Карло техника доказана је у мноштву студија у којим је апсорбована доза прорачунавана у различитим материјалима и геометријама, укључујући зидове и испуне различитих типова контејнера.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада у области анализе радијационе стабилности материјала, а посебно радијационе стабилности у дугим временским оквирима, и усклађена је са циљевима истраживања дефинисаним на почетку израде докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Полимерни, геополимерни и композитни материјали анализирани у овој дисертацији показују велики потенцијал да замене материјале који се тренутно примењују у управљању

радиоактивним отпадом. Како би предложена решења применила у пракси, неопходно је испитивање у оквиру ког би се израдили реални узорци материјала (у геометрији и конфигурацији извора зрачења описаној у овој дисертацији) и пратило њихово понашање у складишту радиоактивног отпада у различитим временским оквирима. Применом решења потврђених и изложених у дисертацији постигло би се сигурно управљање радиоактивним отпадом, које би у појединим аспектима имало предности у односу на постојећа решења, првенствено у погледу лакше манипулације и могућности накнадне дораде. Генерални закључак студије спроведене у дисертацији је да се испитивани полимерни, геополимерни и композитни материјали могу користити као испуна контејнера за складиштење и одлагање ислужених радиоактивних извора, ниско, средње и високо активног радиоактивног отпада. У светлу овог закључка реално је очекивати да ће ови материјали наћи примену у будућим реализацијама решења за складиштење и одлагање радиоактивног отпада и ислужених радиоактивних извора.

У дисертацији је развијен оригиналан геометријски модел који верно преноси облик, димензије, конфигурацију и међусобне односе елемената у три размотрена практична случаја. Прилагођавањем наведеног модела другим случајевима било би могуће спровести анализу радијационе стабилности не само различитих материјала, већ и различитих геометрија и конфигурација радиоактивних извора и контејнера. У том погледу, резултати дисертације представљају поуздану и корисну методолошку основу за даља истраживања у овој области.

Рециклирањем и поновном употребом постојећих полимерних материјала и пластичног отпада, као и електрофилтерског пепела који представља изазов за савремену екологију, могу се добити сировине за израду решења установљених у дисертацији. На тај начин успоставили би се механизми за испуњење циљева одрживог развоја и остварили циљеви циркуларне економије.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације показао аналитичан и систематичан приступ разматрању актуелног стања, постојећих технологија и потреба у области управљања радиоактивним отпадом, као и тренутних трендова у области полимерних, геополимерних и композитних материјала, са посебним освртом на њихову применљивост у условима изложености јонизујућем зрачењу.

Уз дискусију са ментором, кандидат је формирао и развио симулационе моделе високе верности, извршио одабир материјала и дефинисао параметре који се прате како би се поуздано проценила радијациона стабилност испитиваних полимерних, геополимерних и композитних материјала.

Кандидат је испољио изражену способност за сагледавање истраживачких проблема у мултидисциплинарном контексту, као и креативност у решавању проблема на које је наилазио. Област истраживања којом се бави дисертација је мултидисциплинарна и захтева широка знања која обухватају области електротехнике, нуклеарних технологија, науке о материјалима, управљања радиоактивним отпадом и радијационе стабилности материјала и компоненти. Кандидат је показао да добро влада фундаменталним принципима из ових области и њиховим комбиновањем у сврху решавања модерних инжењерских проблема.

Кандидат је коаутор два рада у часописима са SCI листе и једног уџбеника. На два наведена рада, која представљају основ истраживачког дела докторске дисертације, кандидат је први

аутор. Тиме је показао способност за дисеминацију и презентовање резултата истраживања, али и за преношење знања и искустава, што је од посебног значаја за академску заједницу.

4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- Развијен је робустан симулациони модел, који верно преноси облик, димензије, конфигурацију и међусобне односе елемената за различите случајеве управљања радиоактивном отпадом и који ће служити као поуздана методолошка основа за даља истраживања.
- Резултати добијени анализом коришћења испитиваних материјала у одлагању затворених радиоактивних извора у бушотине показују да су, са аспекта могућих неповољних ефеката излагања јонизујућем зрачењу, испитивани геополимерни, полимерни и композитни материјали погодни за употребу као унутрашње испуне у контејнерима за одлагање у бушотине.
- Анализа заснована на симулацијама спроведеним у дисертацији показује да радијациони ефекти у разматраним материјалима не доводе до значајнијег повећања притиска гаса у контејнерима, као и да ови материјали не доживљавају промене молекулске масе које би компромитовале њихове механичке или заштитне особине, чак ни након дуготрајне изложености зрачењу.
- Резултати добијени анализом коришћења испитиваних материјала у складиштењу и одлагању ниско и средње активног отпада, као и у одлагању високо активног радиоактивног отпада, показују да су са аспекта могућих неповољних радијационих ефеката, испитивани полимери, геополимери и композити на бази полимера погодни кандидати за израду испуна у контејнерима намењеним овим применама.
- Испитивање натпритиска гаса унутар контејнера показује да испуне од испитиваних материјала не производе значајније повећање притиска током дугих временских интервала. Додатно је показано да су промене молекулске масе изазване излагањем зрачењу у испитиваним полимерима и композитима занемарљиве под претпостављеним условима излагања, што сугерише да ће ови материјали да задрже своја механичка својства чак и након дуготрајног излагања зрачењу ниско, средње и високо активног радиоактивног отпада који је разматран у дисертацији.
- У случају складиштења и одлагања ниско и средње активног радиоактивног отпада, релативне промене молекулске масе полимера и композита на бази полимера занемарљиве су и за граничне активности, при којим се јавља максимални допустиви натпритисак гаса унутар контејнера за ниско и средње активни радиоактивни отпад. Извори чије активности достижу граничне вредности прорачунате у дисертацији могу се, дакле, смештати у ове контејнере без штетног утицаја на молекулске масе материјала испуне.
- Резултати до којих се дошло у дисертацији могу се користити за успостављање критеријума за пријем отпада, као и при установљавању оперативних услова и ограничења за ислужене радиоактивне изворе, радиоактивни отпад и постројења за њихово складиштење и одлагање. Граничне активности које су у дисертацији израчунате за различите материјале испуне и услове рада могу се усвојити као лимити активности за паковања радиоактивног отпада, чиме би се обезбедило да не буде негативног утицаја ускладиштеног отпада на полимерне, геополимерне и композитне испуне.

