

Pomiary radonu w budynkach

KRZYSZTOF KOZAK, JADWIGA MAZUR

Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski rozpoczął ważny dla lokalnych społeczności regionu karkonoskiego – od Janowic Wielkich i Kowar po Świeradów – projekt pod nazwą „Radon – jak z nim żyć?” Projekt finansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach programu „Podnoszenie świadomości społecznej i wzmocnienie rzecznicstwa oraz działań monitorujących organizacji pozarządowych”, realizowany był m.in. z udziałem Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

Wprowadzenie

W maju 2008 roku, w Bukowcu odbyło się seminarium, którego celem było poinformowanie lokalnej społeczności o występowaniu radonu w środowisku człowieka i przedstawienie potencjalnych zagrożeń z tym związanych.

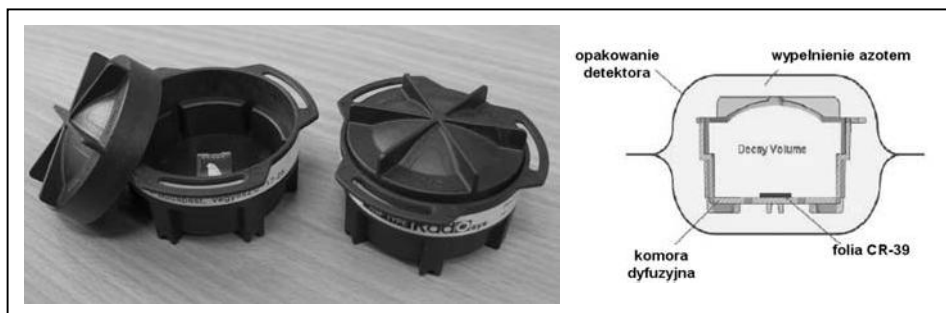
Wiedza ogółu społeczeństwa na temat promieniowania jonizującego (w tym radonu) jest na bardzo niskim poziomie, obarczona wieloma obiegowymi opiniami i „przesądami” kształtowanymi przez środki masowego przekazu, które często powielają nieprawdziwe sądy i oceny. Tytuły niektórych publikacji omawiających występowanie promieniowania jonizującego bazują na niewiedzy i po prostu straszą. Radon kreowany bywa na jeden z najistotniejszych czynników wywołujących choroby nowotworowe. Owszem, ma on wpływ na zachorowania i zjawisko to ilustruje statystyka. Jednakże, jeśli wczytamy się w zestawy liczb, wówczas okazuje się, że o wiele bardziej niebezpieczna dla zdrowia ludzkiego bywa... jazda samochodem. Tam, gdzie pojawia się zagrożenie związane z występowaniem radonu, warto i należy je minimalizować. W przypadku radonu jest to w większości przypadków stosunkowo proste. W tym miejscu należy jednak podkreślić, że w pomieszczeniach o wysokich stężeniach

radonu ryzyko nowotworowe może znacznie wzrosnąć poprzez interakcję z innymi czynnikami kancerogennymi (dym tytoniowy, azbest itp.). Te czynniki również trzeba minimalizować lub eliminować.

W trakcie kolejnego spotkania w Bukowcu zorganizowano dla uczestników projektu pokaz profesjonalnych technik pomiarowych stosowanych w Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych. Przeprowadzono pomiar stężenia radonu w powietrzu w sali pałacu w Bukowcu, pomiary równoważnika mocy dawki promieniowania gamma oraz pomiary stężenia radonu w powietrzu glebowym na terenie parku pałacowego. Uczestnicy spotkania mieli także możliwość obejrzenia mobilnego spektrometryczno-dozymetrycznego laboratorium CHIMERA Lab umożliwiającego prowadzenie pomiarów promieniotwórczości w terenie.

Z uwagi na specyfikę i dużą ilość zainteresowanych wykonaniem pomiarów stężenia radonu w swoich domach, wybrano metodę detektorów śladowych, jako najlepszą dla pomiarów wielkoskalowych i dającą wiarygodną informację o średnich (długoterminowych) poziomach stężeń radonu w domu. W trakcie spotkania pracownicy Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN, zapoznali uczestników z tą techniką pomiarów stężeń radonu i wyjaśnili szczegółowo sposób przeprowadzenia pomiaru. Uczestnicy otrzymali wraz z detektorami broszury informacyjne opisujące sposób postępowania z detektorami, a także krótką ankietą dotyczącą miejsca ekspozycji detektorów. W trakcie spotkania rozdano 104 detektory.

