



CENTRUM  
RADONOWE



## II OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA „RADON W ŚRODOWISKU”

20 – 21 WRZESIEŃ 2005, KRAKÓW

## II OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA „RADON W ŚRODOWISKU”

organizowana przez



pod patronatem

*Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

*oraz*

*Pozarządowej Międzynarodowej Sieci Naukowej  
„Centrum Radonowe”*

---

### KOMITET NAUKOWY

dr hab. Urszula Woźnicka (IFJ PAN)  
dr Krzysztof Kozak (IFJ PAN)  
dr hab. Paweł Olko (IFJ PAN)  
prof. dr hab. Michał Waligórski (IOK)  
prof. dr hab. Jerzy Łoskiewicz ((IFJ PAN)  
dr hab. Jan Skowronek (IETU)

### KOMITET ORGANIZACYJNY

Krzysztof Kozak - Przewodniczący  
Jadwiga Mazur - Sekretarz  
Joanna Bogacz , Elżbieta Kochowska  
Ewa Węgiel, Mirosław Janik  
Ryszard Haber , Tadeusz Zdziarski

## REFERATY

<b>R1</b>	<b>Rola radonu we wczesnej ewolucji życia na ziemi</b> Z.P.Zagórski	5
<b>R2.</b>	<b>Radon jako składnik swoisty wód leczniczych Sudetów</b> T.A.Przylibski	6
<b>R3.</b>	<b>Pomiar stężenia radonu w wodzie za pomocą komory Lucasa</b> B.Machaj, J.Bartak	8
<b>R4.</b>	<b>Badania stężeń radonu w okolicach Lublina. Doświadczenia zakładu radiochemii w tej dziedzinie</b> A.Komosa	9
<b>R5.</b>	<b>Badanie własności adsorpcyjnych węgla aktywnych pod kątem zastosowania ich w systemie pomiarowym „PicoRad”</b> O.Stawarz, K.Mamont-Cieśla	11
<b>R6.</b>	<b>Stanowisko do kalibracji radonowych detektorów śladowych w Politechnice Wrocławskiej</b> A.Żebrowski, T.A. Przylibski	13
<b>R7.</b>	<b>Metoda pomiaru toronu z wykorzystaniem dwóch komór jonizacyjnych AlphaGUARD™</b> E.Kochowska, K.Kozak, J.Mazur	15
<b>R8.</b>	<b>Pomiary ekstremalnie niskich aktywności radonu (Rn-222) w gazach</b> M.Wójcik	16
<b>R9.</b>	<b>Pomiary radonu w Serbii 2004 – 2005, współpraca z ECE Lab. Vinca Institute</b> Krzysztof Kozak	17
<b>R10.</b>	<b>Budowa geologiczna Sudetów jako przyczyna występowania wzmoczonej emisji radonu do atmosfery</b> T.A.Przylibski	18
<b>R11.</b>	<b>Tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych na przykładzie intruzji granitoidowej Kłodzko-Złotostockiej i metamorfiku Łądka-Śnieżnika</b> A.Adamczyk-Lorenc	20
<b>R12.</b>	<b>Wpływ porowatości na ekshalację radonu z betonów lekkich kruszywowych</b> J.A.Rubin	22
<b>R13.</b>	<b>Możliwości wykorzystania wybranych metod geofizycznych w badaniach zagrożenia radonowego</b> M.Wysocka, A.Kotyrbka, S.Chałupnik	24

<b>R14.</b>	<b>Badanie zależności oceny narażenia radonowego w budynkach od rozkładu wielkości cząstek związanych z pochodnymi</b> K.Mamont-Cieśla, O.Stawarz	25
<b>R15.</b>	<b>The anomalic changes of underground radon as earthquake precursor</b> H.Petrosyan, H.Hovhannisyan	27
<b>R16.</b>	<b>Wody radonowe polski w świetle budowy geologicznej kraju</b> T.A. Przylibski	28
<b>R17.</b>	<b>Równoczesny pomiar radonu i jego produktów rozpadu w powietrzu atmosferycznym z wykorzystaniem techniki ciekłoscyntylacyjnej</b> S.Chałupnik, Z.Toscheva	30
<b>R18.</b>	<b>Przenikanie radonu przez grunt i do budynków</b> J.Łoskiewicz	31
<b>R19.</b>	<b>Automatyczny przyrząd do ciągłego pomiaru ekshalacji radonu z gleby</b> J.Mazur, K.Kozak, T.Zdziarski, R.Haber	32
<b>R20.</b>	<b>Aspekty prawne związane z występowaniem radonu w wodzie</b> T.A.Przylibski	33
<b>R21.</b>	<b>Radon a hormeza radiacyjna, czyli od radiofilii do radiofobii – sto lat karuzeli poglądów</b> T.A.Przylibski	35

## POSTERY

		<b>Strona</b>
<b>P1.</b>	<b>Sezonowa zmienność stężenia radonu w budynkach jednorodzinnych Podlasia</b> M.Karpińska, Z.Mnich, J.Kapała	38
<b>P2.</b>	<b>Interkalibracja przyrządów do pomiaru radonu i jego pochodnych w komorze CLOR w 2003r.</b> K.Mamont-Cieśla, O.Stawarz	40
<b>P3.</b>	<b>Badanie wpływu wysokiej wilgotności względnej i czasu ekspozycji na wynik pomiaru stężenia radonu za pomocą detektorów węglowych</b> O.Stawarz, M.Karpińska, K.Mamont-Cieśla	42
<b>P4.</b>	<b>Wody radonowe Sudetów: przyrodnicze, radiologiczne oraz balneologiczne i górnicze aspekty ich występowania</b> T.A.Przylibski	44
<b>P5.</b>	<b>Detektory węglowe do pomiarów radonu w budynkach mieszkalnych</b> M.Fujak, S.Kalita	46
<b>P6.</b>	<b>Wybrane izotopy gamma-promieniotwórcze szeregu uranowego i torowego w glebach leśnych Opolszczyzny</b> M.Smuda, A.Dołhańczuk-Śródka, M.Waławek	48



# ***REFERATY***

**ROLA RADONU WE WCZESNEJ EWOLUCJI ŻYCIA NA ZIEMI**

Zbigniew P. ZAGÓRSKI\*

*Zakład Chemii i Techniki Radiacyjnej  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa  
e-mail: [zagorski@ichtj.waw.pl](mailto:zagorski@ichtj.waw.pl)*

**STRESZCZENIE**

W okresie prebiotycznym i wczesnego okresu ewolucji na Ziemi tło promieniowania jonizującego było znacznie większe niż obecnie (przykłady w pełnym tekście wystąpienia). Rozmieszczenie tych naturalnych źródeł było nadzwyczaj nierównomierne tak pod względem rodzaju promieniowania (LET) jak i jego intensywności. Reakcji chemicznych wywołanych absorpcją promieniowania nie można pominąć w żadnym aspekcie procesów życiowych.

Zaniedbywana do tej pory w nauce światowej tendencja nie uwzględniania chemii radiacyjnej w historii Życia na Ziemi zaczyna być poprawiana z wzrastającym zainteresowaniem. Nie zawsze jednak wszystkie aspekty są uwzględniane, np. pewni autorzy uważają, że żyjące istoty nie mogły mieć styczności z promieniowaniem o dużym LET, ze szkodą dla zjawisk dziś klasyfikowanych jako radiobiologiczne. Ciężkie jony z przestrzeni kosmicznej nie mogły dotrzeć do istot żywych, ponieważ były pochłaniane przez gęstą, obojętnie zresztą o jakim składzie, atmosferę. Cząstki  $\alpha$  natomiast ze źródeł ziemskich nie mogły dotrzeć do istotnych części tkanek z powodu małego zasięgu w fazach skondensowanych, otaczających wrażliwe części.

A jednak promieniowanie o dużym LET docierało praktycznie wszędzie, jeżeli tylko istotny element żywy wykazywał wymianę z atmosferą, niekoniecznie już jako oddychanie, ale chwilową styczność z powietrzem zawierającym radon. Rysunek przedstawia zasięg i kolumnę jonizującą cząstki  $\alpha$  w typowej komórce, na powierzchni, której znalazł się atom radonu ulegający rozpadowi. Geometria zjawisk została przeliczona z dobrze poznanego zjawiska atakowania poliwęglanu cząstkami alfa, wykorzystywanego do celów dozymetrycznych.

Można więc przyjąć, że w każdej fazie rozwoju Życia na Ziemi istniała możliwość styczności z promieniowaniem o dużym LET i radiobiologicznym konsekwencjom tego. Oczywiście najciekawsze przemiany były powodowane promieniowaniem o małym LET z jego głównym udziałem gniazd jednojonizacyjnych, jednak duże LET prowadzące do destrukcji w dużej strefie obiektu miało też interesujące konsekwencje, polegające na wytworzeniu zdolności do pozbywania się szczątków materiału żywego, bez szkody dla całości, istotne i dziś.

---

\* członek Management Committee programu europejskiego COST D27 (Prebiotic Chemistry and Early Evolution)

## RADON JAKO SKŁADNIK SWOISTY WÓD LECZNICZYCH SUDETÓW

Tadeusz Andrzej PRZYLIBSKI

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa  
Zakład Geologii i Wód Mineralnych; Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 WROCLAW*

*e-mail: [Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl](mailto:Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl)*

### STRESZCZENIE

Radon jest jednym z kilkunastu składników chemicznych wód podziemnych, których obecność może stanowić podstawę do uznania takich wód za wody lecznicze, a tym samym zaliczenia ich do kopalin. O wyjątkowym charakterze radonu, jako składnika leczniczego wód podziemnych, decydują przede wszystkim jego właściwości promieniotwórcze.

Przeprowadzone przez autora badania pozwalają stwierdzić, że najważniejszymi czynnikami decydującymi o genezie radonu i wpływającymi na zmiany stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych są:

- Ø zmiany współczynnika emanacji skał zbiornikowych,
- Ø zmiany zawartości macierzystego  $^{226}\text{Ra}$  w tych skałach,
- Ø zmiany objętości i prędkości przepływu oraz mieszanie się różnych składowych wód podziemnych w systemie krążenia.

Podwyższone stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych występują jedynie wówczas, gdy koncentracja  $^{226}\text{Ra}$  w skałach zbiornikowych przekracza  $30 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  i jednocześnie współczynnik emanacji jest wyższy niż 0,10. Wysoka wartość tylko jednego z tych parametrów nie powoduje istotnego podwyższenia stężeń radonu w wodach podziemnych.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można przedstawić dwa generalne schematy rozpuszczania się radonu w podziemnych wodach leczniczych Sudetów. Według pierwszego z nich radon rozpuszcza się w uformowanym uprzednio na skutek różnych procesów fizyko-chemicznych typie wody podziemnej w rejonie ujęcia lub źródła. Według drugiego radon jest dostarczany wraz z jedną ze składowych wód podziemnych, tworzących ujmowaną lub wypływającą mieszaninę. Cechą typową wód zaliczonych do schematu pierwszego jest generalny brak zależności stężeń radonu w wodach poszczególnych ujęć od

ich właściwości fizyko-chemicznych, podczas gdy takie zależności są obserwowane w wodach należących do drugiego schematu rozpuszczania się radonu.

Transport radonu w wodach podziemnych jest uzależniony od prędkości ruchu medium – wody. Proces dyfuzji odgrywa jedynie podrzędną rolę, stanowiąc podstawowy mechanizm transportu atomów radonu z nanopor do wód wolnych. Wraz z wodą podziemną atomy radonu przenoszone są do ujęcia lub źródła w czasie nie dłuższym niż 38,2 doby od momentu swojego powstania. W tym czasie przebywają odległości rzędu od kilku do kilkudziesięciu metrów, jedynie w sporadycznych przypadkach ponad 100, a nawet 200 metrów.

Najwyższe stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych Sudetów, przekraczające  $2\,000\text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ , są charakterystyczne przede wszystkim dla niskozmineralizowanych wód płytkiego krążenia i współczesnej infiltracji – o krótkim czasie podziemnego przepływu (do kilkunastu lat). Najniższe stężenia tego gazu, wynoszące od około 1 do kilkunastu – kilkudziesięciu  $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ , zanotowano w wysokozmineralizowanych szczawach głębokiego krążenia.

Zmiany stężeń  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych Sudetów wahają się w czasie najczęściej w granicach  $\pm 25 - \pm 75\%$  od wartości średniej arytmetycznej w danym ujęciu lub źródle. Odchylenia te rzadko są wyższe od 100%, a sporadycznie dochodzą do  $\pm 200\%$  od wartości średniej. Najwyższe wahania notowane są w wodach, do których radon dostarczany jest wraz z jedną ze składowych ujmowanej lub wypływającej mieszaniny (np. w szczawach). Wówczas zmiany procentowego udziału składowej wzbogaconej w radon w mieszaninie decydują o zmianach stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wypływającej lub ujmowanej wodzie podziemnej.

Na podstawie wyników przeprowadzonych przez autora badań można także oszacować ilość radonu wynoszonego wraz z wodami podziemnymi Sudetów do atmosfery. Jest to około  $1,41\cdot 10^{12}$  Bq na dobę, tj. około  $5,24\cdot 10^{14}$  Bq na rok, co odpowiada uwolnieniu do atmosfery niespełna  $10\text{ cm}^3$   $^{222}\text{Rn}$  w ciągu roku i stanowi około 0,003% szacowanej całkowitej ilości  $^{222}\text{Rn}$  dostarczanego przez wody podziemne Ziemi do atmosfery.

Z przeprowadzonych pilotażowych badań wynika, że występujący naturalnie w środowisku wód podziemnych  $^{222}\text{Rn}$  można wykorzystać jako znacznik przy kartowaniu stref dopływu wód podziemnych do wód powierzchniowych. Może on stanowić także narzędzie pomocnicze przy jakościowej ocenie głębokości krążenia i mieszania się różnych składowych wód podziemnych, a także przy kartowaniu granic litologicznych.