- Контејнери за складиштење или одлагање радиоактивног отпада са испунама израђеним од испитиваних полимерних или композитних материјала имали би мању масу од стандардних контејнера са испунама од цемента. Манипулација таквим контејнерима била би једноставнија и поузданија: смањила би се могућност случајног испуштања и оштећења контејнера, чиме би се повећала сигурност управљања радиоактивним отпадом. Поред тога, производња префабрикованих испуна за контејнере била би лакша ако би се уместо бетона користили полимерни или на њима засновани композитни материјали.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу увида у полазне претпоставке, постављене циљеве истраживања и остварене резултате кандидата, констатујемо да је кандидат са успехом одговорио на релевантне истраживачке проблеме у оквиру теме дисертације.

Предложена решења испуна контејнера за складиштење и одлагање ислужених радиоактивних извора, ниско, средње и високо активног радиоактивног отпада представљају иновативни, оригиналан и значајан научни допринос области нуклеарне технике и управљања радиоактивним отпадом, као и области истраживања радијационе стабилности материјала у применама које подразумевају дуготрајно излагање јонизујућем зрачењу.

Резултати и решења до којих је кандидат дошао и које је предложио у својој дисертацији демонстрирају могућности за увођење нових материјала као испуна контејнера за складиштење и одлагање ислужених радиоактивних извора, ниско, средње и високо активног радиоактивног отпада, али и у другим применама у којим се захтева дуготрајно излагање јонизујућем зрачењу.

Квалитет остварених резултата је верификован публикавањем радова у међународним часописима и препознавањем значаја доприноса од стране научне заједнице.

4.3. Верификација научних доприноса

M21 – Рад у врхунском међународном часопису

1. **M. Vujović**, M. Vujisić, „Applicability of polymer and composite inner linings in containers for borehole disposal of sealed radioactive sources – A simulation-based study of radiation effects“, *Progress in Nuclear Energy*, vol. 137, 2021 (<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103793>).

M22 – Рад у истакнутом међународном часопису

1. **M. Vujović**, M. Vujisić, „Radiation Compatibility of Geopolymer, Polymer and Composite Materials for Use as Inner Shielding in Radioactive Waste Containers – A Simulation-Based Study“, *Nuclear Technology*, 2022 (pending publication, <https://doi.org/10.1080/00295450.2022.2070354>).

Уџбеник

1. Оливера Цирај-Бјелац и **Милан Вујовић**, *Управљање радиоактивним отпадом*, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет и Академска Мисао, 2017, ISBN: 978-86-7466-679-1

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Милана Вујовића представља савремен и оригиналан допринос области управљања радиоактивним отпадом, са фокусом на радијационој стабилности предложених полимерних, геополимерних и композитних материјала који могу да нађу примену у овом управљању. Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све неопходне елементе које захтева Правилник о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Текст дисертације је написан на српском језику и адекватно је организован у одговарајућа поглавља. Садржај дисертације је изложен на јасан и разумљив начин. Тема дисертације је савремена и актуелна, а њен главни научни допринос је анализа радијационе стабилности алтернативних материјала за израду испуна контејнера за складиштење и одлагање исслужених радиоактивних извора, ниско, средње и високо активног радиоактивног отпада.

Резултати истраживања спроведеног за потребе дисертације доказују погодност и потенцијал за широку примену испитиваних материјала, како у управљању радиоактивним отпадом, тако и у другим областима нуклеарне технике и енергетике. Спроведено истраживање је високог квалитета, што је потврђено и публикацијама у врхунским и истакнутим међународним часописима са анонимном рецензијом. Кандидат је показао научну и инжењерску зрелост, креативност, као и способност за самосталан научно-истраживачки рад у захтевној мултидисциплинарној области.

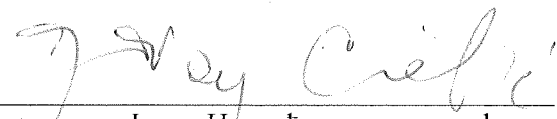
Комисија констатује да је кандидат Милан Вујовић испунио све неопходне услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

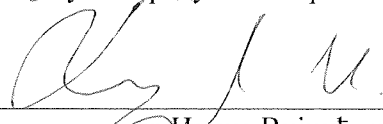
На основу наведеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Радијациона стабилност полимерних, геополимерних и композитних материјала за примене у управљању радиоактивним отпадом” кандидата Милана Вујовића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 01.06.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Милош Вујисић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет


др Јован Цветић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет


др Ивица Вујчић, научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду