

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/95

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

29. 4. 2025.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**Мерење природне радиоактивности грађевинских материјала и испитивање утицаја
радона на здравље људи услед његовог присуства у атмосфери стамбених објеката
(Measuring the natural radioactivity of building materials and examining the impact of radon
on human health due to its presence in the atmosphere of residential buildings)**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Fathya (Musbah) Shabek

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Инжењерство материјала

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2018.

4. Година уписа на докторске студије: 2018.
-

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство материјала

6. Датум подношења пријаве
теме докторске дисертације:

14. 3. 2025.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Fathya (Musbah) Shabek**

Име и презиме ментора: **др Ацо Јанићијевић**

Звање: редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. M21 Kolarz Predrag, M.; Ilic Andjelija, Z. ; Jankovic Marko , **Janicijevic Aco**, J.; Trbovich Alexander ,M .; “Estimating aerosol particle removal in indoor air by ion-enhanced deposition”; “JOURNAL OF AEROSOL SCIENCE”, (2023), vol. 173 br. , str <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2023.106199>; ISSN - 0021-8502; IF(2022) = 4,5; 26/136 (Engineering, Mechanical),
2. M22) Rubinjoni Luka, Z., Stankovic Srbiljub, J., **Janicijević Aco, J.**, “Setting Time of Alkali-Activated Binders Exposed to Co-60 Gamma Radiation” Minerals 2025, 15(1), 25; <https://doi.org/10.3390/min15010025>; IF(2023) = 2,2; ISSN: 2075-163X.
3. M23) D. Arbutina, A. I. Vasić–Milosavljević, T. M. Nedić; **A. J. Janicijević**, Lj. B. Timotijević; „Possibilityb of Achieving an Acceptable Response Rate of Gas – Filled Surge Arresters by Substitution of Alpha Radiation Sources by Selection of Elektrode Material and the Electrode Surface Topography”; NUCLEAR TECHNOLOGY & RADIATION PROTECTION, IF = (1.059); (2020), vol. 35, br. 3, str. 223-234. ISSN: 1451-3994.
4. M22) Sahoo Sarata Kumar; Zunic Zora S , Veerasamy Nimelan , Natarajan Thennaarassan, Zhukovsky Michael, Jovanovic Peter, Veselinovic Nenad, C; **Janicijevic Aco**, J.; Onischenko Aleksandra; Yarmoshenko Ilia; Ramola Rakesh C ; “Distribution of radionuclides and associated radiological risk assessment of soils from Niska Banja, Serbia, “JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY”, (2023), vol. br. , str. - ; <https://doi.org/10.1007/s10967-023-09017-w>; IF (2022) = 1,6;; 22/34 (Nuclear Science & Technology); ISSN: 0236-5731
5. M21 Nedic Teodora, **Janicijevic Aco** J., Stankovic Koviljka Dj., Kartalovic Nenad M., “ A Three-electrode gas arrester for low voltage isolation coordination “,INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS, (2020), vol. 120; IF (2020) = 4,63; ISSN: 0142-0615.

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

за кандидата **Fathya (Musbah) Shabek**

Име и презиме ментора: **др Урош Ковачевић**

Звање: Виши научни сарадник Иновационог центра Машинског факултета у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

- 1.M23) Kartalović, N., Stanković, K., Nikezić, D., **Kovačević, U.** “Dose effect of gamma radiation on reliable voltage pulse measurement in nuclear fusion experiments”, Radiation Effects and Defects in Solids, 2020, <https://doi.org/10.1080/10420150.2020.1812074>; IF(2020) = 1,141; ISSN: 1042-0150.
2. M22) N.M., Kartalović, Nenad M., A., Dalibor, Arbutina, A.R., Jusić, Alija R., U.D., **Kovačević, Uroš D.** Stability of Geiger-Müller counter characteristics under operating conditions; Vacuum, 2025, Vacuum, p. 114150, DOI 10.1016/j.vacuum.2025.114150; IF(2023) = 3,8; ISSN: 0042-207X.
3. M21 **Kovacevic Uros D.**, Stankovic Koviljka D., Kartalovic Nenad M., Loncar Boris B., Design of capacitive voltage divider for measuring ultrafast voltages, International Jurnal of Electrical Power and Energy, vol. 99, pp. 426 - 433, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.01.030, Jul, 2018. IF(2018) = 4,418; ISSN: 0142-0615.
4. M22) A.Jusić, T. Stojić, Đ. Lazarević, **U. Kovačević**, The influence of parameters of gas-insulated system on the duration of electrical breakdown at points near to Paschen minimum, Volume 217, November 2023, 112549, <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112549> IF(2023) = 3,8; ISSN: 0042-207X.
5. M22) Vladimir Poluzanski, **Kovacevic Uros D**, Nebojsa Bacanin, Tarik A Rashid, Sasa Stojanovic, Bosko Nikolic, Application of Machine Learning to Express Measurement Uncertainty, Applied Sciences 12(17):8581, DOI: 10.3390/app12178581, Avg. 2022. IF(2022) = 2,7; ISSN: 2076-3417

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 24. 4. 2025. године размотрило предложену тему и закључило да је

тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

Студенту Fathya Shabek, број индекса 2018/4033, уписана у прву годину докторских академских студија школске 2018/2019. године, продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја шк. 2026/27. године (Решење број 20/237 од 29. 10. 2024. године).

- Прилог 1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/237

29 OCT 2024 год.
БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018”) и члана 76. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

Студенту **Fathya Shabek**, број индекса 2018/4033, уписана у прву годину докторских академских студија школске 2018/2019 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2027 године.

Деканка
M. Kišević
Проф. др Мирјана Кијевчанин



ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24. 4. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Fathya (Musbah) Shabek**, број индекса 2018/4033, под називом: **„Мерење природне радиоактивности грађевинских материјала и испитивање утицаја радона на здравље људи услед његовог присуства у атмосфери стамбених објеката (Measuring the natural radioactivity of building materials and examining the impact of radon on human health due to its presence in the atmosphere of residential buildings)“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Ацо Јанићијевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Урош Ковачевић, виши научни сарадник Иновационог центра Машинског факултета у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Fathya (Musbah) Shabek за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/46 од 20. 03. 2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Fathya M. Shabek, мастер инжењера технологије - мастер инжењера за материјале, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Мерење природне радиоактивности грађевинских материјала и испитивање утицаја радона на здравље људи услед његовог присуства у атмосфери стамбених објеката“ (“Measuring the natural radioactivity of building materials and examining the impact of radon on human health due to its presence in the atmosphere of residential buildings”).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи:

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Fathya (Musbah) Shabek рођена је 15. 04. 1973. године у Злитину, Либија. У својој земљи је завршила основно и средње образовање након чега је уписала и завршила Факултет медицинске технике, Универзитет - Мисурата, Либија 2017. године. На Универзитету у Београду, Fathya M. Shabek је након студирања у Либији, своју диплому верификовала, поступком признања и вредновања страног студијског програма у Републици Србији. На основу такве званичне одлуке Fathya M. Shabek је стекла право да конкурише за упис на мастер академске студије Технолошко-металуршком факултету школске 2017/18. године и да настави своје образовање на студијском програму Инжењерство материјала. Успешно је завршила мастер студије, тако што је све програмом планиране обавезне испите положила са просечном оценом 9,13 и након тога урадила и одбранила и завршни рад са оценом 10 (десет).

Након реализације наведеног нивоа академског усавршавања кандидат Fathya M. Shabek је уписала 2018. године докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету на студијском програму Инжењерство материјала.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Први значајан ниво стручног усавршавања кандидата, након завршених студија на Универзитету Мисурата у Либији, остварен је на мастер академским студијама, захваљујући коме је Fathya M. Shabek стекла статус мастер инжењера технологије. Тај степен образовања јој је омогућио да конкурише и упише докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Инжењерство материјала. У периоду од планиране три године докторских студија докторанд Fathya M. Shabek је положила све,

програмом планиране испите на докторским академским студијама са просечном оценом 9,33 (девет и 33/100) и након тога одбранила завршни испит под називом „*Radioisotopes and their medical benefits (99mTc, 131 I, 177 Lu) chemical production and processing for nuclear medicine research reactor*“ пред комисијом у саставу: проф. др Александар Маринковић, доц. др Невена Прлаиновић и проф. др Ацо Јанићијевић са оценом 10 (десет).