## POMIAR STĘŻENIA RADONU W WODZIE ZA POMOCĄ KOMORY LUCASA

Bronisław MACHAJ, Jakub BARTAK

*Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa*

*e-mail: [bmachaj@ichtj.waw.pl](mailto:bmachaj@ichtj.waw.pl)*

### STRESZCZENIE

Wypłukiwanie radonu z próbki wody do powietrza o mniejszej objętości powietrza niż próbka wody, w zamkniętej pętli, i pomiar stężenia radonu w powietrzu, pozwala na uzyskanie znacznej czułości pomiaru. Wynika to z prostej zależności opisującej stężenie wypłukanego radonu w powietrzu będącego w stanie równowagi ze stężeniem radonu w wodzie. Podano podstawowe zależności oraz przeprowadzono badania modelu takiego miernika. Z próbki wody  $0.75 \text{ dm}^3$  wypłukiwano radon do próbki powietrza o objętości ok.  $0.5 \text{ dm}^3$ , łącznie z objętością komory Lucasa, do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy radonem w wodzie i w powietrzu, w czasie 5 min strumieniem powietrza  $0.4 \text{ dm}^3/\text{min}$ , i dokonywano pomiaru stężenia radonu w powietrzu. Dla czasu pomiaru 10 min, poczynając od momentu rozpoczęcia wypłukiwania radonu z wody, czułość pomiaru wyniosła  $8.5 \text{ (imp/min)/(Bq/dm}^3\text{)}$ . Wielkość współczynnika rozpuszczalności radonu w wodzie zależy od temperatury wody, stąd konieczność pomiaru temperatury wody.

---

## **BADANIA STĘŻEŃ RADONU W OKOLICACH LUBLINA. DOŚWIADCZENIA ZAKŁADU RADIOCHEMII W TEJ DZIEDZINIE**

Andrzej KOMOSA

*Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Centrum Ochrony Środowiska,  
Zakład Radiochemii i Chemii Koloidów, pl. M. C. Skłodowskiej 3, 20-031 Lublin,*

*e-mail: [akomosa@hermes.umc.lublin.pl](mailto:akomosa@hermes.umc.lublin.pl)*

### **STRESZCZENIE**

Zakład Radiochemii i Chemii Koloidów prowadzi szeroką działalność naukowo-badawczą w dziedzinie radioekologii, badania występowania radioizotopów w środowisku i ich migracji, a także badań fizykochemicznych dotyczące pierwiastków śladowych. Działalność ta rozpoczęła się i dość szybko rozwinęła na początku lat 90. ubiegłego stulecia, co miało związek z badaniem skażeń po katastrofie Czarnobylskiej. W chwili obecnej Zakład dysponuje odpowiednią bazą aparaturową: dwoma spektrometrami promieniowania gamma (z detektorami HPGe), dwoma spektrometrami promieniowania alfa (detektory PIPS), a także spektrometrem z ciekłym scyntylatorem (Quantulus). Jednym z zadań badawczych realizowanych w Zakładzie są badania nad występowaniem radonu na obszarze Lubelszczyzny. Badania te były prowadzone początkowo we współpracy z Instytutem Józefa Stefana w Lublanie, który w tym czasie miał już wieloletnie doświadczenia i odpowiednią aparaturę. Pierwsze badania wykonano przy użyciu komór Lucasa badając stężenia radonu w 55 przedszkolach na terenie Lublina [1].

W późniejszych latach prowadzono badania stężeń radonu w piwnicach, jak również w podziemnych trasach turystycznych kilku miast Lubelszczyzny, aby ocenić ewentualne zagrożenia radonowe dla turystów i mieszkańców [2]. Badania te wykonano przy użyciu pasywnych detektorów z węglem aktywowanym (PicoRad), a także przy pomocy alfa spektrometrycznego miernika stężeń produktów rozpadu radonu firmy Silena, umożliwiającego pomiar chwilowego stężenia radonu i toronu w powietrzu (a właściwie ich produktów rozpadu).

Dalsze badania dotyczyły określenia stężeń radonu w podziemnej części kopalni węgla kamiennego Bogdanka, a także ekshalacji radonu ze składowiska odpadów kopalnianych. Te

ostatnie badania wykonano we współpracy z Laboratorium Radiometrii Głównego Urzędu Górnictwa [3].

Przeprowadzone z Zakładzie badania wykazały, że zagrożenie radonowe na terenach Lubelszczyzny jest niewielkie. Wiąże się to z dużą miąższością pokładów lessowych o małym stężeniu  $^{226}\text{Ra}$ . W niewielu przypadkach uzyskano dość wysokie wartości stężenia radonu w miejscach, gdzie nie może to stanowić zagrożenia dla ludzi. Również łupek, stanowiący skałę płonną w kopalni Bogdanka charakteryzuje się małą zawartością radu, co determinuje niskie wartości szybkości ekshalacji oraz niskie stężenia radonu w podziemnych częściach kopalni. W przypadku kopalni i podziemnych tras turystycznych równorzędne znaczenie ma wymuszony przez wentylację ruch powietrza, powodujący rozcieńczenie gazu. W tabeli 1 przedstawiono rezultaty wykonanych badań nad występowaniem radonu.

Tabela 1. Stężenia radonu na terenie Lubelszczyzny [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ]

Miejsce pomiarów	Minimum	Maksimum	Średnia geometryczna
Przedszkola Lublina	12	128	23
Mieszkania Lublina	12	75	26
TP Lublin*	0,2	175	19
Piwnice Zamość	0,3	608	6
TP Chełm*	2,5	622	34
TP Sandomierz*	15	77	36
Kopalnia Bogdanka	5	65	15

\* - turystyczna trasa podziemna

Literatura:

1. J.Vaupotič, M.Szymula, J.Solecki, S.Chibowski, I.Kobal;. Health Phys. 64(1993)420.
2. St. Chibowski, A. Komosa. J. Radioanal. Nucl. Chem. 247 (2001) 53.
3. A. Komosa, St. Chibowski, M. Klimek, St. Chałupnik. Proceedings NORM IV Conference, Szczyrk 2004, Central Mining Institute, 423.

---

## **BADANIE WŁASNOŚCI ADSORPCYJNYCH WĘGLI AKTYWNYCH POD KĄTEM ZASTOSOWANIA ICH W SYSTEMIE POMIAROWYM „PicoRad”**

Olga STAWARZ, Kalina MAMONT-CIEŚLA

*Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa*

*e-mail: [kalinam@clor.waw.pl](mailto:kalinam@clor.waw.pl), [stawarz@clor.waw.pl](mailto:stawarz@clor.waw.pl)*

### **STRESZCZENIE**

Powszechnie stosowanymi detektorami używanymi w Polsce i na świecie do kilkudniowych pomiarów przesiewowych stężenia radonu w pomieszczeniach są kolektory z węglem aktywnym. Stosuje się dwie metody pomiaru zaadsorbowanego radonu: albo przez pomiar promieniowania gamma emitowanego przez krótkożyciowe produkty rozpadu radonu albo przez zliczanie cząstek alfa i beta emitowanych przez te pochodne w liczniku ciekło-scyntylicyjnym po uprzednim nalaniu do detektora węglowego radonolubnego scyntyлятора, którego pary desorbują radon z węgla aktywnego. Ta druga metoda zastosowana jest w systemie znanym pod nazwą „PicoRad” od nazwy programu komputerowego, który po wprowadzeniu danych na temat terminu ekspozycji, terminu zalania ciekłym scyntylatorem, częstości zliczeń cząstek alfa i beta oraz temperatury powietrza podczas ekspozycji dokonuje konwersji zmierzonej częstości zliczeń na stężenie radonu w powietrzu, w którym odbyła się ekspozycja. Należy podkreślić, że mimo, że węgiel w kolektorach radonowych zmieszany jest z silikazalem, obserwuje się silną zależność wyników od wilgotności względnej dla czasów ekspozycji większych niż ok. 24 godziny.

W Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej od wielu lat używa się systemu PicoRad wykorzystującego licznik ciekło-scyntylicyjny Tri-Carb model 1900TR firmy Packard-Canberra i oryginalne detektory w postaci cylindrów, o rozmiarach dostosowanych do rozmiarów studzienki w układzie detektora scyntylicyjnego tego licznika, zawierających pojemniczki z węglem aktywnym i silikazalem. Ponieważ jednak oryginalne detektory są bardzo kosztowne, podjęto próbę znalezienia węgla o takiej samej efektywności adsorpcji radonu jak firmowy w celu zastąpienia nimi zużytego węgla w używanych naczyniach firmowych.

W tym celu w dużej CLOR-owskiej komorze kalibracyjnej wykonano serię pomiarów porównawczych. Ekspozowano równocześnie detektory oryginalne oraz detektory przygotowane w naszym laboratorium używając firmowych pojemników wypełnionych badanymi węglami zmieszany z silikażelem. Przetestowano sześć różnego rodzaju węgla, w tym jeden pochodzący z Hajnówki (udostępniony przez IFJ PAN). Spośród sześciu testowanych węgla, dwa wykazują taką samą zdolność adsorpcji radonu jak węgiel zastosowany w detektorach firmowych a pozostałe - znacznie mniejszą. Wykonano następnie serię pomiarów porównawczych dla detektorów z wybranymi dwu rodzajami węgla i dla oryginalnych detektorów stosując cztery czasy ekspozycji: 24, 48, 72, 96 godz. i te same warunki klimatyczne: temperaturę 23-24°C i wilgotność względną 37-40% a następnie powtórzono tę serię pomiarów w temperaturze 10°C nie zmieniając wilgotności względnej (ok.40%). Ponieważ stężenie radonu w komorze monitorowane było przyrządem referencyjnym AlphaGUARD™, można było sprawdzić, czy poprawka temperaturowa zastosowana w programie PicoRad jest właściwa.

W pomiarach porównawczych stosowano po pięć detektorów z badanymi węglami i trzy oryginalne czyli łącznie 13 detektorów. Oszacowano, że odpowiadająca im masa węgla ok. 16g zaburzyła stężenie radonu w komorze w sposób zanedbywalny, opisany współczynnikiem ok. 0,994.

## STANOWISKO DO KALIBRACJI RADONOWYCH DETEKTORÓW ŚLADOWYCH W POLITECHNICE WROCŁAWSKIEJ

Adam ŻEBROWSKI<sup>1</sup>, Tadeusz A. PRZYLIBSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Wrocławska, Instytut Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków  
Rzadkich, ul. Smoluchowskiego 23, 50-372 Wrocław,  
e-mail: [Adam.Zebrowski@pwr.wroc.pl](mailto:Adam.Zebrowski@pwr.wroc.pl)

<sup>2</sup>Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut  
Górnictwa, Zakład Geologii i Wód Mineralnych, Plac Teatralny 2, 50-051 Wrocław

### STRESZCZENIE

W związku z prowadzonymi od kilku lat badaniami stężeń radonu w różnych środowiskach przez pracowników Politechniki Wrocławskiej przy zastosowaniu detektorów śladowych (SSNTD) pojawiła się konieczność utworzenia stanowiska do ich kalibracji. Zdecydowano się na wykorzystywanie detektorów śladowych firmy Tastrack, odpowiedników „klisz” CR-39. Dostępne stanowisko umożliwia także kalibrację innych detektorów śladowych, np. LR-115. Składa się ono z komory radonowej o objętości 0,0506 m<sup>3</sup> oraz źródła radonu (<sup>226</sup>Ra) o aktywności 500 Bq. Czas zbierania radonu w źródle wynosi standardowo 28 dni, a czas ekspozycji detektorów – 4 dni. Daje to następujące warunki kalibracji:

- stężenie kalibracyjne:  $c_k = 4\,907 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ;
- współczynnik kalibracji  $E_k = 4,71 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Powyższe warunki odpowiadają ekspozycji detektorów w czasie 90 dni, w stężeniu radonu wynoszącym około 200 Bq·m<sup>-3</sup>. Parametry te zostały dobrane z myślą o ekspozycji detektorów w pomieszczeniach mieszkalnych.

W czasie kalibracji ekspozycję detektorów śladowych przeprowadzono dla czterech stężeń radonu:

- I: 4907 Bq·m<sup>-3</sup>;
- II: 9814 Bq·m<sup>-3</sup>;
- III: 14721 Bq·m<sup>-3</sup>;
- IV: 19628 Bq·m<sup>-3</sup>.

Stężenie radonu w czasie kalibracji kontrolowano przy użyciu komory jonizacyjnej przyrządu AlphaGUARD™ produkcji niemieckiej firmy Genitron Instruments GmbH, podłączonej w obiegu zamkniętym do komory kalibracyjnej.

Po wytrawieniu detektorów (6,25 M NaOH,  $T = 348 \pm 0,5K$ ,  $t = 6$  godz.), zliczano ślady (defekty powstałe pod wpływem uderzenia cząstek  $\alpha$  w powierzchnię detektora) przy użyciu mikroskopu NIKON Eclipse E-400 z komputerowo sterowanym automatycznym stolikiem i cyfrową kamerą video, z której obraz analizowano za pomocą oprogramowania LUCIA (ver. 4.61, Laboratory Imaging, Czechy).

W wyżej opisanych stężeniach  $^{222}\text{Rn}$  eksponowano po trzy detektory, natomiast zliczeń śladów dokonano z trzech losowo wybranych powierzchni o wymiarach  $49 \text{ mm}^2$  każda. Uzyskane wyniki ekspozycji w postaci liczby śladów dla poszczególnych detektorów poddano obróbce statystycznej, a jej efekty przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki zliczeń liczby śladów dla poszczególnych detektorów.

Ekspozycja	Liczba śladów		
	Wartość „teoretyczna” <sup>1)</sup>	Średnia wartość rzeczywista	Odchylenie standardowe
I	1716	1716	188
II	3432 (2 x 1716)	3468	780
III	5148 (3 x 1716)	5369	781
IV	6864 (4 x 1716)	6592	549

<sup>1)</sup> dla ekspozycji I równa średniej wartości rzeczywistej dla ekspozycji I, dla ekspozycji II – IV – jej wielokrotność obliczona z zależności liniowej.

W pracy obliczono i zobrazowano na wykresach zależności liczby śladów na jednostkę powierzchni detektora od uzyskanych stężeń radonu.

Przygotowane i testowane stanowisko kalibracyjne umożliwia kalibrację detektorów śladowych przede wszystkim do ekspozycji w atmosferze budynków mieszkalnych. Wyniki ekspozycji w wyższych stężeniach pozwalają również na obliczanie stężenia radonu w innych „mediach”, m. in. w powietrzu glebowym. Jednocześnie możliwe jest automatyczne zliczanie śladów i przeliczanie ich gęstości powierzchniowej na stężenie  $^{222}\text{Rn}$  w miejscu ekspozycji. Ze względu na wykorzystanie komory kalibracyjnej o niewielkiej objętości nie jest możliwa kalibracja detektorów adsorbujących radon, m.in. „detektorów węglowych” (np. PicoRad™).

