

МЕРЕЊЕ БРЗИНЕ ЕКСХАЛАЦИЈЕ РАДОНА ИЗ ГРАЂЕВИНСКИХ МАТЕРИЈАЛА МЕТОДОМ ЗАТВОРЕНЕ КОМОРЕ

Предраг УЈИЋ, Игор ЧЕЛИКОВИЋ, Александар КАНДИЋ, Ивана
ВУКАНАЦ, Мирјана ЂУРАШЕВИЋ, Александар ДЕМАЈО, Зора ЖУНИЋ
Институт за нуклеарне науке “Винча”, Београд, Србија

САДРЖАЈ

У раду ће бити указано на потребу мерења ексхалације радона из грађевинских материјала. Биће показано да радон настао распадом радијума у грађевинском материјалу доприноси дозу коју прима човек приближно као и услед радиоактивности самог радијума у грађевинском материјалу од којег је тај радон настао. Ово је значајно са становишта да у законској регулативи постоји дозвољена концентрација ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и вештачких радионуклида у грађевинском материјалу, док ексхалација радона из грађевинског материјала није директно регулисана.

Показало се да не постоји значајна зависност између брзине ексхалације радона и концентрације радијума у различитим материјалима за уобичајене концентрације радијума од 10 до 100 Bq/kg, што опет ставља под питање законску регулативу везану само за садржај ^{226}Ra у грађевинском материјалу, јер је немогуће на основу њиховог садржаја довољно добро проценити брзину ексхалације ^{222}Rn .

1. Увод

Радон је једини племенити гас у природи који је радиоактиван. Ово га чини опасним по људско здравље, јер из природне средине (вода, ваздух), радон и његови такође радиоактивни потомци лако доспевају у људски организам и то превасходно на два начина: удисањем и водом за пиће. Радон је директни потомак радијума, и појављује се као различит изотоп у сва три природна низа радиоактивног распада. Радон се простире на два основна начина: дифузијом и конвекцијом, а два основна извора радона у затвореним просторијама су радијум у земљишту на којем се грађевина налази и радијум у грађевинском материјалу.

Еманација је процес у коме атом радона успева да напусти минерал и пређе у поре, односно шупљине у минералу. Коефицијент еманације даје однос броја атома радона који напусти минерал и укупног броја створених атома радона. Коефицијент еманације зависи од многих фактора: величине гранула, просторне расподеле Ra^{226} у гранулама минерала, микроскопске структуре материјала, порозности, влажности материјала, итд. Ексхалација је одисање радона са неке површине, док је брзина ексхалације активност радона који се емитује из неког материјала у спољашњу средину у јединици времена по јединици површине или по јединици масе. Ако је материјал у праху, брзину ексхалације има смисла изражавати само по јединици масе, док се код чврстих, односно компактних материјала, она изражава по јединици површине.

У овом раду за мерење брзине ексхалације је коришћен метод затворене коморе који подразумева мерење одређене количине испитиваног материјала у херметички затвореној комори. Унутар коморе се поставља и чврсти нуклеарни траг-детектор који мери укупну дозу током излагања у комори. Једини начин стварања радона

унутар коморе је путем ексхалације радона из унетог материјала, а радиоактивни распад је једини начин на који се радон губи, под условом да је цурење коморе занемарљиво. Врзина ексхалације се може изразити као [1]:

$$E = \frac{\rho V \lambda}{kB} \left(t - \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \right)$$

где су ρ – густина трагова на траг детектору, V – запремина коморе, λ – вероватноћа распада језгра радона, k – калибрациони коефицијент траг детектора, B – површина или маса узорка, зависно од тога да ли се мери брзина ексхалације по јединици површине или јединици масе.

2. Измерене вредности брзине ексхалације радона

Измерене вредности брзине ексхалације радона су представљене у табели. Поред брзине ексхалације по јединици површине, приказана је и брзина ексхалације по јединици масе, која је мерена на спрашеним узорцима. Мерење брзине ексхалације спрашених узорака се ради на материјалима који су већ у спрашеном или зрнастом облику (цемент, гипс, песак, глет маса...). У овом раду је, где год то било могуће, извршено мерење брзине ексхалације и по јединици површине, и по јединици масе. Утврђено је да нема значајне корелације између концентрације Ra^{226} и брзине ексхалације Rn^{222} у мереним грађевинским материјалима. Стога се може закључити да на брзину еманације, односно ексхалације, знатније утиче минерална структура материјала од садржаја Ra^{226} . Резултати приказани у табели X су у складу са резултатима објављеним у литератури, који се крећу у интервалу 11 – 10800 (mBq/m²)/h [1,2,3,4].