У току спровођења програма докторских академских студија, као и после успешно завршених испита, Fathya M. Shabek се посветила усавршавању свог знања и стручних вештина на тај начин што је имала активну сарадњу са својим менторима, најпре у самом почетку докторских академских студија са проф. др Борисом Лончаром и проф. др Александром Маринковићем, а касније и са доц. др Невеном Прлаиновић и проф. др Ацом Јанићијевићем, што је резултирало и продуковањем одређеног броја научних радова којима се представила на домаћим и међународним конференцијама, као и припремом и објавом научних радова у истакнутим међународним часописима. Списак положених испита и оцена у току докторских студија приказан је у следећој табели:

Табела 1. Положени испити кандидата Fathye M. Shabek на докторским академским студијама су:

Бр.	Положени испити	Оцена	ЕСПБ
1.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	10(десет)	5
2.	Хеометрија	8(осам)	5
3.	Хемијска кинетика	6(шест)	5
4.	Наука о материјалима и инжењерство материјала	8(осам)	6
5.	Термодинамика чврстог стања	10(десет)	5
6.	Мерење јонизујућег и нејонизујућег зрачења	10(десет)	5
7.	Менаџмент људских ресурса	10(десет)	3
8.	Физика материјала	10(десет)	4
9.	Хемија метал-органичких једињења	10(десет)	5
10	Структурна анализа органичких молекула	10(десет)	6
11	Квантификација визуелних информација	10(десет)	5
12	Завршни испит	10(десет)	30
	Средња оцена / укупно бодова	9,33	84

Списак објављених радова који потврђују афинитет и усмерење кандидата за рад на предложеној теми докторске дисертације су:

Рад објављен у истакнутом међународном часопису – M22:

Shabek, F.; Obradović, B.; Čeliković, I.; Đurašević, M.; Samolov, A.; Kolarž, P.; Janićijević, A. “The Radon Exhalation Rate and Dose Assessment of Granite Used as a Building Material in Serbia”. *Atmosphere* 2024, 15, 1495. ISSN: 2073– 4433, IF (2022) 2,9 <https://doi.org/10.3390/atmos15121495>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини – M33:

1. Aleksandra A. Janićijević, **Fathya M. Shabek**, Aco J. Janićijević; “The rate of chemical etching of the polymer detector LR-115 as an important factor for the detection of ionizing radiation”; *International Scientific Conference Contemporary Materials* 2024, September 5-7. To 12. 2025, Banja Luka, Republic of Srpska, str. 21 – 56.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу – M34:

1. Aleksandra A. Janićijević, **Fathya M Shabek**, Aco J. Janićijević: “*Sources of radon- impact on health and role radon in many scientific areas*”; LXVIII Konferencija ETRAN, Niš, 3 - 6. Jun 2024.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на приложеној теми

На основу приказаних резултата у досадашњим активностима на плану научноистраживачког рада, као и захваљујући резултатима које је остварила на докторским студијама, кандидат Fathya M. Shabek мастер инжењер технологије, је постигла значајане резултате и висок степен заинтересованости и самосталности, као и способности за тимски научно истраживачки рад. Успешно је положила све планом и програмом предвиђене испите на докторским студијама, а након тога и завршни испит. Fathya M. Shabek је публиковала, као први аутор један научни рад у истакнутом међународном часопису (M22), једно саопштење на међународном скупу штампано у целини (M33) и једно саопштење на међународном скупу штампано у изводу (M34).

Сходно томе комисија сматра да кандидат Fathya M. Shabek мастер инжењер технологије, испуњава услов за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у предложеној докторској дисертацији је мониторинг и вредновање, као и анализа резултата на основу планираних мерења, по питању утицаја одређених грађевинских материјала, који се уграђују у одређени стамбени објекат, на здравствени ризик приликом пословног-повременог боравка или перманентног становања у неком таквом објекту. Одређени грађевински материјали због присуства радиоактивних елемената постају значајан фактор повећања концентрације радиоактивног елемента радона у затвореним стамбеним просторијама. На тај начин долази до повећања радијационог ризика са потенцијалним канцерогеним ефектима посебно када је у питању канцер плућа као и канцер неких других виталних органа становништва које борава у таквим објектима. Поред тога и све агресивнија примена политике уштеде енергије у зградама могла би довести до повећања радијационог ризика, јер често спроведене грађевинске корекције, као и грађевинске конструкције у новије време, које дају акценат у изградњи објеката на што већу херметичност унутар стамбених простора и мање струјање ваздуха из енергетских разлога, углавном доводе и до смањења у брзини размене ваздуха у становима, што би узрочно последично могло довести до значајнијег повећања концентрације радона у затвореном простору и, самим тим, до повећања изложености становника јонизујућем зрачењу.

Циљ истраживања у овом раду, као доминантна базна поставка дисертације, је да се испита радијациона изложеност и ризик становништва због употреба различитих гранита који се у Србији најчешће користе као грађевински материјал. Радиоактивни материјали се углавном налазе као саставни елементи у траговима у земљишту, стенама, грађевинским материјалима, подземним водама, ваздуху и вегетацији. Радон у затворене просторије највећим делом доспева из тла на којем је објекат саграђен. Када се уран распада, као резултат наредних радиоактивних распада у одговарајућем ланцу распада формира се гасовити радон који улази у затворене (пословне и стамбене) просторије. Радон у затвореним просторијама може потицати од ексхалације из стена и земљишта око зграде или од грађевинских материјала који се користе у зидовима и подовима и заштитним кровним конструкцијама. Радон је алфа емиттер који се лако може удахнути и самим тим и његови краткоживећи потомци могу бити депоновани у ткивима респираторног тракта људског организма. Непрекидна оштећења која

производе алфа честице емитоване из радона, у плућима могу у крајњој инстанци изазвати канцер у организму. Најчешће су највиши нивои концентрације радона присутни у подрумима и у приземљу јер су то области које су најближе изворима радона и обично су слабо проветрене. На вишим нивоима, грађевински материјали постају најважнији извор радона.

Радон - Rn^{222} (надаље само радон) има највећи удео у укупном излагању становништва јонизујућем зрачењу. Преко 50% примљене дозе од стране опште популације отпада на ефекте зрачења услед излагања радону, односно његовим, такође, радиоактивним потомцима, који су по природи метали и као такви се врло лако припајају за различите стамбене површине, али могу да доспеју и до одређених површина унутар плућа где им разорна моћ на епител бронхија и бронхиола највише долази до изражаја (1). То указује на повећан ризик по становништво које борави у просторијама са повећаном концентрацијом радона и његових потомака, а тренутно деловање у смислу смањења концентрације или предузимање превентивних мера заштите је јако битно и због тога јер је показано да 7-14 % смртних исхода канцера плућа је узроковано радоном (2). Као примордијални радионуклид уран - U^{238} је присутан у земљи, па и у грађевинским материјалима. Уран - U^{238} (преко радијума - Ra^{226}) је језгро родитељ радона - Rn^{222} . Тако, након распада радијума - Ra^{226} , новонастали атом радона, може као племенити гас да дифундује и напусти место свог настанка. Ако напусти и средину у којој је настао (земља, грађевински елемент...) тај процес се назива одисање или ексхалација. Радон се може наћи у затвореним просторијама на више начина и помоћу више процеса, али је примарни узрок појаве радиоактивног амбијента у стамбеним објектима је радон присутан у земљишту, а следећи узрок је ексхалација радона из уграђеног грађевинског материјала (3, 4). Да би се квантификовало и регулисало излагање гама зрачењу радионуклида присутних у грађевинским материјалима, на прекоруку Европске комисије (5) у већини земаља (укључујући и нас) је уведен тзв. гама индекс:

$$I_{\gamma} = \frac{C_{^{226}Ra}}{300Bq/kg} + \frac{C_{^{232}Th}}{200Bq/kg} + \frac{C_{^{40}K}}{3000Bq/kg} \leq 1$$

Схваћено је да индиректно (додатном излагању зрачењу) доприноси и радон настао од радијума - Ra^{226} , па је његова дозвољена концентрација у већини случајева често смањена са 300 на 200 Bq/kg , под претпоставком да концентрација радијума - Ra^{226} већа од 200 Bq/kg , може да узрокује концентрацију радона у затвореној просторији већу од 200 Bq/m^3 , па се то још назива и „алфа индекс“ (6). У нашој земљи је у складу са постојећим законом (за шта је гарант за поштовање и спровођење мера заштите и сигурности јединствено регулаторно тело - „Директорат за радијациону заштиту и нукларну сигурност Србије“) званичним правилником дефинисано да су интервентни нивои за излагање радону једнаки годишњој просечној концентрацији радона од 400 Bq/m^3 за старе објекте и 200 Bq/m^3 за новоизграђене објекте (7). Међутим, постоје озбиљне индикације да је „унутрашња“ доза узрокована инхалирањем радона ексхалираног из грађевинских материјала већа од „екстерне“ дозе примљене путем гама зрачења од истог радијума који је предак ексхалираног радона (8, 9).

