

ПРИРОДНО МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ |
|---|
| <p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p>21.03.2019. Наставно-научно веће Природно математичког факултета у Новом Саду</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проф. др Душан Мрђа, редовни професор, Нуклеарна физика, 22.12.2016, Природно-математички факултет у Новом Саду - др Софија Форкапић, научни сарадник, Нуклеарна физика, 17.12.2014, Природно-математички факултет у Новом Саду - др Кристина Бикит-Шредер, научни сарадник, Нуклеарна физика, 30.03.2016, Природно-математички факултет у Новом Саду - проф. др Селена Самарцић, ванредни професор, 25.07.2018, Теоријска и примењена физика, Факултет техничких наука у Новом Саду - др Игор Челиковић, научни сарадник, 26.03.2015, Нуклеарна физика, Институт за нуклеарне науке ‘Винча’ |
| II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ |
| <p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p>Роберт, Золтан, Лакатош</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p>09.09.1988. Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p>Природно–математички факултет, Нови Сад, мастер медицинске физике, мастер физичар, модул: медицинска физика</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p>2013 докторске академске студије –физика</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> |
| <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p> |

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Примена и развој метода за одређивање радона и торона у земљишту и ваздуху ради процене радонског потенцијала

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација написана је на укупно 133 стране и подељена је у 8 поглавља:

1. Увод

2. Природа радиоактивности: Подела зрачења, Радиоактивност. Активност, Типови распада, Радиоактивна равнотежа, Радиоактивни низови, Дозиметријске величине и јединице

3. Понашање гасовитих радиоактивних елемената - радона (^{220}Rn) и торона (^{222}Rn): Физичке и хемијске особине радона и торона, Покретљивост радона и торона, Извори радона и торона, Миграција – дифузија и адвекција, Еманација и ексхалација, Потомци радона и торона, Здравствени ефекат, Спољашње озрачивање, Унутрашње озрачивање

4. Радонски потенцијал и проблем радона и торона: Карактеризација загађености атмосфере радоновим и тороновим потомцима, Преглед закона (ЕУ и Србија), Радон у затвореним просторијама као радонски потенцијал, Геогени радонски потенцијал, Квантификација геогеног радонског потенцијала, Следећи кораци у дефинисању радонског потенцијала

5. Унапређење и оптимизација гама спектрометријске методе за директно одређивање равнотежне еквивалентне концентрације торона и торонске равнотеже: Увод, Мерни уређаји, RAD7 активни уређај – експериментална поставка за мерење концентрације радона и торона у ваздуху, Корекција на распад концентрације активности торона, SARAD RTM 1688-2 активни монитор радона и торона, SARAD RPM 2200 активни монитор потомака радона и торона, Пумпа великог протока са филтер папиром, Гама-спектрометријски систем Б, Мерне технике и експериментална поставка, Математички модел одређивања торонових потомака – GAMMA метод, Осигурање квалитета (QA/QC) и поређење са другим експерименталним методама за мерење торона и ЕЕТС, Резултати и дискусија

6. Симултана испитивања радона, торона и равнотежних еквивалентних концентрација њихових потомака у породичној кући – студија једног случаја: Увод, Мерни уређаји, Активни уређај AlphaGuard PQ2000 PRO, Методологија мерења, Резултати мерења и дискусија

7. Процена радонског потенцијала и статистичка обрада параметара који потенцијално утичу на концентрацију радона: Увод, Мерне технике, Угљени канистер, Траг детектор CR-39, RAD7 активни уређај – експериментална поставка за мерење концентрације радона и торона у земљишту, Интеркомпарација активног монитора RAD7 у експерименталној поставци за мерење радона у земљи, Малверн Мастерсизер 2000 – уређај за гранулометријски састав земљишта, Гама-спектрометријска анализа садржаја радионуклида у земљишту и припрема узорака, Радонски потенцијал – методологија, Резултати и дискусија

8. Закључак

Након закључка редом су литература, биографија и прилози.

У дисертацији се налазе 42 слике, 16 табела, 79 референци и 4 прилога.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертације подељена је у више поглавља али се могу уочити два целине. Прва четири поглавља дају теоријске основе из дате теме и она чине прву целину. Друга целина су наредна три поглавља која су фокусирана на истраживачки рад и дају приказ и анализу добијених резултата.

Прво поглавље, (Увод) чине предмет и проблем истраживања, потребе за истраживањем као и преглед коришћених метода рада.