## METODA POMIARU TORONU Z WYKORZYSTANIEM DWÓCH KOMÓR JONIZACYJNYCH AlphaGUARD™

Elżbieta KOCHOWSKA, Krzysztof KOZAK, Jadwiga MAZUR

*Institut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk  
Laboratorium Naturalnej Promieniotwórczości; ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków  
e-mail: [Elzbieta.Kochowska@ifj.edu.pl](mailto:Elzbieta.Kochowska@ifj.edu.pl)*

Beata KOZŁOWSKA

*Uniwersytet Śląski, Instytut Fizyki, ul. Uniwersytecka 4, 40-007 Katowice  
[bkozlows@us.edu.pl](mailto:bkozlows@us.edu.pl)*

### STRESZCZENIE

Bardzo często w pomiarach dawek od naturalnych izotopów promieniotwórczych zaniedbuje się obecność toronu ( $^{220}\text{Rn}$ ) uwzględniając jedynie dawkę pochodzącą od radonu ( $^{222}\text{Rn}$ ). Przyczyną tego jest krótki czas połowicznego zaniku oraz długość dyfuzji toronu. Jednakże na obszarach o wysokim stężeniu toronu jego wpływ na dawkę sumaryczną może być znaczący.

Do pomiaru stężenia toronu stosuje się najczęściej metody pasywne. W Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej IFJ PAN zastosowano aktywną metodę określania stężenia tego izotopu. W metodzie tej używane są dwie komory jonizacyjne AlphaGUARD™ PQ 2000 (Genitron GmbH), które pracują w dwóch różnych trybach – jeden w trybie dyfuzyjnym, a drugi w trybie przepływowym. Odczyt wartości wskazywanych przez oba urządzenia pozwala na określenie stężenia toronu.

We współpracy z Uniwersytetem Śląskim zostały przeprowadzone pomiary testowe. W pomiarach tych wykorzystano kalibracyjną komorę radonową o objętości  $600\text{ dm}^3$  (LPN IFJ PAN) i źródło toronu (PYLON). W komorze radonowej wytworzono kilka różnych stężeń toronu i mieszaniny toronu z radonem. Stężenie toronu i radonu było mierzone w sposób ciągły przy użyciu profesjonalnego miernika radonu RAD7 (Durridge). RAD7 jest wysokiej klasy urządzeniem dokonującym analizy spektralnej alfa emiterów. Wysoka precyzja w identyfikacji energii izotopów umożliwia dokładne rozróżnienie pomiędzy pochodnymi radonu i toronu. Na tej podstawie dokonano kalibracji komór jonizacyjnych AlphaGUARD™ pod kątem pomiarów stężeń toronu.

Pomiary testowe pokazały, że metoda ta może być wykorzystana do określania stężenia toronu w budynkach przy odpowiednim uwzględnieniu takich warunków jak: położenia, odległość od ścian, odległość od podłogi itd.

## POMIARY EKSTREMALNIE NISKICH AKTYWNOŚCI RADONU (Rn-222) W GAZACH

Marcin WÓJCIK

*Instytut Fizyki UJ, ul. Reymonta 4, 30-059 Kraków*

*e-mail: [ufwojcik@if.uj.edu.pl](mailto:ufwojcik@if.uj.edu.pl)*

### STRESZCZENIE

Omówione będą, stosowane przez nas, sposoby pomiaru niezwykle niskich stężeń Rn-222 (Rn) w azocie gazowym, używanym między innymi w ultra-niskotłowych eksperymentach astrofizycznych. Zastosowany został tu kriogeniczny detektor nowego typu, bazujący na zjawisku adsorpcji radonu w niskich temperaturach, oraz miniaturowe liczniki proporcjonalne używane wcześniej w eksperymencie Gallex/GNO. Przedstawione zostaną wyniki badania zawartości Rn w azocie przechowywanym jako sprężony gaz w stalowych butlach oraz odparowywanym z fazy ciekłej (tzw. boil-off). Śladowe ilości Ra-226 obecne na wewnętrznej powierzchni butli są źródłem Rn, którego stężenie w gazie waha się od  $0.1 \text{ mBq/m}^3$  do  $0.5 \text{ mBq/m}^3$  (STP). Również gaz otrzymywany bezpośrednio z fazy ciekłej nie jest wolny od Rn. W procesie skraplania przechodzi do niej część radonu atmosferycznego z powietrza. Także w czasie przechowywania w dewarze, atmosferyczny Rn może być absorbowany przez ciekły azot, jeżeli nie przedsięwzięto odpowiednich środków. Typowe stężenia Rn obserwowane przez nas w gazie otrzymywanym z ciekłego azotu przechowywanego w hermetycznym (dla Rn) dewarze wynosiły ok.  $0.5 \text{ mBq/m}^3$ . Skonstruowane przez nas urządzenie, którego budowa zostanie szczegółowo omówiona, pozwala otrzymywać gazowy azot o zawartości Rn na poziomie  $12 \text{ } \mu\text{Bq/m}^3$ .

**POMIARY RADONU W SERBII 2004 – 2005,  
WSPÓLPRACA Z ECE Lab. VINCA INSTITUTE**

Krzysztof KOZAK

*Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk  
Laboratorium Naturalnej Promieniotwórczości, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków*

*e-mail: [Krzysztof.Kozak@ifj.edu.pl](mailto:Krzysztof.Kozak@ifj.edu.pl)*

**STRESZCZENIE**

W latach 2004 –2005 zespół Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej (Zakład Fizyki Środowiska i Transportu Promieniowania) Instytutu Fizyki Jądrowej PAN prowadził badania naturalnej promieniotwórczości na terenie południowej Serbii. Prace te są wynikiem współpracy naukowej z Vinca Institute of Nuclear Sciences w Belgradzie i Jozef Stefan Institute w Ljubljanie (Słowenia). Koordynatorem prac jest dr Zora S. Zunic kierująca ECE Lab w Vinca Institute.

Badania obejmowały pomiary stężeń radonu i toronu w powietrzu, glebie, wodzie i budynkach na terenie uzdrowiska Niska Banja, gdzie w poprzednich latach na podstawie prac prowadzonych przez ECE Lab. stwierdzono występowanie wysokich stężeń radonu w domach. W czasie trzech wyjazdów przeprowadzono też pomiary stężeń izotopów gamma promieniotwórczych w pobranych próbkach gleby oraz pomiary mocy dawki promieniowania gamma. Wyniki pomiarów potwierdziły istnienie bardzo wysokich stężeń radonu w glebie (w kilku punktach powyżej zakresu pomiarowego referencyjnego miernika radonu AlphaGUARD™ wynoszącego 2 MBq/m<sup>3</sup>) oraz bardzo wysokich stężeń w budynkach (do kilkudziesięciu tysięcy bekereli w metrze sześciennym) i ekshalacji radonu z gleby (do 1,5 Bq/m<sup>2</sup>·s).

Prace badawcze na tym terenie będą kontynuowane w kierunku ustalenia genezy takich wysokich poziomów naturalnej promieniotwórczości.

## BUDOWA GEOLOGICZNA SUDETÓW JAKO PRZYCZYNA WYSTĘPOWANIA WZMOŻONEJ EMISJI RADONU DO ATMOSFERY

Tadeusz Andrzej PRZYLIBSKI

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa  
Zakład Geologii i Wód Mineralnych, Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 Wrocław;*

*e-mail: [Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl](mailto:Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl)*

### STRESZCZENIE

Na podstawie dotychczasowej znajomości geochemii radonu możliwe jest wytypowanie obszarów, w których można się spodziewać wzmożonej emisji radonu do atmosfery. Obszar taki charakteryzuje się zwykle następującymi cechami:

- ∅ występowaniem skał o podwyższonych koncentracjach uranu, a zwłaszcza radu, tj. skał bogatych w alkalia i zazwyczaj także w krzemionkę – magmowych skał kwaśnych oraz żyłowych skał pomagmowych, jak również skał metamorficznych będących efektem przeobrażenia wyżej wymienionych skał magmowych oraz skał osadowych opisanych poniżej; skałami zawierającymi podwyższone ilości uranu i radu są skały osadowe facji beztlenowych oraz skały tworzące się w środowiskach depozycji materii organicznej, jak również będące efektem wietrzenia i erozji skał magmowych i metamorficznych opisanych powyżej;
- ∅ występowaniem uranu w koncentracjach złożowych na głębokościach nie przekraczających 100 – 200 m p.p.t.,
- ∅ występowaniem warunków sprzyjających transportowi radonu, tj.:
  - znacznej ilości spękań, stref dyslokacyjnych i innych deformacji tektonicznych, zwłaszcza kruchych, stanowiących drogi migracji ku powierzchni,
  - obecności innych fluidów ułatwiających przenoszenie radonu, szczególnie wód podziemnych i dwutlenku węgla,
  - aktywnych stref sejsmicznych, wulkanicznych i pól geotermalnych.

W Polsce obszarem najlepiej spełniającym wyżej wymienione kryteria jest Dolny Śląsk, szczególnie zaś jego część górską – Sudety, a w mniejszym stopniu także blok przedsudecki.

Budowa geologiczna Sudetów i bloku przedsudeckiego jest podobna, ponieważ była kształtowana wspólnie przez procesy zachodzące od późnego prekambriu aż do kenozoiku. Dopiero w okresie tektonicznych ruchów alpejskich tzw. sudecki uskok brzeżny rozdzielił te dwie jednostki morfologiczne, powodując wyniesienie Sudetów oraz względne obniżenie bloku przedsudeckiego. Ruchy te doprowadziły jednocześnie do powstania oraz odnowienia wielu uskoków dzielących Sudety na bloki. W wyniku ruchów tektonicznych na sudeckim

uskoku brzeżnym skały przed-kenozoiczne bloku przedsudeckiego przykryte są przez osady neogenu i paleogenu, podczas gdy w Sudetach utwory te leżą nadal na powierzchni lub pod niewielkiej miąższości pokrywą zwietrzelinową. Budowę geologiczną Sudetów zachodnich można określić jako mozaikową, złożoną z wielu różniących się jednostek tektonicznych ograniczonych dyslokacjami. W związku z różnego rodzaju procesami wpływającymi na rozwój budowy geologicznej Sudetów i bloku przedsudeckiego, w chwili obecnej na niewielkiej przestrzeni występuje wiele rodzajów skał magmowych, metamorficznych i osadowych o znacznym zróżnicowaniu składu mineralnego i chemicznego.

Analiza rozkładu mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Polski wykazuje, że najwyższe jej wartości notowane są na południu kraju, a zwłaszcza w Sudetach. Za taką sytuację odpowiedzialne jest rozmieszczenie naturalnych izotopów promieniotwórczych w glebach, w tym  $^{226}\text{Ra}$ , który ma największe znaczenie dla geochemii radonu. Jego rozprzestrzenienie w glebie jest silnie skorelowane z rozkładem mocy dawki promieniowania gamma. Analiza rozkładu stężenia  $^{226}\text{Ra}$  w glebie na obszarze Polski wykazuje, że gleby Sudetów charakteryzują się najwyższymi zawartościami tego nuklidu. Jest to oczywiste w świetle istnienia udokumentowanych złożowych koncentracji uranu na tym obszarze.

W Sudetach w związku ze skomplikowaną i mozaikową budową geologiczną, jak również długim okresem tworzenia, niszczenia i przeobrażania skał, kilkakrotnie i w wielu rejonach istniały warunki sprzyjające powstawaniu złożowych koncentracji uranu, jak również mniejszych stref okruszczonych minerałami uranowymi lub zawierającymi uran. Na obszarze Sudetów stwierdzono występowanie 5 złóż uranu średniej wielkości (w Kowarach – Podgórze, Wolność, Budniki i Wołowa Góra oraz w Kletnie – Kopaliny), a także kilku małych złóż i kilkuset punktów występowania mineralizacji uranowej oraz bardzo licznych anomalii promieniowania gamma. Wśród złóż oraz punktów mineralizacji uranowej Sudetów można wyróżnić dwa zasadnicze ich typy genetyczne: hydrotermalny i osadowy. Występują one niemal we wszystkich sudeckich jednostkach tektonicznych wyższego rzędu.

W wielu rejonach Sudetów znajdują się wypływy oraz ujęcia wód podziemnych zawierających podwyższone stężenia uranu, radu i radonu. Wiele z tych wód, to wody termalne oraz szczawy – wody zawierające ponad  $1\ 000\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  rozpuszczonego  $\text{CO}_2$ . W kilku rejonach spotykane są także suche ekshalacje dwutlenku węgla.

**TŁO HYDROGEOCHEMICZNE RADONU W WODACH  
PODZIEMNYCH NA PRZYKŁADZIE INTRUZJI GRANITOIDOWEJ  
KŁODZKO-ZŁOTOSTOCKIEJ  
I METAMORFIKU ŁĄDKA-ŚNIEŻNIKA**

Anna ADAMCZYK-LORENC

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,  
Zakład Geologii i Wód Mineralnych; Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 Wrocław*

*e-mail: [anna.adamczyk@pwr.wroc.pl](mailto:anna.adamczyk@pwr.wroc.pl)*

**STRESZCZENIE**

Pojęcie tła i anomalii hydrogeochemicznych jest dobrze znane i dość powszechnie stosowane w hydrogeologii i w hydrogeochemii. Tło hydrogeochemiczne opisuje zakres charakterystycznych wartości danego wskaźnika w jednostce hydrogeologicznej. W artykule przedstawiono wyniki badań stężeń radonu w wodzie podziemnej masywu granitoidowego kłodzko-złotostockiego oraz masywu metamorficznego Łądko-Śnieżnika. Na podstawie uzyskanych danych wyznaczono tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych dwóch jednostek geologicznych Ziemi Kłodzkiej. Tło hydrogeochemiczne radonu zostało określone za pomocą kilku metod analitycznych (statystycznych). Możliwość graficznej prezentacji wyników znacznie ułatwia wyznaczenie tła oraz anomalii hydrogeochemicznych. W pracy użyto do tego celu histogramu, wykresu prawdopodobieństwa oraz wykresu skrzynkowego. Porównanie wartości tła uzyskanych różnymi metodami pozwala wybrać tę, która zdaniem badacza jest odpowiednia i w najbardziej wiarygodny sposób prezentuje wartości charakterystyczne.