Табела: Измерене вредности брзине ексхалације Rn^{222} , по јединици површине E_A и по јединици масе E_m . Приказане су и концентрације Ra^{226} у датим узорцима.

Ред. број	Узорак	$E_A \pm \sigma$ [(mBq/m ²)/h]	$E_m \pm \sigma$ (релативна влажност ваздуха 35 ± 5 %) [(mBq/kg)/h]	Концентрација Ra^{226} у узорку [Bq/kg]
1	<i>Пепео са одлагалишта Термоелектране «Никола Тесла» Б (ТЕНТ Б)</i>	-	17.6 ± 8.7	119 ± 9
2	<i>Бигар (седра, сига) из Нишке Бање</i>	-	2240 ± 120	550 ± 6
3	<i>Терароса (Златибор)</i>	-	66 ± 11	41.3 ± 4.5
4	<i>Цемент (Беочин)</i>	-	22.0 ± 3.9	65.2 ± 0.9
5	<i>Гипс (Шипово)</i>	-	8.2 ± 1.8	9.6 ± 1.9
6	<i>Гас бетон (сипорекс)</i>	390 ± 170	16.0 ± 0.2	8.1 ± 0.3

7	Пуна цигла (црвена)	630 ± 170	9.7 ± 5.9	71.4 ± 1.3
		1210 ± 180		
8	Силикатна цигла	880 ± 160	4.4 ± 0.5	23.8 ± 0.5
9	Пуна цигла (жута)	960 ± 160	8.8 ± 1.9	54.9 ± 1.0
10	Цигла шупљикава	-	18.6 ± 1.6	38.4 ± 17.9
11	Камен (Горња Стубла)	-	30.5 ± 5.8	33.2 ± 0.7
12	Мермер (бели)	40 ± 370	2.5 ± 0.5	2.05 ± 0.07
13	Мермер (црни)	327 ± 67	3.7 ± 0.3	7.0 ± 0.2
14	Сига (бигар) из Милића у БиХ	138 ± 71	3.1 ± 0.5	7.18 ± 0.91
15	Бетонски блок 1	396 ± 59 (1060 ± 180)*	11.9 ± 1.3	27.4 ± 0.6
16	Бетонски блок 2	273 ± 38 (660 ± 120)*	11.0 ± 3.4	16.1 ± 0.3
17	Бетонски блок 3	1000 ± 80	15.9 ± 2.6	8.9 ± 0.3

* вредност ван заграде представља брзину ексхалације једног режња бетонског блока, а вредност у загради представља израчунату вредност брзину ексхалације за цео блок

3. Поређење ефективне дозе услед ексхалације радона и ефективне дозе услед присуства ^{226}Ra у грађевинском материјалу

У првом кораку је потребно одредити концентрацију радона у просторији услед ексхалације радона за $t \rightarrow \infty$:

$$C_{Rn} = \frac{ES}{V\lambda_v},$$

где је Е – брзина ексхалације радона по јединици површине, S – је укупна површина зидова којима је просторија ограничена, V – је запремина просторије, λ_v – коефицијент проветравања (ventilation coefficient), који фигурише уместо λ_{eff} у оригиналном изразу. Коефицијент проветравања се креће у интервалу $(0.1-1)\text{h}^{-1}$, мада при форсираној вентилацији достиже и 10h^{-1} [5,6]. Однос површина-запремина просторије $4 \times 5 \times 2.8\text{m}$ је 1.6. Ако претпоставимо да је брзина ексхалације $1\text{Bq/m}^2/\text{s}$ (колико је приближно за рецимо жуту циглу представљену у табели) и да човек проводи 6570 часова годишње у тој просторији, тада се ефективна доза корисника просторије, услед излагања радону, креће у интервалу $(0.0375-0.375)\text{mSv}/\text{god}$, зависно од фактора проветравања.