У данашње време ова чињеница добија и више на значају у ери политике повећања енергетске ефикасности која укључују боље заптивање врата и прозора и осталих отвора у зградама, што узрокује смањење коефицијента проветравања просторија, а самим тим повећање концентрације радона у затвореним просторијама, које је уочено и на вишим спратовима, где је основни извор радона грађевински материјал (10). Из свих поменутих разлога мерење ексхалације радона је једна од главних тема истраживања у области инжењерства заштите од зрачења, тако да и данас постоји велики број публикација на ову тему, из различитих делова света (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17). Већина ових мерења је извршена тзв.методом акумулационе коморе, али поред ове постоји још пар метода (и њихових варијација) мерења ексхалације радона. Мерење акумулационом комором се дели на мерење

активним инструментима и мерење пасивним траг детекторима (или електретима). Такође, су развијени и метод директног мерења помоћу траг детектора и мерење канистрима са активним угљем (18, 19, 20, 21). Због свега претходно наведеног, али и великог значаја за дуготрајни мониторинг присутних концентрација радона у стамбеним објектима са валидним и верификованим методама, мерење ексхалације радона је инкорпорирано и у ISO стандарде (22). У Европској унији постоји велика база података од 24200 узорака грађевинског материјала који се користе у различитим земљама, од којих се око 2000 односи на ексхалацију радона (23). Од посебног је интереса грађевински материјал направљен од магматских стена за које је познато да могу да имају висок садржај радионуклида. Поред мерења радона, постаје важно и мерење још једног изотопа радона Rn^{220} познатог као - торон, јер потиче из торијумског низа радиоактивног распада. Наиме, међународна комисија за заштиту од зрачења (ICRP) је недавно променила дозне конверзационе факторе, тако да је сада измерене доза услед излагања торону повећана готово три пута па тиме испитивање ексхалације торона такође постаје од значаја (24).

На основу претходно наведеног текста, дата је базична научно-стручна платформа на којој је заснован циљ ове докторске тезе, а то је да се на основу мерења и прорачуна процене потенцијални радиоактивни ризици и здравствено нежељени ефекти услед унутрашњег излагања радону и торону за случајеве ексхалације из различитих узорака грађевинског материјала – у овом случају гранита који се користе у Србији. Посебно је дат акценат на последице (посматрано по овом питању) све израженијег тренда у савременом свету у контексту смањења брзине вентилације у кућама/објектима у којима је приоритетни циљ побољшана енергетска ефикасност, као и да се процени ефективна доза услед екстерног излагања радионуклидима присутних у гранитним узорцима. Потребно је и додатно напоменути да радиоактивни распад радона представља главни природни извор малих јона у приземном слоју атмосфере. Ексхалација радона из тла зависи од локалних метеоролошких услова то јест температуре, влажности тла и ваздуха, док је смањење концентрације малих јона у ваздуху првенствено повезано са концентрацијом аеросолних загађивача у атмосфери. Радон као и мали јони имају утицаја на здравље људи на више нивоа. Дуговременско излагање високим концентрацијама радона је штетно по здравље и може бити летално, док се краткотрајно излагање изузетно високим концентрацијама користи за лечење многобројних болести. Са друге стране, јони су саставни део ваздуха који удишемо и по многим студијама имају позитиван утицај на психофизичко здравље људи. Недостатку јона у ваздуху се приписује депресија и анксиозност. Такође, јони су и природни пречишћавачи ваздуха обзиром да јонизацијом честица у ваздуху потпомажу њихову депозицију на површинама.

Као други битан сегмент истраживања који је веома значајан у израде ове дисертације је и постављени циљ да се испита корелација између претходно наведених веома битних метеоролошких фактора у различитим годишњим добима и при различитим нивоима загађености ваздуха. У ту сврху, планирано је да се мерења спроведу на отвореном простору у различитим метеоролошким условима и условима загађености на две одвојене локације. За мерења у условима чистог ваздуха планирано је да буду спроведена у условима лепог времена у приградском подручју Београда, док ће мерења током хладнијег времена бити спроведена у центру града, где се очекују високи нивои загађења ваздуха, ниске температуре и висока влажност. Истовремено су, ради свеобухватнијег сагледавања свих чиниоца и фактора, постављени циљеви у овом раду који захтевају реализацију планираних мерења чији ће резултати омогућити анализирање успостављених корелација између концентрације радона, јона у ваздуху, расподеле величина честица, кумулативне масене концентрације (партикулатна материја, PM), релативне влажности, притиска и температуре.