Wartości tła hydrogeochemicznego radonu w wodach podziemnych intruzji granitoidowej Kłodzko-Złotostockiej i metamorfitów Łądko-Śnieżnika uzyskane za pomocą różnych metod obliczeniowych znacznie się różnią. Użyte metody nie dają bezpośrednio odpowiedzi na pytanie jaki jest zakres tła hydrogeochemicznego. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych intruzji granitoidowej kłodzko- złotostockiej i metamorfiku Łądko- Śnieżnika wyznaczone różnymi metodami.

Metoda wyznaczenia wartości tła hydrogeochemicznego	Tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych [Bq/dm <sup>3</sup> ]	
	Intruzja granitoidowa kłodzko - złotostocka	Metamorfik Łądko - Śnieżnika
Histogram	0 – 120	0 – 1400
Wykres prawdopodobieństwa	14 – 140 27 – 213	103– 1391
Skrzynka z wąsami (kwartyle)	14,2 – 119,4	73,7 – 625,6
Percentyle (16%, 84%)	7,8 – 166,5	33,5 – 778,0
X±1,96δ	0 – 727,1	0 – 1494,7
X±2δ	0 – 739,4	0 – 1515,9
X±3δ	0 – 1046,8	0 – 2047,9
M±1,96δ	0 – 352,8	0 – 811,9
M±2δ	0 – 660,2	0 – 1343,8
M±3δ	0 – 967,5	0 – 1875,7

## WPŁYW POROWATOŚCI NA EKSHALACJĘ RADONU Z BETONÓW LEKKICH KRUSZYWOWYCH

Jan Antoni RUBIN

*Politechnika Śląska w Gliwicach*

*e-mail: jan.rubin@polsl.pl*

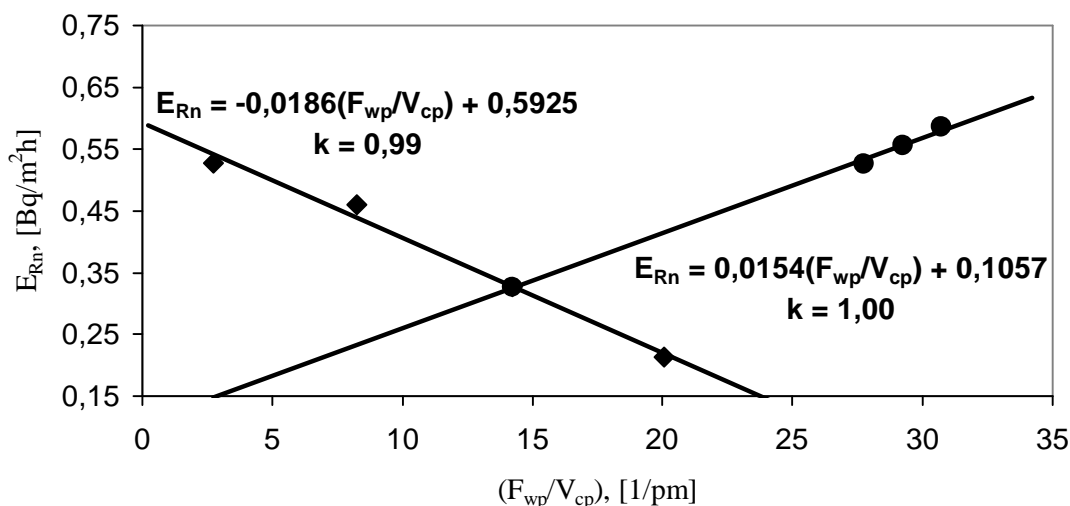
### STRESZCZENIE

W procesie kształtowania w/w betonów wykorzystano cementy CEM I 32,5R , CEM II/A-S 32,5R i CEM II/B-S 32,5R oraz CEM III/A 32,5. Stos okruszowy skomponowano z elporytu (70% - fr. 0÷2 mm) oraz łupka hałdowego (20% - fr. 2÷4 mm i 10% - fr. 4÷8 mm). Wielkości ekshalacji radonu z próbek betonowych wyznaczono z zależności:

$$E_{Rn} = \frac{S_{Rn} \cdot V_k \cdot I_{Rn}}{F_{pr} \cdot (1 - e^{-\lambda_{Rn} \cdot t})}$$

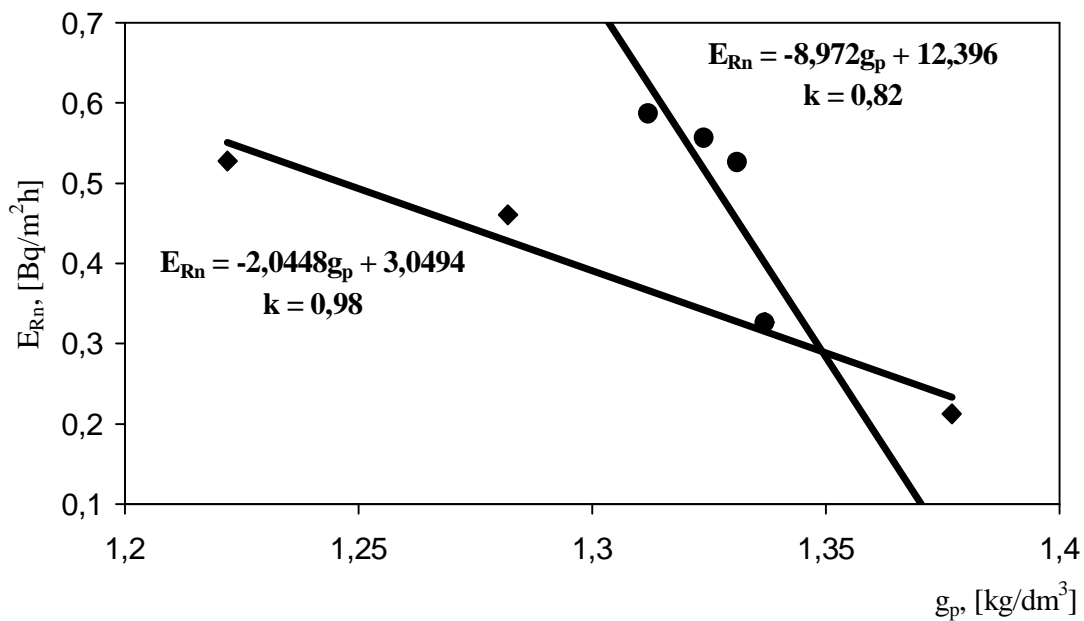
gdzie:  $E_{Rn}$  – ekshalacja radonu z próbki, [Bq/m<sup>2</sup>h];  $S_{Rn}$  – stężenie Rn, [Bq/m<sup>3</sup>];  $V_k$  – objętość komory pomiarowej, [m<sup>3</sup>];  $\lambda_{Rn}$  – stała rozpadu Rn-222 = 7,56×10<sup>-3</sup>, [1/h];  $F_{pr}$  – powierzchnia całkowita próbki, [m<sup>2</sup>];  $t$  – czas ekspozycji próbki w komorze pomiarowej, [h].

Wykazano, iż spośród parametrów charakteryzujących porowatość betonów lekkich, wartość liczbowa stosunku powierzchni właściwej porów ( $F_{wp}$ ) do objętości całkowitej porów ( $V_{cp}$ ) wykazuje największą korelację z efektywnością ekshalacji radonu ( $E_{Rn}$ ) – rys. № 1.

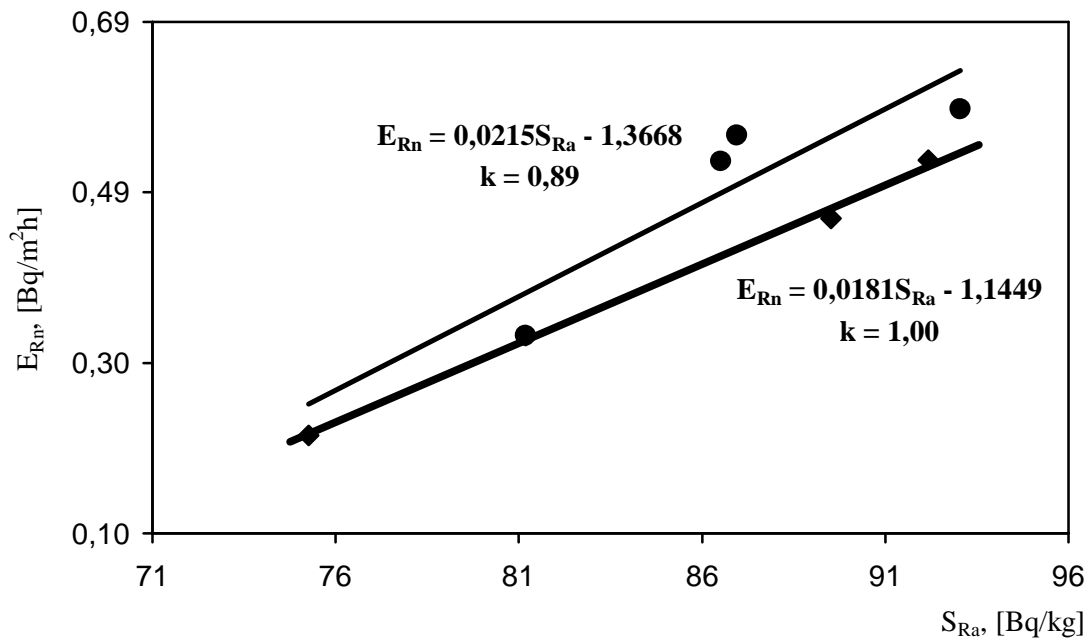


Rys.1. Zależność pomiędzy porowatością betonów, a wielkością ekshalacji radonu.

Analiza przeprowadzona metodą regresji liniowej wykazała także wysoką korelację pomiędzy efektywnością ekshalacji radonu, a gęstością pozorną przedmiotowych betonów (rys. № 2), jak również stężeniem radu zawartym w tychże betonach (rys. № 3).



Rys.2. Zależność efektywności ekshalacji radonu  $E_{Rn}$  od gęstości pozornej  $g_p$ .



Rys.3. Zależność efektywności ekshalacji radonu  $E_{Rn}$  od stężenia radu  $S_{Ra}$ .

**Legenda:** • – wartości dla betonów kształtowanych przy użyciu cementów ze zróżnicowaną zawartością granulowanego żużla wielkopieczowego (CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM III/A), ilość cementu równa constans; ♦ – wartości dla betonów kształtowanych przy użyciu zróżnicowanej ilości cementu portlandzkiego CEM I.

---

## MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WYBRANYCH METOD GEOFIZYCZNYCH W BADANIACH ZAGROŻENIA RADONOWEGO

M. WYSOCKA, A. KOTYRBA, S. CHAŁUPNIK

*Główny Instytut Górnictwa, 40-166 Katowice, Plac Gwarków 1  
e-mail: [brxmw@gig.katowice.pl](mailto:brxmw@gig.katowice.pl), [m.wysocka@gig.katowice.pl](mailto:m.wysocka@gig.katowice.pl)*

### STRESZCZENIE

Głównym źródłem radonu w budynkach w obszarze Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) są skały budujące podłoże (Wysocka, 2002). Poprzez szczeliny i pęknięcia w fundamentach, podłodze i ścianach radon przenika do wnętrza domów. Wyniki prowadzonych dotychczas badań pokazały, że poziom stężenia radonu zależy przede wszystkim od budowy geologicznej warstwy przystropowej. Istotnymi elementami wpływającymi na zdolność migracji radonu są przekształcenia w górotworze będące skutkami działalności górniczej. Realizując pracę wykonywano krótko i długoterminowe pomiary stężenia radonu w domach. Badano ponadto stężenia tego gazu w powietrzu glebowym i jego ekshalację. W pewnych przypadkach stwierdzano znaczne różnice potencjału radonowego w miejscach charakteryzujących się podobną budową geologiczną i porównywalnymi wpływami górnictwa. W celu wyjaśnienia przyczyn tych zmienności zastosowano wybrane badania geofizyczne. W artykule przedstawiono wyniki profilowań i sondowań elektrooporowych wykonanych w wybranych poligonach badawczych Górnego Śląska.

## **BADANIE ZALEŻNOŚCI OCENY NARAŻENIA RADONOWEGO W BUDYNKACH OD ROZKŁADU WIELKOŚCI CZĄSTEK ZWIĄZANYCH Z POCHODNYMI<sup>\*)</sup>**

Kalina MAMONT-CIEŚLA, Olga STAWARZ

*Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa*

*e-mail: [kalinam@clor.waw.pl](mailto:kalinam@clor.waw.pl), [stawarz@clor.waw.pl](mailto:stawarz@clor.waw.pl)*

### **STRESZCZENIE**

Stosuje się dwa podejścia do oszacowania radonowej dawki efektywnej od krótkożyciowych pochodnych radonu: rekomendowane przez ICRP 65 oparte na modelu epidemiologicznym i rekomendowane przez ICRP 66 oparte na dozymetrycznych modelach wchłaniania radionuklidów znajdujących się w powietrzu. Model epidemiologiczny stosuje dwa stałe współczynniki konwersji energii potencjalnej  $\alpha$  na dawkę: dla fizycznie pracujących  $1,425 \text{ mSv.J h/m}^3$  i dla populacji  $1,1 \text{ mSv.J h/m}^3$  oszacowane na podstawie badań epidemiologicznych górników uranowych. Modele dozymetryczne zakładają zależność współczynników konwersji od rozkładu średnic wdychanych aerozoli-nośników pochodnych radonu. Zastosowanie modeli dozymetrycznych wymaga znajomości oprócz energii potencjalnej  $\alpha$  również rozkładu średnic aerozoli. Ponieważ Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej jest w posiadaniu Spektrometru Średnic Pochodnych Radonu, podjęto pracę mającą na celu porównanie dawek oszacowanych na podstawie tych dwu modeli w domach w kilku rejonach Polski.

W przypadkowo wybranych pomieszczeniach i na otwartej przestrzeni, w czterech różnych rejonach Polski, wykonano pomiary następujących wielkości fizycznych:

- stężenia radonu za pomocą monitora AlphaGUARD™,
- stężenia energii potencjalnej  $\alpha$  krótkożyciowych pochodnych radonu oraz
- rozkładów średnic  $\alpha$ -aktywnych cząstek - nośników produktów rozpadu radonu w powietrzu - za pomocą spektrometru średnic pochodnych radonu RPPSS.

