

**УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
СА СЕДИШТЕМ У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ**

**РАДОН И ТОРОН У ВАЗДУХУ ЗАТВОРЕНИХ
ПРОСТОРИЈА НА КОСОВУ И МЕТОХИЈИ:
КОРЕЛАЦИЈА И МАПЕ РИЗИКА**

др Љиљана Гулан

Академска мисао, Београд
Природно-математички факултет у Приштини
Косовска Митровица, 2015

Др Љиљана Гулан

**„РАДОН И ТОРОН У ВАЗДУХУ ЗАТВОРЕНИХ ПРОСТОРИЈА НА
КОСОВУ И МЕТОХИЈИ: КОРЕЛАЦИЈА И МАПЕ РИЗИКА“**

Рецензенти

Др Драгослав Никезић, редовни професор
Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу

Др Гордана Милић, ванредни професор
Природно-математички факултет, Универзитет у Приштини
са привременим седиштем у Косовској Митровици

Др Биљана Миленковић, научни сарадник, Институт за физику
Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу

Одлуком Наставно-научног већа Природно-математичког факултета Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици бр.61/3 од 10.06.2015 одобрено за штампу

Издавачи

Академска мисао, Београд
Природно-математички факултет у Приштини

Штампа

Академска мисао, Београд

Тираж 50 примерака

ИСБН 978-86-7466-549-7

Монографија је урађена у оквиру пројекта ИИИ41028 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

НАПОМЕНА: Фотокопирање или умножавање на било који начин или поновно објављивање ове књиге у целини или у деловима није дозвољено без претходне изричите сагласности и писменог одобрења издавача.

ПРЕДГОВОР

Пред Вама је монографија настала као резултат вишегодишњег истраживања концентрације племенитог гаса радона у ваздуху затворених просторија на Косову и Метохији. Монографија се бави проценом излагања становништва изотопима радона и испитивањем корелације међу њима. Важан део у монографији заузима мапа ризика од радона за подручје Косова и Метохије, која припада Европском атласу мапа радона од 2011 године. Изузетан научни допринос овог значајног и још увек актуелног међународног подухвата огледа се у спознаји и идентификацији природне радиоактивности у животној средини која нас окружује.

Монографија је прилагођена читалачкој публици заинтересованој за радиоактивни гас радон - значајан са радиолошке тачке гледишта, јер је примаран контаминант животног простора. Намењена је и студентима физике као додатна литература за предмете основних и мастер академских студија: Експерименталне методе у физици и Савремена експериментална физика.

Овом приликом се посебно захваљујем рецензентима: проф. др. Драгославу Никеџићу, др Гордани Милић, ванредном професору и др Биљани Миленковић, научном сараднику на врло корисним сугестијама и саветима који су допринели садашњем изгледу монографије. Такође, изражавам велику захвалност др Зори С. Жунић, вишем научном сараднику ИИИ „Винча“ на предусретљивости и несебичном ангажовању у циљу остварења међународне сарадње са научним институтима у Италији, Јапану, Индији и Шведској.

Михаилу, Јани и Јовану

Садржај

| | |
|---|----|
| 1. Увод..... | 1 |
| 2. Радон у природи..... | 4 |
| 2.1 Радон и торон | 7 |
| 2.1.1 Физичке и хемијске особине..... | 7 |
| 2.1.2 Извори радона | 7 |
| 2.1.3 Еманација..... | 8 |
| 2.1.4 Транспорт..... | 11 |
| 2.1.5 Понашање у атмосферском ваздуху..... | 14 |
| 2.2 Радон и торон у затвореним просторијама | 16 |
| 2.2.1 Фактори који утичу на концентрацију радона у затвореним просторијама..... | 17 |
| 2.2.2 Расподела радона и торона у објектима..... | 22 |
| 2.2.3 Потомци из распада радона и торона..... | 24 |
| 2.2.4 Равнотежне еквивалентне концентрације..... | 28 |
| 2.2.5 Равнотежни фактори..... | 28 |
| 2.2.6 РАЕС, слободна и припојена фракција | 29 |
| 2.3 Излагање радону, торону и њиховим потомцима..... | 31 |
| 2.3.1 Инхалација и ингестија..... | 32 |
| 3. Методе мерења и детекције радона..... | 35 |
| 3.1 Активна (алфа-спектрометријска) метода..... | 35 |
| 3.2 Пасивна интеграциона метода мерења траг детекторима..... | 37 |
| 4. Концентрације радона и торона на Косову и Метохији..... | 40 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.1 | Концентрације радона измерене CR-39 (RSKS) детекторима..... | 42 |
| 4.2 | Концентрације радона измерене CR-39 Gammadata детекторима | 50 |
| 4.3 | Концентрације радона и торона измерене CR-39 (RADUET) детекторима | 53 |
| 4.4 | Поређење са резултатима мерења радона у другим земљама света | 61 |
| 4.5 | Поређење са резултатима мерења торона у другим земљама света | 64 |
| 4.6 | Равнотежне еквивалентне концентрације радона и торона измерене LR115 (DTPS/DRPS) детекторима..... | 65 |
| 5. | Процена дозе од радона, торона и њихових потомака | 73 |
| 5.1 | Годишња ефективна доза услед излагања радону и његовим потомцима | 73 |
| 5.2 | Годишња ефективна доза услед излагања торону и његовим потомцима | 78 |
| 6. | Корелациона анализа..... | 81 |
| 6.1 | Корелација између измерених концентрација различитим врстама детектора..... | 81 |
| 6.2 | Корелација између изотопа радона | 84 |
| 7. | Мапе ризика..... | 86 |
| 7.1 | Мапа ризика од радона..... | 88 |
| 7.2 | Мапа ризика од торона..... | 90 |
| 8. | Закључак | 93 |
| | Референце | 95 |