У **другом** поглављу дат је преглед природне радиоактивности и упознавање са основним дозиметријским величинама. **Треће** поглавље се односи на понашање природних гасовитих радионуклида радона и торона, као и њихових краткоживећих потомака у ваздуху затворених просторија. Проучавање процеса еманације и ексхалације радона и торона из земљишта и грађевинских материјала и осталих фактора који утичу на ове процесе (површинска и запреминска дистрибуција величине честица, садржај радионуклида у узорку) је битно за сагледавање свих аспеката за процену дозе од удисања радона, торона и њихових потомака. У наредном **четвртном** поглављу описан је радонски потенцијал са прегледом најновијих резултата у овој области у

Србији и Европи, уз давање будућих смерница за дефинисање радонског потенцијала.

Пето поглавље: Унапређење и оптимизација гама спектрометријске методе за директно одређивање равнотежне еквивалентне концентрације торона и торонске равнотеже. Студије фокусиране на торон најчешће доказују да присуство торона у затвореним просторијама (индоор тхорон) највише потиче од грађевинских материјала, као и да концентрација торона експоненцијално опада са растојањем од зида или пода, односно од торонског извора. Насупрот томе, услед дужег периода полураспада торонских потомака, ^{212}Pb и ^{212}Bi , очекује се да је њихова просторна дистрибуција хомогена и да доза предата бронхијама потиче управо од њиховог присуства у затвореној атмосфери. С тим у вези, директно мерење концентрације торонских потомака или директно мерење торона као и одређивање торонског фактора равнотеже F_{Tn} постаје неопходно за процену дозе. У овом поглављу оптимизована је и потврђена поуздана и јефтина метода за директно мерење концентрације торонских потомака заснована на филтрацији ваздуха праћена гама спектрометријским мерењима.

Шесто поглавље: Симултана испитивања радона, торона и равнотежних еквивалентних концентрација њихових потомака у породичној кући – студија једног случаја. Симултана испитивања радона, торона и равнотежних еквивалентних концентрација њихових потомака коришћењем три различита активна радонска монитора су спроведена и упоређена у реалним амбијенталним условима у временском периоду од две недеље. Интеркомпарација активних уређаја за мерење радона и торона је била фокусирана на конзистентност међусобно добијених резултата, као и на утицај спољашњих услова на понашање сваког детекторског система. Добијена статистички значајна корелација између резултата коришћених активних монитора потврђује, њихову примену за детекцију радона у току ремедијације објеката са повишеном концентрацијом радона и у прорачуну примљене дозе.

Седмо поглавље: Процена радонског потенцијала и статистичка обрада параметара који потенцијално утичу на концентрацију радона. Спроведена су свеобухватна испитивања земљишта и ваздуха, различитим техникама и мерним уређајима на 16 локација у урбаним и сеоским срединама на територији Србије. Поред детаљног испитивања концентрације радона, торона и њихових потомака у ваздуху затворених просторија, вршена су и мерења концентрације радионуклида у земљишту гама-спектрометријском методом, испитан је гранулометријски састав земљишта и мерена еманијација радона и торона у земљишту активним монитором. За евалуацију података коришћена је СПСС статистичка обрада података, а све у циљу идентификације предиктора који утичу на концентрацију радона у земљишту и ваздуху затворених просторија. Процењена је вредност геогеног радонског потенцијала датих локација. Основна предност примењеног концепта је независност радонског ризика од антропогеног утицаја и константност у геолошким временским скалама.

У **осмом** поглављу су приказана закључна разматрања и могућности примене резултата у даљим истраживањима.

У наредном поглављу дат је попис литературе коришћене приликом израде дисертације.

На основу свега изложеног, Комисија је позитивно оценила све делове дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

M21:

Sofija Forkapić, **Robert Lakatoš**, Igor Čeliković, Kristina Bikit-Schroeder, Dusan Mrdja, Vanja Radolić, Selena Samardžić, Proposal and optimization of method for direct determination of the thoron progeny concentrations and thoron equilibrium, Radiation Physics and Chemistry, Volume 159,2019, Pages 57-63,ISSN 0969-806X,https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.02.043.