W sumie wykonano pomiary w 30 punktach pomiarowych w domach oraz w 4 na dworze.

Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono dawki efektywne od radonu dla osób pracujących fizycznie (Occ) i dla populacji (Env) w oparciu o dwa modele: epidemiologiczny oraz dozymetryczny. W poniższej tabeli zebrano zakresy zmierzonych w 30 punktach pomiarowych w domach i w 4 punktach na dworze : stężenie radonu, energii potencjalnej  $\alpha$  (PAEC), frakcji wolnej fp (cząsteczki o średnicy <10nm), współczynników równowagi F, rocznych dawek obliczonych wg modelu dozymetrycznego oraz stosunków dawek oszacowanych na podstawie modelu dozymetrycznego do dawek obliczonych przy użyciu modelu epidemiologicznego dla pracujących fizycznie  $k_O$  i dla populacji  $k_E$  :

	Stęż.Rn [Bq/m <sup>3</sup> ]	PAEC [nJ/m <sup>3</sup> ]	fp [%]	F [%]	Roczne dawki [mSv/y] wg modelu dozometr.		$k_O$	$k_E$
					Occ	Env		
<b>w domach</b>	23-1668	16-3805	0-48	9-64	0,4-70	0,2-37	0,8–2,2	0,6-1,5
<b>na dworze</b>	16-116	22-201	14-31	17-31	0,34-3,8	0,19-2,1	1,4-1,8	0,9-1,2

Porównano wyniki dla tych dwu modeli i przeanalizowano zależność rozbieżności między nimi od wartości tzw. frakcji wolnej tj. procentowego udziału cząstek/klastrów o najmniejszych średnicach: poniżej 10nm. Dawki dla populacji obliczane za pomocą modelu epidemiologicznego są niedoszacowane dla frakcji wolnej większej niż 17% a odpowiadające narażeniu zawodowemu (dla pracujących fizycznie) dla frakcji wolnej w całym zakresie wartości.

*\*)Praca sponsorowana przez KBN w ramach projektu badawczego nr 5 T07E 008 25*

## THE ANOMALIC CHANGES OF UNDERGROUND RADON AS EARTHQUAKE PRECURSOR

Hrachya PETROSYAN<sup>1</sup>, Hayk HOVHANNISYAN<sup>2</sup>

*Armenian National Survey for Seismic Protection (NSSP), 375054, Davidashen-4, Yerevan, Armenia,*

*Phone: (374-10) 282811, 361562; Fax: (374-10) 366280,*

*<sup>1</sup>Head of Unified Center for Seismic Hazard Assessment  
E-mail: [hrachikp@yahoo.com](mailto:hrachikp@yahoo.com) [petrosyan@nssp-gov.am](mailto:petrosyan@nssp-gov.am)*

*<sup>2</sup>First class specialist of the division of Geophysics  
E-mail: [hovhayk@nssp-gov.am](mailto:hovhayk@nssp-gov.am) [hovhayk@mail.ru](mailto:hovhayk@mail.ru)*

### ABSTRACT

Studies have been conducted concerning the data recorded in 2002-2003 in 23 stations of underground radon measuring network of Armenian National Survey for Seismic Protection (NSSP). While analyzing them and identifying the possible seismogenic anomalies the air temperature, atmospheric pressure and the annual process of radon exhalation have been taken into consideration. The radon precursors of the 2 earthquakes occurred in Turkey have been identified. Also the parameters and the characteristics of those seismogenic anomalies have been identified. Based on the Earthquake Testing Methodology offered by H. Petrosyan the *P* probability of seismic realization of radon precursors has been decided. Taking into account the positive or negative signs of radon anomalies the movement directions of compression and of earth's upper layer occurring along several active faults zones of Armenia have been evaluated.

The main results are as follows:

1. The degree of radon exhalation is in direct comparison to the measure of atmospheric temperature and in opposing comparison to the measure of atmospheric pressure and the amount of precipitation.
2. Six radon precursors prior to 27.01.2003 Erzinjan (M=6.1) earthquake and 4 radon precursors prior to 01.05.2003 Bingyol (M=6.4) earthquake have been recorded.
3. All the anomalies are short-term and clearly expressed. In a number of stations only positive or negative anomalies have been recorded.
4. The *P* probability of seismic realization of radon precursors is 40% in case of Erzinjan earthquake and 60% in case of Bingyol earthquake.
5. During the earthquakes preparation stage the expansion processes have probably occurred in the Yerevan active faults zone and compression processes in Pre-small Caucasus active faults zone.

## WODY RADONOWE POLSKI W ŚWIETLE BUDOWY GEOLOGICZNEJ KRAJU

Tadeusz Andrzej PRZYLIBSKI

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa;  
Zakład Geologii i Wód Mineralnych Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 WROCLAW*

*e-mail: [Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl](mailto:Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl)*

### STRESZCZENIE

Pod względem budowy geologicznej obszar Polski można podzielić na dwie zasadnicze części. Wzdłuż tzw. linii Teisseyre'a – Tornquist'a krystaliczne utwory prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej, znajdujące się pod pokrywą osadową, graniczą z utworami paleozoicznymi platformy zachodnioeuropejskiej, znajdującymi się również pod okrywą skał osadowych mezozoiku i kenozoiku. W części południowej Polski występują ponadto obszary fałdowań alpejskich (Karpaty i zapadlisko przedkarpackie) oraz leżące na powierzchni lub pod bardzo małą miąższością pokrywą osadów kenozoicznych kaledonidy i waryscydy wraz z waryscyjskimi zapadliskami orogenicznymi. Wśród tych ostatnich jednostek należy wyróżnić zapadlisko Śląsko-Krakowskie oraz Sudety, stanowiące NE część masywu czeskiego.

Występowania wód radonowych (w sensie górniczo-balneologicznym, tj. zawierających  $> 74 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$   $^{222}\text{Rn}$ , co odpowiada według klasyfikacji przyrodniczej części wód niskoradonowych oraz wodom radonowym, wysokoradonowym oraz ekstremalnie radonowym) należy spodziewać się w obszarach charakteryzujących się obecnością złożonych koncentracji uranu oraz w rejonach występowania skał o podwyższonych ( $> 30 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) zawartościach  $^{226}\text{Ra}$  i jednocześnie o wysokim ( $> 0,10$ ) współczynniku emanacji radonu. W takich obszarach wody radonowe są związane głównie ze strefami kruchych deformacji tektonicznych, a także z wystąpieniami skał dotkniętych w znacznym stopniu procesami wietrzenia, zwłaszcza fizycznego.

W skali Polski, jak wynika z danych odnośnie rozprzestrzenienia uranu w powierzchniowych warstwach litosfery – gleba, zwietrzelina, osady rzeczne – na terenie Europy, obszarów perspektywicznych pod względem występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych należy spodziewać się w strefach orogenów waryscyjskich, zwłaszcza w ich częściach budowanych przez postorogeniczne granity (tzw. gorące granity lub radiothermal

high heat production granites). W pełni potwierdza to występowanie wód radonowych i wysokoradonowych na obszarze Sudetów zachodnich, a jednocześnie pozwala na wytypowanie Sudetów wschodnich jako jednostki tektonicznej perspektywicznej pod względem występowania wód radonowych. Podobnie także i w waryscyjskich zapadliskach orogenicznych można się spodziewać występowania osadów zawierających podwyższone koncentracje uranu. Wówczas za obszar perspektywiczny należałoby uznać także zapadlisko Śląsko-Krakowskie. Przemawia za tym również udokumentowane występowanie wód radonowych w niecce Śródsudeckiej oraz udokumentowane wystąpienia mineralizacji uranowej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Nakładając na tak zarysowany ogólny obraz występowania uranu w powierzchniowych warstwach litosfery Polski wyniki krajowych badań geochemii uranu oraz  $^{226}\text{Ra}$ , zebrane w publikowanych opracowaniach syntetycznych, należy stwierdzić że poza wcześniej wymienionymi jednostkami tektonicznymi, obszarów perspektywicznych pod względem występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych można spodziewać się w obrębie: Karpat, zapadliska przedkarpackiego, Gór Świętokrzyskich, monokliny przedsudeckiej. Rozpoznanie jednego złoża oraz kilku punktów mineralizacji uranowej w Górach Świętokrzyskich, a także kilku punktów mineralizacji uranowej w Karpatach, w zapadlisku śląsko-krakowskim oraz na monoklinie przedsudeckiej potwierdza możliwość występowania obszarów perspektywicznych pod względem występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych na obszarze wyżej wymienionych jednostek tektonicznych. W Karpatach fliszowych podwyższone koncentracje uranu związane są z rejonami występowania bitumicznych łupków menilitowych oligocenu, w Górach Świętokrzyskich z utworami paleozoicznymi (dewon) i triasowymi, a na monoklinie przedsudeckiej z utworami triasu. Reasumując należy stwierdzić, że ze względu na zawartość uranu oraz  $^{226}\text{Ra}$  w skałach i glebach (utworach powierzchniowych i zalegających na głębokościach rzędu kilkudziesięciu metrów pod powierzchnią terenu) obszarów perspektywicznych pod względem występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych można spodziewać się w następujących głównych jednostkach tektonicznych Polski: Sudetach zachodnich (łącznie z niecką Północnosudecką), Sudetach wschodnich, zapadlisku śląsko-krakowskim, zapadlisku Przedkarpackim, Karpatach, Górach Świętokrzyskich, monoklinie Przedsudeckiej. Szczególnie istotną rolę będą odgrywały w tym zakresie rejony występowania skał bogatych w alkalia i krzemionkę, przede wszystkim magmowych, a także metamorficznych oraz skał osadowych, w których stwierdzono punkty mineralizacji uranowej lub złoża uranu

# RÓWNOCZESNY POMIAR RADONU I JEGO PRODUKTÓW ROZPADU W POWIETRZU ATMOSFERYCZNYM Z WYKORZYSTANIEM TECHNIKI CIEKŁOSCYNTRYLACYJNEJ

Stanisław CHAŁUPNIK, Z. TOSCHEVA

Główny Instytut Górnictwa, 40-166 Katowice, Plac Gwarków 1

e-mail: [s.chalupnik@gig.katowice.pl](mailto:s.chalupnik@gig.katowice.pl)

## STRESZCZENIE

Zarówno dla radonu jak i jego krótkożyciowych pochodnych opracowanych zostało wiele różnorodnych technik pomiarowych i realizujących je przyrządów. Stosowane są one do prowadzenia pomiarów w środowisku naturalnym, budynkach mieszkalnych, kopalniach itd. Jednak pomiary pochodnych radonu w mieszkaniach czy na otwartym powietrzu są trudne ze względu na wielkość tych stężeń. Podobnie wygląda sytuacja w przypadku konieczności wykonywania pomiarów radonu na otwartym powietrzu, a niekiedy nawet w mieszkaniach.

Próba rozwiązania problemów pomiaru pochodnych radonu była opracowana przez S.Chałupnika bardzo czuła metoda, oparta na powiązaniu zbierania pochodnych radonu na filtrze z następującym po nim pomiarem aktywności filtru w spektrometrze ciekłoscyntrylacyjnym (LSC). Taka technika pomiaru zapewnia, że metoda ta jest **metodą bezwzględną** (nie wymagającą wzorców) i pozwala na bardzo dokładne określenie mierzonych wielkości. Ze względu na powyższe właściwości - swoją czułość i dokładność - może stanowić metodę odniesienia (kalibracji) dla wszystkich przyrządów, służących do pomiaru stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu. Jednakże ze względu na rozmiary liczników LSC nie można jej było wykorzystać do pomiarów polowych. W ostatnich latach pojawiły się jednak nowe, przenośne liczniki LSC, o niewielkiej wadze i możliwości zasilania np. z akumulatora samochodowego. Jeden z takich liczników, TRIATHLER produkowany przez firmę Hidex, został wykorzystany do pomiarów stężeń pochodnych w pomieszczeniach i na otwartym powietrzu. Otrzymane wyniki okazały się bardzo zachęcające, jedynym ograniczeniem jest trudność z użyciem w wysokowydajnej pompie filtrów membranowych. Filtry papierowe czy też z włókna szklanego można stosować pod warunkiem, że nie są barwione, co powoduje duże gaszenie powstających impulsów.

Z drugiej strony zastosowanie otwartych detektorów węglowych z następującym po ekspozycji pomiarem w liczniku ciekłoscyntrylacyjnym, umożliwia wykonanie pomiarów chwilowych stężenia radonu. Próg detekcji metody, około  $2-3 \text{ Bq/m}^3$ , w powiązaniu z krótkim czasem ekspozycji (5-8 minut), pozwala na prowadzenie równoczesnych pomiarów stężenia radonu i jego pochodnych zarówno na otwartym powietrzu, w budynkach jak i w piwnicach, jaskiniach czy kopalniach.

**PRZENIKANIE RADONU PRZEZ GRUNT I DO BUDYNKÓW**

Jerzy ŁOSKIEWICZ

*Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk;  
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków*

*e-mail: [Jerzy.Loskiewicz@ifj.edu.pl](mailto:Jerzy.Loskiewicz@ifj.edu.pl)*

## **AUTOMATYCZY PRZYRZĄD DO CIĄGŁEGO POMIARU EKSHALACJI RADONU Z GLEBY**

Jadwiga MAZUR, Krzysztof KOZAK, Tadeusz ZDZIARSKI,  
Andrzej DRABINA, Ryszard HABER

*Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk;  
Laboratorium Naturalnej Promieniotwórczości; ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków*

*e-mail: [Jadwiga.Mazur@ifj.edu.pl](mailto:Jadwiga.Mazur@ifj.edu.pl)*

### **STRESZCZENIE**

Stężenie radonu w glebie oraz jego ekshalacja z gruntu są ważnymi czynnikami wpływającymi na poziom radonu wewnątrz budynków i, co za tym idzie, na bezpieczeństwo radiologiczne mieszkańców. Obie te wielkości zależą nie tylko od parametrów gleby, takich jak np. porowatość, wilgotność, przepuszczalność, zawartość radu, ale także od warunków meteorologicznych.

Systematyczne pomiary ekshalacji radonu z gruntu i jego stężenia w glebie prowadzone są od jesieni 2003 przez Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej na specjalnym poletku pomiarowym (Radon Study Field) usytuowanym na terenie Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Ciągła rejestracja parametrów meteorologicznych na poletku odbywa się przy użyciu stacji Weather Monitor II firmy DAVIS.