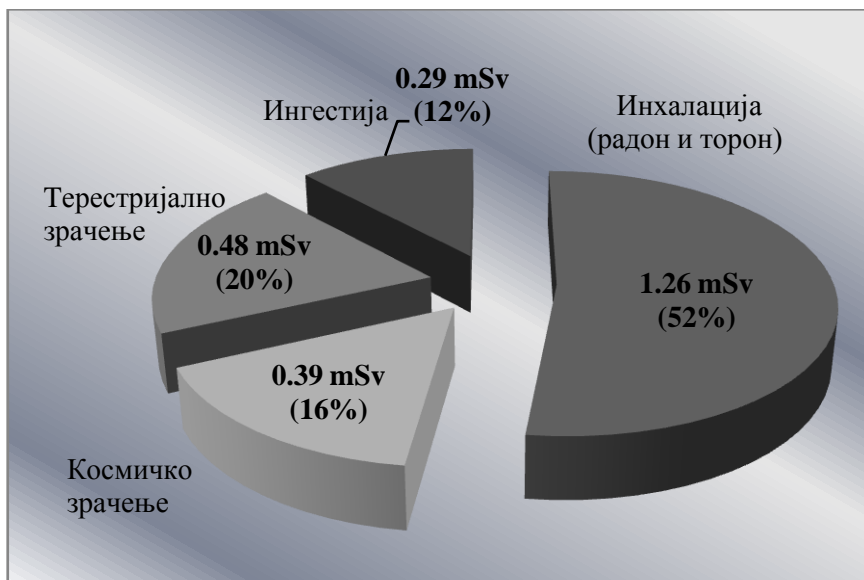
1. Увод

Живи свет на Земљи је перманентно изложен изворима јонизујућег зрачења. Зрачење примордијалних (терестријалних) радионуклида ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K које потиче из стена и минерала Земље чини доминантну компоненту природног зрачења. Садржај ових радионуклида у земљишту одређен је геолошком структуром посматране области. Око 15% природног зрачења чини космичко зрачење и зрачење космогених радионуклида који настају непрекидним интеракцијама космичког зрачења са елементима у горњим слојевима Земљине атмосфере. Интензитет космичког зрачења најмањи је на екватору, а расте с приближавањем магнетним половима Земље.

У природи су присутни и вештачки извори јонизујућег зрачења као резултат људских активности. То су углавном фисиони продукти који су путем хаварија у реакторима нуклеарних електрана и проба нуклеарног оружја доспели у животну средину. Најзначајнији акцидент на нуклеарном реактору догодио се 1986. године у Чернобилу (Украјина), када је радиоактивним ^{137}Cs значајно контаминирана и наша земља. Недавни акцидент у Фукушими (Јапан) 2011. године није проузроковао значајну контаминацију северне хемисфере радиоактивним материјалом.

Истраживања спроведена у свету последњих деценија указују да више од 2/3 укупне годишње дозе коју прими становништво потиче од природних извора зрачења [UNSCEAR, 2008]. На слици 1.1 приказан је релативан допринос природних извора зрачења годишњој ефективној дози. Примљена доза зависи од миграције радионуклида у животној средини кроз ланце исхране, од контаминације посматране области, као и од животних навика становништва. По оцени Научног комитета за ефекте атомског зрачења (United Nations Scientific Committee on the Effects of

Atomic Radiation, UNSCEAR) више од 1/2 укупне дозе од природних извора зрачења потиче од инхалације радона, торона и њихових краткоживећих потомака. Светска здравствена организација (World Health Organization, WHO) означила га је као хумани канцерогени агенс.



Слика 1.1 Релативан допринос природних извора зрачења годишњој ефективној дози [UNSCEAR, 2008]

Радон ^{222}Rn је једини гасовити производ распада у радиоактивном низу ^{238}U , који настаје непосредним распадом радијума ^{226}Ra . Земљиште и стене богате радијумом су најјачи извори радона. Концентрација радона на отвореном простору је углавном мања од 10 Bq m^{-3} [UNSCEAR, 2006]. Међутим, радон је примарни контаминант животног простора, јер услед своје изразите мобилности, значајне концентрације достиже у атмосфери затворених просторија. У затвореним просторијама услед нагомилавања и смањене вентилације, концентрација радона може достићи неколико стотина Bq m^{-3} и више. Поред значаја за сврхе здравствене заштите, мерења радона налазе широку примену у геологији за проспекцију