M33:

Sofija Forkapić, **Robert Lakatoš**, Selena Samardžić, Peter Jovanović, Kristina Bikit-Schroeder, Dušan Mrđa, Radon in soil gas measurements by RAD7 active device and its possible correlation with soil grain size and composition, Proceedings of 14th International Workshop on th Geological Aspects of Radon Risk Mapping, pp. 49 - 54, isbn: 978-80-01-06493-1, Prague, Czech Republic, 17. - 21. Sep, 2018

M34:

Sofija Forkapić, **Robert Lakatoš**, Kristina Bikit-Šreder, Igor Čeliković, Predrag Repić, Dušan Mrđa, THE COMPREHENSIVE RADON SURVEY IN SINGLE-FAMILY HOUSES IN VOJVODINA REGION, BOOK OF ABSTRACTS SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RADIATION AND APPLICATIONS IN VARIOUS FIELDS OF RESEARCH, pp. 213 - 213, isbn: 978-86-80300-03-0, Ohrid, Macedonia, 18. - 22. Jun, 2018

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Развијена је нова GAMA метода која је оптимизована и валидована кроз компарацију са резултатима активног монитора за одређивање EETC у континуалном режиму рада. Због могућих промена концентрације торонових потомака у атмосфери затворених просторија током усисавања помоћу пумпе великог протока, предложено је краће време узорковања потомака на филтер папиру како би се добили валидни реалистични резултати. Поред оптималног времена усисавања од 1 h, верификовани су и следећи временски интервали: 3 h за време хлађења пре започињања гама-спектрометријске анализе садржаја торонових потомака на филтер папиру и 1000 s за аквизицију догађаја гама-спектрометарским системом.

Главна сврха спроведене свеобухватне студије радона и торона на 15 различитих локација, са различитим амбијенталним условима, била је проверити поузданост и применљивост предложеног GAMA метода. Резултати истраживања су показали да повишене вредности торона у затвореним просторијама, као и његових потомака, нису реткост у породичним кућама, нарочито на оним местима где је претходно детектована повишена концентрација радона. Високе вредности торонових потомака детектоване су и у кућама са умереном концентрацијом радона што говори у прилог чињеници да постоје различити извори радона и торона у испитиваним кућама. Процењене вредности за дозу од инхалације торона на неким локацијама упоредиве су са дозом која потиче од инхалације радона и на тај начин потврђује се торонски проблем у заштити од природних јонизујућих зрачења, што би требало узети у обзир у даљим програмима мерења. Добро слагање добијених резултата интеркомпарације RAD7 активних радонских и торонских монитора доказује претпоставку да су ови уређаји погодни за мерење концентрације торона у ваздуху затворених просторија, јер дају поновљиве и стабилне резултате. Велика зависност детекције концентрације торона од позиције инструмента током мерења потврђује коришћење само EETC као јединог податка за прецизну процену дозе од инхалације торона, нарочито у торону склониим кућама.

Дуготрајна мерења радона и торона пасивним техникама прихватљива су приликом опште процене радијационог ризика, међутим, уколико је потребно добити ширу слику понашања радона и торона у неким затвореним просторијама, неопходно је користити и активне детекторске системе (мониторе) током дужег периода. У циљу провере претходне тврдње, спроведена су упоредна континуална мерења концентрације радона, торона и њихових равнотежних еквивалентних концентрација (EERC и EETC) са три најчешће коришћена активна радонска детектора током периода од две недеље. Приказани резултати ове студије у поглављу 6. потврдили су да се коришћењем активних монитора могу дуготрајно пратити дневне или недељне варијације концентрације радона и торона, као и да се могу одредити фактори равнотеже радона и торона на основу понашања њихових потомака. Супротно пасивним детекторским системима, коришћењем активних монитора могуће је лако пронаћи потенцијалне изворе торона у испитиваној просторији, мењањем позиције монитора у просторији током мерења. Када се такво место детектује, посебна пажња мора бити усмерена на растојање усисног улаза монитора од потенцијалног извора (под, зид или сл.) које не би требало бити веће од 10 cm због могућности прецизне детекције торона. Статистички значајно слагање резултата мерења свих коришћених активних монитора представља још једну потврду њихове применљивости и подобности за одређивање фактора равнотеже за радон и торон. На основу изложеног, мерења радона и торона активним уређајима морају бити укључена у процес ремедијације објеката са повишеном концентрацијом радона на почетку, али и након ремедијације као потврда да је ремедијација успешно извршена.