Uzyskane dotąd wyniki pokazują znaczną zmienność, zarówno dobową jak i sezonową, wartości ekshalacji radonu z gleby. Pomiary wykonywane raz dziennie okazały się być niewystarczająco częste do znalezienia wyraźnej zależności pomiędzy ekshalacją a czynnikami meteorologicznymi. W związku z tym w LPN opracowano projekt i wykonano automatyczny przyrząd do ciągłego pomiaru ekshalacji radonu z gleby. Urządzenie pozwala na wykonanie pomiaru co 4 godziny (możliwe jest też ustawienie innego cyklu). Przeprowadzono testowe pomiary na terenie Radon Study Field.

## ASPEKTY PRAWNE ZWIĄZANE Z WYSTĘPOWANIEM RADONU W WODZIE

Tadeusz Andrzej PRZYLIBSKI

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa*

*Zakład Geologii i Wód Mineralnych; Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 Wrocław*

*e-mail: [Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl](mailto:Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl)*

### STRESZCZENIE

Oszacowano, że radon dostaje się do atmosfery głównie z gleb, ale drugim źródłem pod względem ilości uwalnianego radonu są wody podziemne. Niejako po drodze z gruntu (gleby) i wód podziemnych radon przechodzi również przez wnętrza budynków mieszkalnych. Wobec tego należy traktować wody używane w gospodarstwach domowych jako istotne źródło radonu obecnego w budynku.

W obowiązujących w Polsce przepisach prawnych dotyczących wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi radon nie został wyodrębniony. Należy więc rozumieć, że maksymalna jego zawartość w takiej wodzie, jeżeli nie występują w niej żadne inne radionuklidy, nie może powodować wchłonięcia dawki przekraczającej 0,10 mSv w ciągu roku. Odpowiada to stężeniu radonu w wodzie równemu  $14 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Jest to wartość bardzo niska, która w wielu ujęciach, zwłaszcza wód podziemnych południowo-zachodniej Polski byłaby przekroczona. Należy więc, zgodnie z zaleceniami WHO, nie uwzględniać radonu w obliczaniu średniorocznego efektywnego równoważnika dawki promieniowania jonizującego, pochodzącego od izotopów promieniotwórczych zawartych w wodach do picia. Jednak ryzyko śmierci spowodowanej nowotworem płuc w wyniku wdychania radonu uwalnianego z wody w czasie korzystania z kuchni, a przede wszystkim z łazienki, jest dziesięciokrotnie wyższe, niż narażenie organów wewnętrznych związane z piciem tej wody. Wobec tego znacznie większą uwagę należy przykładąć do określania zawartości radonu w wodach podziemnych ujmowanych do picia i celów sanitarnych, niż w tych które są ujmowane w celach rozlewniczych. Jest to szczególnie istotne zagadnienie zwłaszcza w odniesieniu do ujęć prywatnych, gdzie odległość od ujęcia do odbiornika wody jest niewielka. W związku z powyższym zawartość radonu w takich wodach powinna być limitowana, zwłaszcza jeżeli przyjmuje się bezprogową hipotezę liniową oddziaływania promieniowania na organizm człowieka. Jest więc konieczne stworzenie w tym zakresie norm prawnych w Polsce. W celu ich opracowania i wprowadzenia można skorzystać z wzorców obowiązujących w innych państwach. W USA dla wód przeznaczonych do picia z ujęć publicznych przyjęto wartość graniczną stężenia radonu równą  $150 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Wartość ta jest zalecana także w przypadku ujęć prywatnych. Natomiast w krajach europejskich wartości normatywne mieszczą się w przedziale  $50 - 500 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Rekomendowaną „wartością odniesienia” dla krajów europejskich jest stężenie  $^{222}\text{Rn}$  równe  $100 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W związku z tym poszczególne państwa powinny wyznaczyć wartość dopuszczalną (graniczną) stężenia radonu na poziomie powyżej  $100 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W przypadku kiedy stężenie tego gazu przekracza wartość  $1\,000 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$  powinny zostać podjęte działania prowadzące do jego obniżenia. Powyższe wytyczne należy traktować jako zalecenia odnoszące się do ujęć publicznych. Natomiast dla ujęć prywatnych

wartością, po przekroczeniu której należy rozważyć możliwość podjęcia działań obniżających stężenia radonu jest wartość  $1\ 000\ \text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

W Polsce w 1954 roku stwierdzono także, że aktywność farmakodynamiczną wykazują już wody o radoczynności  $2\ \text{nCi}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $74\ \text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Wtedy po raz pierwszy dla krajowych wód leczniczych zdefiniowano minimalną radioaktywność (radoczynność). Nie określono jednak izotopów, od których ma pochodzić mierzona radioaktywność. W 1999 roku pojawiły się dwie propozycje zastąpienia terminu „woda radoczynna” terminem „woda radonowa”, a w roku 2002 w literaturze naukowej zdefiniowano pojęcie wody potencjalnie leczniczej. Taką wodą są m.in. wody radonowe, tj. swoiste lub mineralne zawierające w  $1\ \text{dm}^3$  radon (gaz) w ilości, której odpowiada aktywność promieniotwórcza  $74\ \text{Bq}$ . Niestety definicja ta nie jest usankcjonowana prawnie. Należy także podkreślić, że nie określono maksymalnego stężenia radonu dopuszczanego dla wód leczniczych, co może mieć duże znaczenie dla zdrowia kuracjuszy wobec niewątpliwie szkodliwego oddziaływania wysokich jego stężeń.

Pod względem wykorzystania radonowych wód leczniczych do celów balneologicznych sytuacja prawna na dzień dzisiejszy w Polsce jest przejrzysta. Nadrzędnym aktem prawnym jest Prawo geologiczne i górnicze. W ustawie tej stwierdza się, że do kopalni zaliczane są wody lecznicze. Zgodnie z tą ustawą, obowiązującą od 1.01.2002 r., Rada Ministrów wydała w 2001 roku rozporządzenie, w którym do wód leczniczych zalicza się wody radonowe ze złóż w Długopolu Zdroju, Jedlinie Zdroju, Łądku Zdroju, Przerzeczynie Zdroju, Szczawinie, Szczawinie Zdroju i Świeradowie Zdroju. Wszystkie wyżej wymienione wody lecznicze zaliczono do kopalni podstawowych. Poza wymienionymi złożami leczniczych wód radonowych z obszaru Sudetów i bloku Przedłudeckiego w Polsce nie występują inne złoża tej kopaliny. Fakt ten jest związany z budową geologiczną Dolnego Śląska.

**RADON A HORMEZA RADIACYJNA,  
CZYLI OD RADIOFILII DO RADIOFOBII  
- STO LAT KARUZELI POGLĄDÓW**

Tadeusz Andrzej PRZYLIBSKI

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa;*

*Zakład Geologii i Wód Mineralnych; Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 Wrocław*

*e-mail: [Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl](mailto:Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl)*

**STRESZCZENIE**

Mimo, że promieniotwórczość, a więc i większość pierwiastków promieniotwórczych, odkryto dopiero na przełomie XIX i XX wieku (radon w roku 1900), o obecności radonu w środowisku pośrednio wiedziano już w wieku XVI. W II połowie XVI stulecia Georgius Agricola zaobserwował, że górnicy kopalń w Schneebergu w Górach Kruszcowych często zapadają na choroby płuc (tzw. Bergkrankheit). Podobne zjawisko zaobserwowano także w początkach wieku XVII wśród górników z Jachymova w Czechach. W 1879 roku dwaj niemieccy lekarze – Hartung i Hesse odkryli, że większość górników z kopalni w Schneebergu umiera na raka płuc. W 1921 roku Margaret Uhlig zasugerowała, że to właśnie radon może być przyczyną powstawania tej choroby. Dopiero jednak badania podjęte w latach 40-tych XX wieku pozwoliły na wykazanie powiązania tej choroby z wysokimi stężeniami radonu w środowisku pracy. Wydawało się, że problem ten dotyczy wąskiej grupy zawodowej, a więc także niewielkiej populacji. W wyniku przeprowadzenia bardziej kompleksowych badań stwierdzono jednak, że w wielu budynkach mieszkalnych również mogą występować wysokie koncentracje radonu, a więc ludzie mogą być narażeni na otrzymywanie wysokich dawek promieniowania od radonu i jego pochodnych.

Na długo przed odkryciem promieniotwórczości medycyna ludowa wykorzystywała właściwości lecznicze wód różnych źródeł. Nie różniły się one od zwykłych wód źródłanych, a obecnie wiadomo, że charakteryzują się wysokimi stężeniami radonu. O ich wykorzystaniu pisała Maria Skłodowska-Curie, podkreślając jednakże empiryczny charakter postępowania w leczeniu pacjentów. Pierwszy raz świadomie użyto radonu do zabiegów leczniczych w 1914 roku. Począwszy od lat dwudziestych XX wieku radon zaczął wypierać stosowany wcześniej w medycynie rad. W latach trzydziestych przypadło apogeum entuzjazmu dla wszelkich możliwych terapii radonem. Wprowadzono wówczas koncepcję progę po stwierdzeniu, że negatywne skutki promieniowania występują tylko powyżej pewnego poziomu dawki. Już wtedy zgromadzono wiele danych wskazujących na lecznicze działanie małych dawek. Na przełomie lat trzydziestych i czterdziestych stwierdzono jednak niewątpliwy wpływ wysokich stężeń radonu na podwyższenie ryzyka zachorowalności na nowotwory płuc. Wyniki tych badań zbiegły się także w czasie z pierwszymi wybuchami bomb jądrowych. W świetle takich danych zaczęto postrzegać radon, podobnie jak promieniotwórczość w ogóle, jako największe niebezpieczeństwo. Efektem tego było przyjęcie w środowiskach radiologicznych liniowej hipotezy bezprogowej (LNT), zakładającej że te same skutki popromienne po otrzymaniu wielkich dawek, występują także po otrzymaniu małych dawek, a tylko częstość ich

występowania jest mniejsza proporcjonalnie do dawki. Powoduje to uznanie, że nawet dawki bliskie zeru wywołują jedynie szkodliwe efekty.

Hipoteza LNT jest sprzeczna ze zjawiskiem hormezy, tj. z występowaniem skutków stymulujących lub ogólnie pożytecznych dla organizmu po małych dawkach czynnika, który jest jednocześnie szkodliwy w dużych dawkach lub w przypadku niedoboru. Z biologicznego punktu widzenia hormeza reprezentuje strategię optymalnego rozmieszczenia zasobów w organizmie, zapewniającą utrzymanie homeostazy. Kwestia dobroczynnych lub szkodliwych skutków nie powinna być zawarta w samej definicji hormezy, lecz należy pozostawić ją dalszej ocenie biologicznego i ekologicznego kontekstu tej reakcji. Zjawisko hormezy jest znane w farmakologii i kryminologii, co najmniej od połowy XVI wieku. Uznając hipotezę hormezy radiacyjnej (HR) nie pojawia się problem „dwoistego oddziaływania” radonu na organizm człowieka. Jednocześnie istnieje wówczas możliwość znacznej redukcji wydatków na ochronę radiologiczną, wobec wprowadzenia wartości progowych.

Zwolennicy obu tych hipotez, jak do tej pory, nie są w stanie jednoznacznie udowodnić słuszności swoich poglądów. Wynika to z obiektywnych trudności mierzenia biologicznych efektów powodowanych przez małe dawki promieniowania jonizującego. Przy czym małe dawki odpowiedzialne za HR są znacznie większe od dawek naturalnych i określa się je jako te, które powodują jonizację we wrażliwych częściach komórki w średnich odstępach czasu dłuższych od czasu potrzebnego na zadziałanie mechanizmu naprawczego.

W ostatnim czasie coraz liczniej publikowane są jednak doniesienia naukowe, jeżeli nie dowodzące istnienia HR, to niesprzeczne z nią, a jednocześnie przeczące hipotezie LNT. Wszystko wskazuje na to, że po raz kolejny teoria HR wróci do łask w świecie nauki. Istnieje w związku z tym pilna potrzeba podjęcia badań dowodzących w sposób jednoznaczny jej prawdziwości w toksykologii, jak również w węższym zakresie – w radiologii.



# ***POSTERY***

## SEZONOWA ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA RADONU W BUDYNKACH JEDNORODZINNYCH PODLASIA

Maria KARPIŃSKA, Zenon MNICH, Jacek KAPAŁA.

*Akademia Medyczna w Białymstoku Zakład Biofizyki; 15 -089 Białystok, ul. Kilińskiego 1*

*[karpm@amb.edu.pl](mailto:karpm@amb.edu.pl)*

### STRESZCZENIE

Powstający w wyniku rozpadu radu radon ( $Rn^{222}$ ) jest naturalnym pierwiastkiem promieniotwórczym, mającym największy wkład do dawki efektywnej otrzymywanej przez ludność. Stężenie radonu w budynkach mieszkalnych podlega dobowym i sezonowym zmianom. Schemat Sezonowej zmienności stężenia radonu w pomieszczeniach zależy od wielu czynników, między innymi od typu podłoża i klimatu. Prawidłowości, które się obserwuje są najczęściej stwierdzeniami, że w chłodnych porach roku obserwuje się w domach większe stężenia niż w ciepłych. Istnieją doniesienia o odmiennym zachowaniu się tej zmienności Część budynków nie wykazuje znaczących różnic w stężeniach radonu obserwowanych latem i zimą. Oszacowano, że 10-20% domów w Anglii nie wykazuje dostrzegalnych wahań w stężeniu radonu w ciągu roku.

Celem przeprowadzonych badań było określenie charakteru zmienności stężenia radonu w domach jednorodzinnych o podobnej charakterystyce architektonicznej na Podlasiu.

Badane domy te były zlokalizowane w odległościach od 12 do 30 km od Białegostoku. Zbudowano je przed 70-80 laty z drewna. Wszystkie budynki były podpiwniczone. Wszystkie badane budynki miały wentylację grawitacyjną. W żadnym z badanych domów nie było klimatyzacji. Opisany typ budynku stanowi duży ułamek istniejącej zabudowy na badanym terenie.

Budynki wybrano, na podstawie wcześniejszych pomiarów przesiewowych, miały stężenia radonu powyżej  $100 \text{ Bq m}^{-3}$ . Zastosowano całkującą metodę detektorów śladowych z wykorzystaniem folii CR-39. W każdym budynku eksponowane były wymienne, co miesiąc trzy detektory śladowe. Pomiarzy były prowadzone od czerwca 2003 do lipca 2004. Przyjmując, że głównym czynnikiem warunkującym sezonowe wahania stężenia radonu jest różnica temperatur pomiędzy wewnątrz a otoczeniem zdecydowano się prześledzić głównie tę zależność.