Релевантни библиографски извори који су повезани са предметом истраживања ове докторске дисертације и који ће бити коришћени приликом израде дисертације су:

1. BEIR VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon), 1999. „Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI“ (Free Executive Summary) *National Research Council*. и Ferlay, J., et al., (2007). „Estimates of the cancer incidence and mortality in Europe in 2006“. *Annals of Oncology*, 18, 581–592).
2. WHO, 2009. World Health Organization. „WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective.“ WHO press, Geneva.).
3. Cosma, et al., (2013). „Soil and building material as main sources of indoor radon in Băița-Ștei radon prone area (Romania)“ *Journal of environmental radioactivity*, 116, 174-179.
4. Denman et al., (2007). „Health implications of radon distribution in living rooms and bedrooms in U.K. dwellings – a case study in Northamptonshire“. *Environment International*, 33(8), 999-1011.)
5. EC (European Commission), 1999. Radiation protection 112-Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.)
6. Nordic, 2000. „Naturally Occurring Radiation in the Nordic Countries - Recommendations“, The Flag-Book Series, The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, Reykjavik.).
7. Правилник о границама излагања јонизујућим зрачењима и мерењима ради процене нивоа излагања јонизујућим зрачењима, Сл. Гласник РС 86/2011 и 50/2018).
8. Ujić et al., (2010) „Internal exposure from building materials exhaling ^{222}Rn and ^{220}Rn as compared to external exposure due to their natural radioactivity content“ *Applied Radiation and Isotopes*, 68(1), 201-206.
9. Petropoulos, N. P., Anagnostakis, M. J. & Simopoulos S.E. (2002). „Photon attenuation, natural radioactivity content and radon exhalation rate of building materials“, *Journal of Environmental Radioactivity*, 61(3), 257–269).
10. Yarmoshenko et al., (2014). „Indoor radon problem in energy efficient multi-storey buildings“ *Radiation protection dosimetry*, 160 (1-3), 53-56)
11. Symonds, P.; Rees, D.; Daraktchieva, Z.; McColl, N.; Bradley, J.; Hamilton, I.; Davies, M. Home energy efficiency and radon: An observational study. *Indoor Air* 2019, 29, 854–864.;
12. Collignan, B.; Powaga, E. Impact of ventilation systems and energy savings in a building on the mechanisms governing the indoor radon activity concentration. *J. Environ. Radioactiv.* 2019, 196, 268–273.;
13. Oreszczyn, T.; Mumovic, D.; Ridley, I.; Davies, M. The reduction in air infiltration due to window replacement in UK dwellings: Results of a field study and telephone survey. *Int. J. Vent.* 2005, 4, 71–77.;
14. Vasilyev, A.V.; Yarmoshenko, I.V.; Zhukovsky, M.V. Low air exchange rate causes high indoor radon concentration in energyefficient buildings. *Radiat. Prot. Dosim.* 2015, 164, 601–605.
15. Tan, Y., & Xiao, D. (2014). „A simple model for automatically measuring radon exhalation rate from medium surface“ *Radiation Measurements*, 64, 44-47;
16. Topçu et al., (2013). „Radon exhalation rate from building materials using CR-39 nuclear track detector“, *Indoor and Built Environment*, 22(2), 384-387;
17. Kumar et al., (2015). „Estimation of radionuclides content and radon–thoron exhalation from commonly used building materials in India“ *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1539-1546;
18. Morelli et al., (2015). „Radon exhalation rate in south-east Sicily building materials“ *The European Physical Journal Special Topics*, 224(4), 605-610.)
19. Abu-Jarad, F., J. H. Fremlin, & R. Bull. (1980). „A study of radon emitted from building materials using plastic α -track detectors“ *Physics in medicine and biology*, 25(4), 683;
20. Iimoto et al., (2008). „Development of a technique for the measurement of the radon exhalation rate using an activated charcoal collector“ *Journal of environmental radioactivity*, 99(4), 587-595;

21. Ingersoll, J. G., Stitt, B. D., & Zapalac, G. H. (1983) „A fast and accurate method for measuring radon exhalation rates from building materials“ *Health physics*, 45(2), 550-552.).
22. ISO 11665 Measurement of radioactivity in the environment -- Air: Radon-222 кроз део 7: *Accumulation method for estimating surface exhalation rate* (ISO 11665-7:2012) и кроз део 9: *Test methods for exhalation rate of building materials* (ISO 11665-9:2016)
23. Nuccetelli, C.; Leonardi, F.; Trevisi, R. Building material radon emanation and exhalation rate: Need of a shared measurement protocol from the European database analysis. *J. Environ. Radioactiv.* 2020, 225, 106438.).
24. Paquet, F.; Bailey, M.R.; Leggett, R.W.; Lipsztein, J.; Marsh, J.; Fell, T.P.; Smith, T.; Nosske, D.; Eckerman, K.F.; Berkovski, V.; et al. ICRP Publication 137: Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. *Ann. ICRP* 2017, 46, 1–486.),