Последњи резултат ове дисертације је евалуација методе за процену геоеног радонског потенцијала који се користи у идентификацији радоном склониим области. У недостатку података, као што су директна мерења пермеабилности земљишта у нашој земљи, прибегло се процени геоеног радонског потенцијала на основу свеобухватних испитивања параметара који

потенцијално могу да утичу на радонски потенцијал, као што су садржај радионуклида у земљишту, еманација радона и торона, гранулометријски састав земљишта и удео fine фракције у укупној расподели величине честица. Статистичком анализом свих измерених параметара добијен је модел који издваја концентрације радијума и уранијума у земљишту, концентрацију радона у земљишту и садржај глине као предикторе који са 60 % предвиђају средњу годишњу концентрацију радона у затвореним просторијама. Уколико се као предиктор уврсте и мерења радона активним монитором RAD7, добијамо статистички значајан модел за предикцију средње годишње концентрације радона. Мерењем ексхалације торона из узорак земљишта нисмо потврдили премису да је земљиште главни извор торона у објекту, али смо добили интересантан резултат да концентрације активности ^{232}Th и ^{226}Ra у земљишту статистички значајно предвиђају концентрацију радона у земљишту. Процењен геогени радонски потенцијал датих локација показује претходно изложене тврдње да концентрација радона у затвореним просторијама није уско повезана са проценом ГПП и да антропогени утицаји и параметри окружења такође значајно доприносе концентрацији радона у затвореним просторијама.

Комисија је позитивно оценила резултате и закључке истраживања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидат Роберт Лакатош је резултате докторске дисертације представио на прегледан и систематичан начин. Резултати су приказани у виду текста и слика, табеларно и графички, а у складу са захтевима прописаним за научно-истраживачки рад. Добијени резултати адекватно су образложени и продискутовани. Изведени су закључци који одговарају постављеним циљевима.

Напомена: Докторска дисертација је у библиотеци Природно-математичког факултета прошла проверу плагијаторства применом софтвера iThenticate („Similarity Index“) и износи 8% (према упутству све вредности испод 15% представљају оригинални начуни рад)

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Лакатош Роберта написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Комисија сматра да дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

У дисертацији је развијена метода директног одређивања концентрације торонових потомака у ваздуху која се заснива на гама-спектрометријским мерењима филтер папира уз детаљну анализу и оптимизацију времена усисавања, хлађења и мерења на HPGe детекторским системима. Метода је валидована кроз упоредна мерења са активним мониторима који се комерцијално налазе на тржишту и широко се употребљавају у свету. Овакав начин испитивања торонске равнотеже ће допринети прецизном одређивању дозе коју прими становништво од инхалације торона и потомака, нарочито због познате проблематике могућности мерења торона као краткоживећег радионуклида. Кандидат сматра да ће резултати тезе моћи да се примене за калибрацију пасивних детектора и проверу недавно публикованих студија торона. Такође, избор гама-спектрометријске методе као брзе и прецизне методе распрострањене у свим лабораторијама које се баве испитивањем радиоактивности у животној средини омогућава широку примену развијеног модела без великих модификација и компликованих припрема узорак. У оквиру тезе су по први пут проверена стабилност, поновљивост и адекватност примене активних радонских монитора за испитивање понашања радона, торона и њихових потомака у реалним амбијенталним условима у циљу њиховог коришћења у процесу ремедијације објеката са високим радијационим ризиком од

радона и торона. Поред тога, методама регресионе анализе и испитивањем статистички значајних корелација добијени су предиктори који у највећој мери утичу на концентрацију радона у затвореним просторијама и еманацију радона у земљишту и предложен је реалистичан модел процене геоеног радонског потенцијала за који за наше просторе још увек нема података.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Увидом у докторску дисертацију и детаљним прегледом свих резултата, Комисија **није уочила недостатке** који би утицали на резултате и закључке рада. Комисија оцењује да је дисертација написана у складу са постављеним циљевима, да су одабране адекватне методе, да су резултати јасни, а дискусија у складу са добијеним резултатима.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

На основу укупне оцене дисертације, Комисија предлаже да се докторска дисертација под насловом **“Примена и развој метода за одређивање радона и торона у земљишту и ваздуху ради процене радонског потенцијала”** прихвати, а кандидату Лакатош Роберту одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

проф. др Душан Мрђа, редовни професор, ПМФ
Универзитет у Новом Саду, председник

др Софија Форкапић, научни сарадник, ПМФ
Универзитет у Новом Саду, ментор

др Кристина Бикит-Шредер, научни сарадник, ПМФ
Универзитет у Новом Саду, члан

ванр. проф. др Селена Самарцић, ванредни професор, ФТН
Универзитет у Новом Саду, члан

др Игор Челиковић, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке “Винча”
Универзитет у Београду, члан

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.