За прорачун ефективне дозе услед изложености гама зрачењу ^{226}Ra и његових потомака у грађевинском материјалу, биће коришћен паралелепипедични модел просторије [3]. Конверзиони фактор који даје однос концентрације ^{226}Ra у грађевинском материјалу и ефективне дозе износи $2.91(\mu\text{Sv}/\text{god})/(\text{Bq}/\text{kg})$ за фактор боравка у просторији од 0.75 (6570 часова годишње) [3]. Ако опет за пример узмемо жуту циглу, чији садржај ^{226}Ra износи $55\text{Bq}/\text{kg}$. Ефективна доза од гама зрачења коју прими становник ове просторије износи $55 \times 2.91 = 0.160\text{mSv}/\text{god}$. У случају бетонско

блока (1) ефективне дозе би биле: за ^{226}Ra – 0.08 mSv/god, а за ексхалирани радон (0.0414–0.414) mSv/god.

4. Закључак

У раду је показано да су ефективне дозе које прима човек услед изложености гама компоненти зрачења ^{226}Ra и ^{232}Th у грађевинском материјалу, у најмању руку истог реда величине као и ефективне дозе које човек прими услед изложености радону и торону који су у посматраној грађевини настали ексхалацијом из грађевинског материјала. Прорачуни ефективних доза услед изложености радону и торону су урађени на основу резултата мерења ексхалације при релативној влажност $35 \pm 5 \%$. На нашем поднебљу просечна влажност се креће око 50%, па је и ексхалација у реалним условима сигурно већа. Такође, при прорачуну гама дозе сматрано је да су зидови пуни, дебљине 20 cm. За прорачун ексхалације је узимано да је зид од цигле дебео 12 cm, а у случају бетонског блока зид није пун, већ добрим делом шупаљ. Кад се све ово узме у обзир, ексхалација потенцијално може бити већа и за два пута, али да би се све ово доказало потребна су допунска опсежа мерења.

Намеће се закључак да би у законску регулативу требало увести и ограничење везано за брзину ексхалације радона и торона из грађевинских материјала. Радови појединих аутора иду у прилог овој чињеници [7, 8], мада постоје и аутори који сматрају да је главни извор зрачења, које потиче од грађевинског материјала, његова гама компонента, а не радон и торон који ексхалирају из тог материјала [3]. У Холандији већ постоји законски регулисана класификација грађевинског материјала у односу на ексхалацију радона и торона, где је уведен тзв. “radiation performance index”, прорачунат на основу доприноса ефективној дози како гама компоненте зрачења тако и ексхалације радона из грађевинског материјала [8].

ЗАХВАЛНОСТ

Аутори се захваљују Министарству науке Републике Србије на финансијској подршци у оквиру пројекта 141019Б.

5. Литература

- [1] Sharma, N. and Virk, H.S., Exhalation rate study of radon/thoron in some building materials, *Rad. Measur.* 34, p:467-469 (2001)
- [2] Porestendorfer, J., Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air, *J. Aerosol Sci.* 25 (2), 219-263 (1994).
- [3] Stoulos, S., Manolopoulou, M., Papastefanou, C., Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece, *Jour. Of Envir. Rad.*, 69, 225–240, (2003).
- [4] Hafez, A.F., Hussein, A.S., Rasheed, N.M., A study of radon and thoron release from Egyptian building materials using polymeric nuclear track detectors, *Applied Radiation and Isotopes* 54, p:291-298 (2001).
- [5] <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/twenty.htm>
- [6] Wålinder, R et al., Swelling in Relation to Low Air Exchange Rate in Schools, *Indoor Air*, 1997; 7: 198-205 (1997).
- [7] Tuccimei, P., Moroni, M., Norcia, D., Simultaneous determination of ^{222}Rn and ^{220}Rn exhalation rates from building materials used in Central Italy with accumulation

- chambers and a continuous solid state alpha detector: Influence of particle size, humidity and precursors concentration, *Appl. Rad. and Isot.* 64, 254-263 (2006).
- [8] van der Graaf, et al., Radiation performance index for Dutch dwellings: consequences for some typical situations, *Sci. Total Environ.* 272, 315-321 (2001).

ABSTRACT

**MEASUREMENT OF RADON EXHALATION RATE FROM
BUILDING MATERIALS USING ACCUMULATION CHAMBER**

**Predrag UJIĆ, Igor ČELIKOVIĆ, Aleksandar KANDIĆ, Ivana VUKANAC,
Mirjana ĐURAŠEVIĆ, Aleksandar DEMAJO, Zora S. ŽUNIĆ**
Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Belgrade, Serbia

Exhalation rate measurements were performed on different materials using accumulation chamber. It is shown that inhabitants exposure to gamma rays originating from ^{226}Ra in building materials is comparable to exposure to radon exhalating from the same material.