W szesnastu spośród 25 badanych budynków (64%) zaserwowano statystycznie istotną ujemną korelację między stężeniem radonu w budynku, a średnią miesięczną temperaturą na zewnątrz. Współczynniki korelacji Spearmana wyznaczone dla poszczególnych budynków pomiędzy średnim miesięcznym stężeniem radonu w danym domu a średnią miesięczną temperaturą na zewnątrz budynku zawierały się w przedziale od  $-0,57$  do  $-0,85$  (przy  $p < 0,05$ ). Wyznaczono średnią wartość stężenia radonu w danym miesiącu w całej grupie budynków o ujemnej korelacji stężenia radonu z temperaturą. Stwierdzono silną statystycznie istotną korelację pomiędzy uśrednionymi stężeniami radonu dla tej grupy budynków a średnią temperaturą zewnętrzną obserwowaną w poszczególnych miesiącach. Współczynnik korelacji Spearmana  $R$  wynosi  $-0,97$  (przy  $p < 0,05$ ). W 14 z spośród 16 budynków tej grupy stwierdzono dodatnią statystycznie istotną korelację pomiędzy

średnim miesięcznym stężeniem radonu a różnicą ciśnień atmosferycznych obserwowanych w okresie miesiąca. Współczynniki korelacji Spearmana wynoszą od 0,57 do 0,78 (przy  $p < 0,05$ ).

W trzech budynkach (12%) zaobserwowano statystycznie istotną dodatnią korelację między stężeniem radonu wewnątrz budynku a średnią miesięczną temperaturą na zewnątrz. Współczynniki korelacji Spearmana pomiędzy stężeniem radonu wewnątrz budynku a temperaturą na zewnątrz domu zawierały się w przedziale od 0,72 do 0,92 (przy  $p < 0,05$ ). Wyznaczono średnią wartość stężenia radonu w tej grupie budynków. Stwierdzoną silną statystycznie istotną korelację między uśrednionym miesięcznym stężeniem radonu w tej grupie a temperaturą na zewnątrz budynków współczynnik korelacji Spearmana  $R$  wynosi 0,81 (przy  $p < 0,05$ ). W budynkach tej grupy stwierdzono silną ujemną statystycznie istotną korelację stężenia radonu z różnicą ciśnień atmosferycznych obserwowanych w okresie miesiąca, współczynnik korelacji od 0,67 do  $-0,88$  (przy  $p < 0,05$ ).

W sześciu badanych domach (24%) nie stwierdzono jednak statystycznie istotnej korelacji między stężeniem radonu a temperaturą na zewnątrz. W domach tych obserwowano występują z miesiąca na miesiąc zmienność stężenia radonu, lecz fluktuacja ta nie dała opisać jako statystycznie istotna korelacja z temperaturą.

Przedstawione wyniki pomiarów wskazują na daleko posuniętą różnorodność sezonowej zmienności w poszczególnych domach. Znaczny procent domów wykazuje odstępstwa od dominującego schematu. Ma to duże znaczenie przy określaniu zagrożenia radonem w poszczególnych budynkach. Nie wiedząc jaki typ zmienności w dany budynek występuje nie można szacować dawki efektywnej od radonu na podstawie krótkiej ekspozycji.

## INTERKALIBRACJA PRZYRZĄDÓW DO POMIARU RADONU I JEGO POCHODNYCH W KOMORZE CLOR W 2003R.

Kalina MAMONT-CIEŚLA, Olga STAWARZ

*Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa;*

*e-mail: [stawarz@clor.waw.pl](mailto:stawarz@clor.waw.pl), [kalinam@clor.waw.pl](mailto:kalinam@clor.waw.pl)*

Uczestnicy interkalibracji: Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa – Kalina MAMONT-CIEŚLA, Olga STAWARZ; Politechnika Wroclawska, Wrocław – Tadeusz PRZYLIBSKI, Anna ADAMCZYK; Główny Instytut Górnictwa, Katowice – Krystian SKUBACZ, Stanisław CHAŁUPNIK; Instytut Fizyki Jądrowej PAN im. H. Niewodniczańskiego, Kraków – Krzysztof KOZAK; Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków – Nguyen-Dinh CHAU; Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa – Jakub BARTAK; Państwowa Agencja Atomistyki – Biuro Obsługi Roszczeń Pracowników Zakładu Produkcji Rud Uranu, Jelenia Góra – Jerzy WRÓBLEWSKI

### STRESZCZENIE

W metrologii radonowej istotną rolę odgrywają międzylaboratoryjne pomiary porównawcze monitorów stężenia radonu oraz stężenia energii potencjalnej alfa (paec). Nie istnieją bowiem źródła kalibracyjne, które mogłyby być stosowane dla tego typu przyrządów pomiarowych.

W dniach 9-13 czerwca 2003r. odbyły się w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej pomiary porównawcze stężeń radonu i jego krótkożyciowych pochodnych. Uczestniczyły w nich dwie grupy przyrządów, pracujących głównie w trybie ciągłym: do pomiaru stężenia radonu oraz do pomiaru PAEC. Zgodność wskazań monitorów radonowych porównywało siedem instytucji, natomiast w przypadku przyrządów mierzących PAEC było tych instytucji sześć. Do pomiaru stężenia radonu zastosowano sześć monitorów AlphaGUARD™ (Genitron, Niemcy), dwa mierniki AB-5 (Pylon, Kanada), radiometr RMR1 i SRDN2. Do mierzenia PAEC użyto pięciu przyrządów do pomiaru ciągłego. Były to trzy przystawki do monitora radonowego AlphaGUARD™ - Rn WL Meter (Thomson-Nielsen, Kanada), jeden monitor WLx (Pylon) oraz jeden spektrometr średnic pochodnych radonu (RPPSS, produkcji ARPANSA, Australia), a także jeden miernik całkujący – aspirator SKC, wyposażony w przystawkę ALFA.

Wszystkie urządzenia eksponowano równocześnie w wypełnionej radonem komorze klimatycznej o objętości 12,35m<sup>3</sup> przez 44 godziny. Początkowe stężenie radonu wynosiło ok.2500Bq/m<sup>3</sup>, natomiast końcowe ok.700Bq/m<sup>3</sup>. Podczas eksperymentu porównawczego zmieniano warunki ekspozycji, takie jak wilgotność względna, temperatura i stężenie aerozoli. Zakres wilgotności względnej wynosił od 45-50% (wilgotność normalna)

do 95-99% (wilgotność wysoka). Stężenie jąder kondensacji zmieniano od  $200\text{cm}^{-3}$  do  $31000\text{cm}^{-3}$ . Aerozole wodne wytwarzano za pomocą generatora aerozoli firmy TSI, USA.

Za wartość referencyjną stężenia radonu przyjęto wartość średnią ze wszystkich monitorów radonowych. Analizując wyniki pomiarów PAEC, za przyrząd referencyjny uznano spektrometr średnic pochodnych radonu, który podaje nie tylko wartości PAEC, ale również rozkład ziarnowy. Ponadto przyrząd ten wprowadza korektę zmierzonych wartości PAEC ze względu na straty, które mogą powstać na wlocie urządzenia w następstwie tzw. efektu plate-out.

Wyniki pomiaru średniego stężenia radonu w komorze otrzymane dla monitorów AlphaGUARD™ wykazują bardzo dobrą zgodność dla całego okresu ekspozycji. Odchylenie standardowe średnich stężeń radonu dla tych urządzeń wynosiło od 0,4 do 4% w zależności od okresu ekspozycji, podczas gdy dla wszystkich przyrządów radonowych jego wartość zmieniała się w zakresie 5,3 – 10%.

Z porównania monitorów PAEC z przyrządem referencyjnym wynika, że straty, będące prawdopodobnie skutkiem depozycji frakcji wolnej (fp) na wlotach przyrządów, obliczone: dla okresu czasu, w którym fp osiągnęło wartość maksymalną równą 62% po znormalizowaniu (w celu wyeliminowania różnic we współczynnikach kalibracji) do wartości PAEC dla fp=0 kalibracji wynoszą od 38 do 55 % dla różnych monitorów.

## **BADANIE WPŁYWU WYSOKIEJ WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ I CZASU EKSPOZYCJI NA WYNIK POMIARU STĘŻENIA RADONU ZA POMOCĄ DETEKTORÓW WĘGLOWYCH**

Olga STAWARZ<sup>1)</sup>, Maria KARPIŃSKA<sup>2)</sup>, Kalina MAMONT-CIEŚLA<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa;*

*e-mail: [stawarz@clor.waw.pl](mailto:stawarz@clor.waw.pl), [kalinam@clor.waw.pl](mailto:kalinam@clor.waw.pl)*

<sup>2)</sup> *Akademia Medyczna, ul. Mickiewicza 2a, 15-200 Białystok;*

*e-mail: [karpm@amb.edu.pl](mailto:karpm@amb.edu.pl)*

### **STRESZCZENIE**

Powszechnie stosowaną na świecie w badaniach przesiewowych metodą pomiaru stężenia radonu w budynkach jest system PicoRad (PicoR) firmy Packard-Canberra. Polega on na wykorzystaniu detektorów z węglem aktywnym zmieszany z silica-żelcem, które po ekspozycji trwającej, jak podaje instrukcja, od 12 do 96 godzin są zalewane ciekłym radonolubnym scyntylatorem i mierzone w liczniku scytlacyjnym, zliczającym scyntyllacje powodowane promieniowaniem  $\alpha$  i  $\beta$ . Celem serii ekspozycji tych detektorów w radonowej klimatycznej komorze kalibracyjnej CLOR o objętości 12,35m<sup>3</sup> było zbadanie, czy wynik pomiaru odpowiada wartości średniej stężenia radonu w okresach ekspozycji rekomendowanych przez producenta oraz czy wysoka wilgotność względna ma wpływ na wynik. Wykonano w sumie 32 ekspozycje (po 3 detektory), różniące się czasem trwania w zakresie od 16 do 96 godzin oraz wilgotnością względną w zakresie od 20 do 96%. Przyrządem referencyjnym był monitor radonowy AlphaGUARD™ (AlphaG) firmy Genitron, działający na zasadzie komory jonizacyjnej. Sprawdzono w odniesieniu do atestowanych źródeł radonu firmy Pylon, że wskazania tego przyrządu nie zależą od wilgotności względnej panującej w komorze kalibracyjnej, zgodnie ze specyfikacją techniczną podaną przez producenta. Porównano stężenia radonu mierzone za pomocą monitora radonowego AlphaGUARD™ i detektorów węglowych Pico-Rad, obliczając średnie stosunki AlphaG/PicoR. Są one podane wraz z odchyleniami standardowymi średnich dla trzech zakresów wilgotności i czterech czasów ekspozycji w tabelach 1 i 2. Przy czym w tabeli 1 przyjęto dla AlphaG średnie wyniki dla całego okresu ekspozycji a w tabeli 2 – średnie z ostatnich 12 godz.

Tabela 2. Średnie stosunki wyników odczytanych monitorem AlphaGUARD™ dla całego okresu ekspozycji do wyników z PicoRad'ów

Stosunki stężeń Rn: AlphaG(texp.)/PicoR				
Wilgotność względna [%]	Czas ekspozycji			
	16-24h	ok. 48h	ok. 72h	ok. 96h
20-96	1,32 ± 0,04			
20-75	1,33± 0,05	1,69 ± 0,09	2,41 ± 0,67	2,29 ± 0,03
76-96	1,30± 0,07	5,27 ± 0,04		15,7 ± 0,90

Tabela 2. Średnie stosunki wyników odczytanych monitorem AlphaGUARD™ dla ostatnich 12 godz. Ekspozycji do wyników z PicoRad'ów

Stosunki stężeń Rn: AlphaG(ostatnie 12h)/PicoR				
Wilgotność względna [%]	Czas ekspozycji			
	16-24h	ok. 48h	ok. 72h	ok. 96h
20-96	1,24 ± 0,05	-	-	-
20-75	1,25 ± 0,07	1,14 ± 0,04	1,48 ± 0,44	1,20 ± 0,01
76-96	1,30 ± 0,07	3,45 ± 0,04	-	7,83 ± 0,06

Przeprowadzone badania prowadzą do następujących wniosków na temat pomiaru stężenia radonu detektorami PicoRad i ich kalibracji:

- wynik pomiaru stężenia radonu nie zależy od wilgotności względnej dla czasów ekspozycji mniejszych niż ok. 24 godziny
- w całym zakresie wilgotności względnej i dla wszystkich 4 czasów ekspozycji spójność wyników dla PicoRadów ze wskazaniem AlphaG jest lepsza dla średnich z ostatnich 12 godz. niż dla całego okresu ekspozycji
- współczynnik korekcji w stosunku do średnich wartości z AlphaG dla ostatnich 12 godzin ekspozycji jest stały dla czasów ekspozycji od 24 do 96 godz. w zakresie wilgotności względnej do ok. 60-70% i wynosi 1,11±0,03
- współczynnik korekcji w stosunku do średnich wartości z AlphaG dla ostatnich 12 godzin. rośnie wykładniczo z czasem ekspozycji dla wyższych wartości wilgotności względnej - powyżej ok. 70% od 1,3 dla 24 godz. do 7,8 dla 96 godz. ekspozycji
- czas ekspozycji detektorów PicoR w komorze kalibracyjnej nie powinien być krótszy niż 24 godz.
- detektory PicoR dają wynik stężenia radonu uśredniony dla ok. 12 ostatnich godzin ekspozycji – należy to uwzględnić przy kalibracji detektorów PicoR w warunkach malejącej w wyniku rozpadu wartości stężenia radonu w komorze kalibracyjnej.