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе које се могу издвојити као основа за реализацију плана научноистраживачког рада у оквиру ове докторске дисертације су следеће:

При мерењу концентрације радионуклида (у припремљеним узорцима грађевинског материјала) у гама спектрометрији се њихова концентрација одређује на основу карактеристичних гама линија мереног елемента. Уколико је остварено равнотежно стање између нуклида у неком од ланца распада, тада је њихова концентрација активности једнака. Тако се врло често ради повећања прецизности мерења, као и контроле, узорци затапају тако да радон не излази из самог узорка. Тада се након десет периода полуживота радона (~ 40 дана) може рећи да је остварено равнотежно стање између радијума, радона и његових потомака, па је мерена концентрација активности свих поменутих елемената једнака, те се радијум - Ra^{226} не мери само преко своје карактеристичне линије на 186 keV (која се меша са карактеристичном линијом урана - U^{235} на истој енергији), него и помоћу линија поменутих потомака.

Активним мерењем ексхалације радона у акумулационој комори може се, поред мерења саме брзине нагомилавања радона у комори односно ексхалације радона из грађевинском материјала, израчунати и почетна концентрација радона у тренутку поставке експеримента и израчунати ефективна константа распада радона, чиме се добија коригована вредност за мерење ексхалације радона и заобилазе се систематске грешке. Такође, због много краћег времена живота торона, потребно је искористити посебне ексхалационе коморе, малих димензија, како се сам торон не би распао у комори и пре доласка до мерног уређаја. Прорачунавањем ексхалације радона и торона, потребно је проценити колики је њихов допринос концентрацији радона у затвореној просторији, поготову у случају додатног смањења вентилације услед спровођења енергетске ефикасности објекта.

Концентрације радона (Rn^{222}) на отвореном током лета су више него крајем јесени, првенствено због повећане температуре земљишта и смањеног садржаја воде у земљишту, што подстиче еманацију радона и његов транспорт из тла у атмосферу. Дифузија радона расте са температуром због појачаног молекулског кретања. Повећање температуре земљишта доводи до формирања градијената притиска унутар тла, који затим подстичу адвективно струјање гасова. Са растом температуре, настали градијенти притиска постају израженији, што појачава кретање гасова у маси тла. Овај процес омогућава ефикаснији транспорт радона, што ефективно повећава коефицијент дифузије радона. Експериментална запажања подржавају ово понашање, указујући на јасну зависност коефицијената дифузије од температуре. Температура тла утиче и на еманацију радона (ослобађање из минералних материјала) и на транспорт кроз поре у тлу. Поред радона, јони се у атмосфери стварају и распадом калијума (K^{40}), који је гама-емитер, као и дејством космичког зрачења, али сви ови извори заједно учествују са не више од 20% у укупном стварању парова јона у доњим слојевима атмосфере.

Мали јони у атмосфери су наелектрисани кластери који су стално присутни у концентрацијама од неколико стотина до неколико хиљада јона по кубном сантиметру. Њихов пречник се креће од 0,6 nm до 1,3 nm, док се покретљивост креће у опсегу од $0,7 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ до $1,8 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, а животни век им је релативно кратак и мери се у секундама. Ако се мали јони не неутралишу, они прелазе у интермедијарне, а затим у велике јоне. Процес преласка од примарне јонизоване честице до великог јона назива се еволуција јона. На отвореном простору јони могу бити неутралисани рекомбинацијом или могу повећати масу везивањем за друге честице у ваздуху. У том случају, њихова покретљивост опада и престају да имају значајну улогу у атмосферским процесима. Овај процес се дешава знатно чешће, што доводи до инверзне зависности између концентрације јона и аеросола у ваздуху

4. Научне методе истраживања

Планирано је истраживање са вишеструким приступом у методама мерења концентрација радона, јона у ваздуху, ултрафиних честица, РМ, температуре и влажности. Током конкретних мерења на основу којих ће се добити очекивани резултати биће коришћени следећи инструменти и методе:

- Мерење радона: Континуирани монитор радона *Rad-7* (DurrIDGE, САД) који ће бити коришћен за реално-временско мерење концентрације радона на сатном нивоу;
- Мерење јона у ваздуху: Концентрације јона у ваздуху ће бити мерене коришћењем биполарног бројача јона, конструисаног на Институту за физику у Београду;
- Мерење ултрафиних и финих честица: Ултрафине честице ће помоћу уређаја *NanoScan Nanoparticle Sizer 3910* (SMPS, TSI) бити мерене у опсегу од 10 nm до 420 nm;
- Мерење грубих честица коришћењем *Optical Particle Sizer 3330* (OPS, TSI) у опсегу од 0,3 μm до 10 μm , чиме је планирано покривање читавог опсега честица пречника од 10 nm до 10 μm ;
- *Particulate matter* (РМ), односно мериће се и кумулативна масена концентрација честица, као и температура, релативна влажност и притисак, помоћу уређаја *AirVisual Outdoor monitor*;