# WODY RADONOWE SUDETÓW: PRZYRODNICZE, RADIOLOGICZNE ORAZ BALNEOLOGICZNE I GÓRNICZE ASPEKTY ICH WYSTĘPOWANIA

Tadeusz Andrzej PRZYLIBSKI

*Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa*

*Zakład Geologii i Wód Mineralnych; Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27; 50-370 Wrocław*

*e-mail: [Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl](mailto:Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl)*

## STRESZCZENIE

Notowane w świecie stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych wahają się w bardzo szerokich granicach – od ułamków bekerela w litrze wody do ponad 100 000  $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W Sudetach najczęściej mierzone są wartości stężeń tego gazu z przedziału 3 – 1 000  $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ , podczas gdy maksymalne wartości sięgają niemal 3 000  $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$  (Przylibski et al., 2004; Przylibski, 2005). W związku z tym autor zaproponował następującą klasyfikację wód podziemnych ze względu na zawartość rozpuszczonego w nich radonu (Przylibski, 2005):

∅ wody bezradonowe	zawierają	poniżej 1 $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ $^{222}\text{Rn}$ ,
∅ wody ubogie w radon	zawierają	od 1 do 9,9(9) $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ $^{222}\text{Rn}$ ,
∅ wody niskoradonowe	zawierają	od 10 do 99,9(9) $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ $^{222}\text{Rn}$ ,
∅ wody radonowe	zawierają	od 100 do 999,9(9) $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ $^{222}\text{Rn}$ ,
∅ wody wysokoradonowe	zawierają	od 1000 do 9999,9(9) $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ $^{222}\text{Rn}$ ,
∅ wody ekstremalnie radonowe	zawierają	10.000 i więcej $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ $^{222}\text{Rn}$ .

Jednocześnie w nomenklaturze balneologicznej funkcjonuje pojęcie „woda radonowa” oznaczające swoistą wodę leczniczą lub potencjalnie leczniczą, w której stężenie  $^{222}\text{Rn}$  wynosi ponad 74  $\text{Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

Wody radonowe i wysokoradonowe Sudetów charakteryzują się niską wartością mineralizacji ogólnej (TDS) i krótkim czasem podziemnego przepływu. Są to z reguły wody infiltracyjne płytkiego krążenia (Przylibski, 2005). Ponieważ jednak najważniejszymi czynnikami wpływającymi na zmiany stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych są zmiany współczynnika emanacji skał zbiornikowych oraz stężenia macierzystego  $^{226}\text{Ra}$  w tych skałach, a także zmiany objętości i prędkości przepływu oraz mieszanie się różnych składowych wód podziemnych w systemie krążenia, dlatego też spotykane są wody radonowe

i wysokoradonowe o podwyższonej mineralizacji ( $TDS > 0,5 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) lub temperaturze ( $T > 20^\circ\text{C}$ ). Wody wysokoradonowe występują na obszarze: metamorfiku izerskiego, granitu Karkonoszy oraz metamorfiku Łądko-Śnieżnika. Wody radonowe poza wyżej wymienionymi jednostkami geologicznymi występują w Sudetach także na obszarze: metamorfiku orlicko-bystrzyckiego, niecki śródsudeckiej, granitu Strzegomia-Sobótki oraz strefy Niemczy. Wody niskoradonowe występują w Sudetach powszechnie (Przylibski, 2005). Rozkład wartości stężeń  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych Sudetów ma charakter logarymiczno-normalny. Średnia geometryczna zawartość tego gazu w wodach podziemnych Sudetów dla 282 analizowanych wystąpień wynosi  $106,7 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$ , przy standardowym odchyleniu geometrycznym równym  $4,3 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$  (Przylibski et al., 2004). Uwzględniając normatywne wartości stężeń radonu rozpuszczonego w wodach ujmowanych z przeznaczeniem do zaopatrywania gospodarstw domowych (ujęcia prywatne i publiczne) obowiązujące w nielicznych krajach Europy i w USA od 13% do 73% wód podziemnych wypływających na obszarze Sudetów nie nadaje się bezpośrednio do konsumpcji – wymaga usunięcia przynajmniej części rozpuszczonego w nich radonu (Przylibski et al., 2004).

Biorąc pod uwagę medyczne zastosowanie radonu rozpuszczonego w wodach podziemnych w Sudetach według obecnego stanu prawnego złoża wód radonowych różnych typów chemicznych znajdują się w: Długopolu Zdroju, Jedlinie Zdroju, Łądku Zdroju, Przerzeczynie Zdroju, Szczawinie, Szczawnie Zdroju i Świeradowie Zdroju. Przy czym radon wykorzystywany jest do zabiegów leczniczych w Łądku Zdroju i Świeradowie Zdroju. W kilku innych miejscowościach także występują wody lecznicze zawierające ponad  $74 \text{ Bq}\cdot\text{dm}^{-3}$  radonu, jednakże nie są one w chwili obecnej uznane za lecznicze ze względu na zawartość tego gazu, ale ze względu na inne właściwości. Potencjalne zasoby dyspozycyjne wód radonowych Sudetów można szacować na około  $285\,000 \text{ m}^3$  na dobę, tj. około  $105\,000\,000 \text{ m}^3$  na rok (Przylibski, 2005).

W związku z powyżej przedstawionymi faktami niezbędne jest opracowanie dokładnej przestrzennej charakterystyki zmienności stężeń  $^{222}\text{Rn}$  w wodach podziemnych Sudetów, a w szczególności wyznaczenie radonowego tła hydrochemicznego Sudetów, jak również poszczególnych jednostek geologicznych w ich obrębie.

#### LITERATURA:

- Przylibski T. A., 2005 – Radon. Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. Wrocław (w druku).
- Przylibski T. A., Mamont-Cieśla K., Kusyk M., Dorda J., Kozłowska B., 2004 – Radon concentrations in groundwaters of the Polish part of the Sudety Mountains (SW Poland). *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 75, No. 2, pp. 193-209.

## DETEKTORY WĘGLOWE DO POMIARÓW RADONU W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

Marian FUJAK, Stefan KALITA

*Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Kraków*

*e-mail: [kalita@novell.ftj.agh.edu.pl](mailto:kalita@novell.ftj.agh.edu.pl)*

### STRESZCZENIE

Celem pracy było opracowanie prostej metodyki pomiaru gazowego radonu przy użyciu węgla aktywnych oraz sprawdzenie tej metody do pomiaru radonu w kilku wybranych domach na terenie województwa małopolskiego. W tym celu zbudowano kilkanaście detektorów z węglem aktywnym. Kalibrację detektorów wykonano we współpracy z Pracownią Promieniotwórczości Naturalnej Zakładu Fizyki Środowiska i Transportu Promieniowania Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, wykorzystując komorę radonową o objętości  $0,6\text{m}^3$  i atestowane źródło radonu produkcji kanadyjskiej firmy PYLON. W trakcie kalibracji utrzymywano stałą koncentrację radonu w komorze; w tym celu w odpowiednich momentach czasowych przepompowywano radon gromadzący się w źródle do komory radonowej. W trakcie kalibracji rejestrowano chwilowe stężenia radonu aparatem AlphaGUARD™.

Pomiary spektrometryczne eksponowanych detektorów węglowych wykonywano na zestawie spektrometrycznym z detektorem półprzewodnikowym HPGe lub z detektorem NaI(Tl). Detektor węglowy umieszczony był każdorazowo w odpowiednim domku osłonnym.

Pomiary średniego stężenia radonu wykonywane były w różnych miejscach. Były to głównie piwnice różnych budynków mieszkalnych; celem takiego usytuowania detektorów węglowych było potwierdzenie tezy, że największe stężenie radonu jest w pobliżu ziemi. Dla potwierdzenia tej tezy, pomiary były wykonywane również na wyższych kondygnacjach budynków.

Tabela 1. Wyniki przeprowadzonych pomiarów w budynkach mieszkalnych.

Miejsce pomiaru	Liczba pomiarów	Średnie stężenie radonu - piwnica [Bq/m <sup>3</sup> ]	Średnie stężenie radonu - parter [Bq/m <sup>3</sup> ]
<b>SUCHA BESKIDZKA</b> ul. Zасыpnica	4	139(7) <sup>1</sup>	64(3)
<b>KRAKÓW</b> ul. Garczyńskiego	4	224(10)	92(5)
ul. Reymonta	3	54(3)	32(1)
ul. Kraszewskiego	2	-	54(3)
<b>ZAKOPANE</b> Gubałówka	2	179(9)	96(5)
Bukowina Tatrzańska	2	154(8)	81(4)

Zwrócić należy uwagę na stosunkowo wysoki poziom granicy wykrywalności w niniejszej pracy oszacowany na 26 Bq/m<sup>3</sup>. Z tego też względu opisana metoda nadaje się tylko do pomiarów wyższych stężeń radonu występujących w budynkach.

## WYBRANE IZOTOPY GAMMA-PROMIENIOTWÓRCZE SZEREGU URANOWEGO I TOROWEGO W GLEBACH LEŚNYCH OPOLSZCZYZNY

Marcin SMUDA, Agnieszka DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA i Maria WACŁAWEK

Uniwersytet Opolski, Katedra Technologii, Zakład Badań Fizykochemicznych

*ul. Kominka 4, 45-032 Opole, e-mail: [habib25@interia.pl](mailto:habib25@interia.pl)*

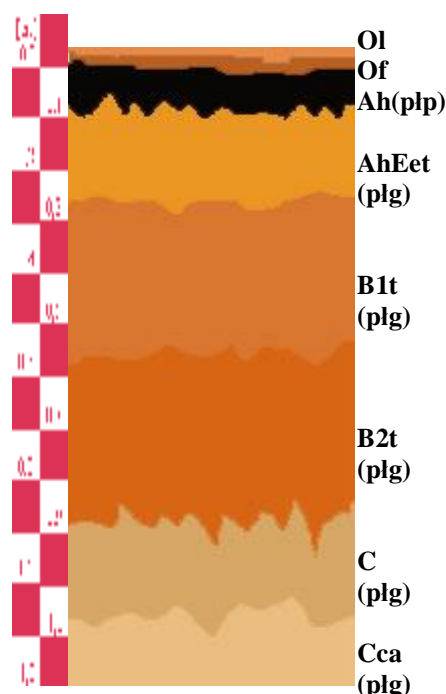
### STRESZCZENIE

W środowisku Ziemi obecne są radionuklidy trzech szeregów promieniotwórczych: uranowo-radowego, torowego i uranowo-aktynowego. Poziom aktywności tych izotopów w danym rejonie jest na ogół stały, chociaż może ulegać wahaniom wynikającym z działalności człowieka, takich jak przemysł wydobywczy, spalanie kopalin, stosowanie nawozów fosfatowych, odprowadzanie wód kopalnianych do zbiorników wodnych.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów aktywności naturalnych izotopów gamma – promieniotwórczych w próbkach gleby i ściółki leśnej.

Dokonano pomiaru wertykalnego rozmieszczenia radionuklidów w profilach glebowych z terenów Opolszczyzny. Do badań pobrano 39 próbek z 7 odkrywek glebowych, z wyszczególnieniem poziomów genetycznych gleb. Wyboru miejsca odkrywek dokonano biorąc pod uwagę ukształtowanie oraz charakterystykę fitosocjologiczną terenu. Na rys. 1 przedstawiono przykładowy profil glebowy.

Rys. 1. Rozmieszczenie poziomów w wybranym profilu glebowym z rejonu rezerwatu *Lesisko* (**O1**, **Of** - próchnica nadkładowa, **Ah(plp)**, **AhEet(plg)** - poziom przejściowy próchniczny, **B1t(plg)**, **B2t(plg)** - podpoziom wymycia ilitu koloidalnego, **C(plg)**, **Cca(plg)** - poziom skały macierzystej).

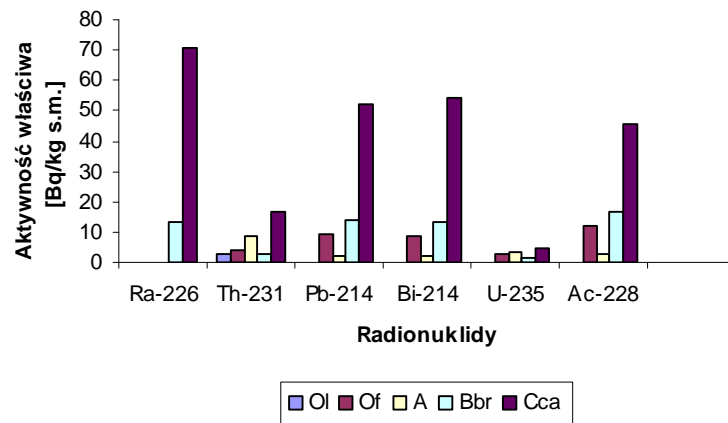


Wszystkie próbki suszono w temperaturze 378 K (105<sup>0</sup>C), przesiewano przez sito i umieszczono w pojemnikach typu Marinelli 450 cm<sup>3</sup> a następnie poddano analizie gamma-spektrometrycznej. Pomiar aktywności radionuklidów wykonano za pomocą spektrometru półprzewodnikowego gamma firmy Canberra z germanowym detektorem koaksjalnym HPGe. W zależności od aktywności próbki pomiary wykonywano w czasie 24 – 48 godzin. Zakres przeprowadzonych badań obejmował również analizę fizykochemiczną.

W badanych próbkach dokonano analizy aktywności pochodnych <sup>238</sup>U (<sup>226</sup>Ra, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi), <sup>232</sup>Th (<sup>228</sup>Ac) oraz <sup>235</sup>U (<sup>231</sup>Th).

Naturalne izotopy promieniotwórcze wykazują zróżnicowanie aktywności w zależności od poziomu genetycznego. Największe ich aktywności odnotowano w poziomach niżej zalegających wraz ze skałą macierzystą. Przykładowe aktywności radionuklidów przedstawiono na Rys. 2.

Oznaczone naturalne izotopy promieniotwórcze mają aktywności poniżej kilkudziesięciu Bq/kg, jedynie w poziomie skały macierzystej aktywności te są większe. Wierzchnia warstwa ściółki leśnej wykazuje znacznie mniejszą niż gleba zawartość badanych radionuklidów.



Rys. 2. Aktywność właściwa izotopów gamma-promieniotwórczych w wybranym profilu glebowym z rejonu rezerwatu *Lesisko*

Wyniki analizy statystycznej wykazują na istnienie istotnych korelacji pomiędzy aktywnością radionuklidów a niektórymi właściwościami fizykochemicznymi gleb, np. w glebach posiadających większą pojemność sorpcyjną zaobserwowano większe aktywności naturalnych izotopów promieniotwórczych w porównaniu do pozostałych badanych gleb.

**Wszystkie materiały w formie nadesłanej przez Autorów.**

**Przygotowanie:**

*Jadwiga Mazur, Krzysztof Kozak*

*LPN IFJ PAN, Kraków, wrzesień 2005*