У складу са наведеним методама и потребама за добијање резултата планираних мерења значајан део истраживања и испитивања ће бити спроведен употребом следећих метода и уређаја:

- Гама спектрометрија;
- Алфа спектрометрија – мерење радона активном методом;
- Брзина екshalације радона/торона коришћењем методе затворене коморе;

5. Очекивани научни допринос

Као базични научни доприноси докторске дисертације очекују се:

- Мерења екshalације радона из грађевинског материјала који потенцијално садржи високе концентрације радионуклида;
- Процена доприноса који такав грађевински материјал може да генерише при дужем излагању радону, посебно у условима смањене вентилације;
- Указивање на значај систематског испитивања екshalације торона и последично излагању торона, који је у највећој мери често занемариван у проблематици заштите од зрачења;

- Мерења потребна за добијање резултата који омогућавају одговарајуће корелационе анализе током различитих метеоролошких услова у циљу заштите животне средине и здравља људи услед удисања загађујућих као и канцерогених материја;
- Проучавање конституената ваздуха, који су веома битни са аспекта здравственог тј. радијационог ризика, као што су: радон, мали јони у ваздуху, температура и релативна влажност, бројчане концентрације честица, кумулативне масене концентрације честица.

6. План истраживања и структура рада

У складу са представљеним планом и предметом рада ова докторска дисертације ће се састојати из следећих поглавља:

1. *Увод;*
2. *Теоријски део;*
3. *Експериментални део;*
4. *Резултати и дискусија;*
5. *Закључак;*
6. *Литература.*

У поглављу под називом Увод ће бити дефинисан предмет и начин истраживања ове докторске дисертације при чему ће се важност и актуелност теме аргументовано представити позивањем на најистакнутије резултате из ове области који су били убедљив аргумент и полазна основа за предузимање одговарајућих мерења и заштите становништва од радијационог ризика посматрано у глобалним размерама.

У теоријском делу дисертације ће бити приказани најновији и најрелевантнији литературни подаци који су везани за централну проблематику предложене дисертације.

Експериментални део рада ће садржати детаљан приказ поглавља у вези са експерименталним материјалом, експерименталним методама и уређајима за спровођење свих метода мерења, као и свим прорачунима коришћеним у овој дисертацији.

Поглавље резултат и дискусија ће обухватити сумарни преглед свих резултата добијених током експерименталних фаза и корака, као и прорачуне и добијене корелације по питању узрочно последичних односа (повећана концентрација радона присутна у зградама на здравље становништва), због употреба различитих гранита, који се у Србији најчешће користе као грађевински материјал приликом изградње стамбених објеката.

Закључак ће садржати приказ најважнијих резултата и коментара у вези квалитета остварених резултата до којих је кандидат дошао у току израде ове докторске дисертације. Посебан осврт ће бити на иновативности, важности, актуелности и потенцијалној примени резултата.

У поглављу литература ће бити приказани сви радови цитирани у дисертацији, као и радови проистекли током израде ове докторске дисертације

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима, Комисија сматра да кандидат Fathya (Musbah) Shabek испуњава све потребне услове за рад на теми која је предложена за израду докторске дисертације. Такође, на основу изложеног, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом „Мерење природне радиоактивности грађевинских материјала и испитивање утицаја радона на здравље људи услед његовог присуства у атмосфери стамбених објеката“ (“Measuring the natural radioactivity of building materials and examining the impact of radon on human health due to its presence in the atmosphere of residential buildings”), научно заснована, и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да је прихвати и да извештај проследи Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство материјала, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Докторска дисертација ће бити написана на енглеском језику. За менторе докторске дисертације предлажемо др Аца Јанићијевића, редовног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Уроша Ковачевића вишег научног сарадника Иновационог Центра Машинског факултета, Универзитета у Београду.

Београд, 17. 4. 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Ацо Јанићијевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Урош Ковачевић, виши научни сарадник,
Универзитет у Београду, Иновациони Центар Машински факултет

.....
Др Саша Кочинац, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Маринковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Ненад Карталовић, научни сарадник,
Универзитет у Београду, Електротехнички Институт „Никола Тесла“