Zespół Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN wraz z wydawnictwem ZAMKOR przeprowadzał podobną szeroką



Ryc. 1. Wygląd i schemat budowy węgierskiego detektora RadoSys



Wanna chemiczna RadoBath do trawienia detektorów

akcję pomiarów stężeń radonu od maja 2005 do maja 2006 roku w ramach naukowo-dydaktycznego projektu badawczego „Radon w naszym otoczeniu”. Adresatem realizowanego wtedy projektu byli uczniowie szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych (licea i technika). Obiektem zainteresowania były szkoły, tzn. rozpoznanie poziomu stężeń radonu w szkołach na terenie Polski. Akcja spotkała się z bardzo dużym zainteresowaniem, pomiary stężeń radonu przeprowadzono w 195 szkołach w Polsce. Projekt ten miał na celu zainteresowanie uczniów fizyką, upowszechnienie zagadnień związanych z promieniowaniem jonizującym w naszym środowisku oraz ukazanie znaczenia badań naukowych dla ochrony zdrowia i środowiska. Umożliwił też uczniom „zobaczenie” niewidzialnego promieniowania, poprzez samodzielne wytrawianie otrzymanych detektorów śladowych, a następnie obliczenie średniego stężenia radonu. Detektory stosowane w trakcie realizacji tego projektu to takie same, które zostały zastosowane w projekcie „RADON – jak z nim żyć?”.

Metoda pomiaru stężeń radonu w domach

Detektory śladowe wykorzystywane w pomiarach stężeń radonu to detektory produkcji węgierskiej firmy RadoSys (ryc. 1). Detektor składa się z plastikowej osłony (komory dyfuzyjnej), wewnątrz której umieszczona jest

specjalna folia CR-39 (PADC/CR-39 Plastics) stanowiąca właściwy miernik radonu. Detektor umieszczony jest w szczelnej folii (opakowanie detektora). Wnętrze opakowania wypełnione jest czystym azotem – zapewnia to przechowywanie detektora przed ekspozycją w atmosferze wolnej od radonu. Ekspozycja detektora, czyli początek pomiaru stężenia radonu, rozpoczyna się w momencie rozerwania folii i wyjęcia detektora z opakowania.

Pomiary stężenia radonu w budynkach mieszkalnych polegają na 3-, 6-miesięcznej ekspozycji detektora w danym pomieszczeniu, a następnie, po wyjęciu folii CR-39 z komory dyfuzyjnej, następuje „odczytanie” jej w la-

boratorium. Cząstki alfa, emitowane przez radon wnikały do środka detektora poprzez szczelinę w komorze dyfuzyjnej, powodując powstanie mikroskopijnych uszkodzeń (otworów) w folii, widocznych po jej wytrawieniu w procesie podobnym do wywoływania kliszy fotograficznej. Trawienie folii CR-39 (umieszczonych w plastikowych kasetkach) przeprowadza się w 25% roztworze zasady sodowej NaOH, w specjalnej „wannie chemicznej” (RadoBath) w ściśle kontrolowanych warunkach: temperatura trawienia wynosi 90°C, a czas trawienia – 4 godziny. Jednocześnie można wytrawiać 432 detektory. Ślady pozostawione przez cząstki alfa emitowane przez radon są widoczne po wytrawieniu na folii CR-39 jako ciemne punkty.

Komputerowa analiza mikroskopowego obrazu powierzchni detektora (folii CR-39) pozwala na obliczenie ilości tych otworów. Znając tzw. współczynnik kalibracji można na podstawie gęstości śladów (czyli ilości śladów na 1 cm² folii CR-39) określić stężenie radonu w miejscu ekspozycji detektora. Współczynnik kalibracji określa się ekspozując detektor w kilku znanych stężeniach radonu. Kalibrację przeprowadza się w tzw. komorach radonowych.

Zliczanie ilości śladów na jednostkę powierzchni folii CR-39 wykonywane jest przez automatyczny system odczytu detektorów CR-39 – profesjonalny czytnik The RadoSys 2003. Czytnik wyposażony jest w kamerę CCD i pozwala na zapisywanie obrazów na



Komora radonowa działająca w Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN w Krakowie



Czytnik The RadoSys 2003
do odczytu detektorów CR-39

disku komputera w 100-krotnym powiększeniu. Powierzchnia skanowania detektora CR-39 wynosi: 47 mm². W czasie skanowania następuje automatyczny odczyt kodu detektora. Zwiększenie ilości śladów w polu widzenia kamery CCD odpowiada wyższemu średniemu stężeniu radonu w miejscu gdzie eksponowany był detektor.

Wyniki pomiarów

Budowa domu wymaga „przebicia” powierzchni gleby i dotarcia do głębszych warstw (fundament), gdzie stężenia radonu są znacznie wyższe. Poziomy stężenie radonu w glebie zależy m.in. od stężeń Ra-226. „Atlas Radiologiczny Polski” zawiera dane dotyczące przestrzennego rozkładu stężeń radu (maciezystego izotopu radonu) w wierzchniej warstwie gleby. Stężenia uranu oraz radu zależą od rodzaju skał – średnie zawartości tych izotopów przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Średnie zawartości izotopów uranu i radu w skałach (Polański A., Smulikowski K., *Geochemia*, Warszawa 1969; *Ochrona Środowiska*, GUS, Warszawa 1994)

Rodzaj skały	Uran [g/t]	²²⁶ Ra [Bq/kg]
piaski	0,45	1–27
gliny	1,8	77–124,1
wapienie	2,2	27,8
granity	3	59,2
bazalty	1	11,4
fosforyty	100–200 (max. 650)	490

Poziom stężenie radonu wewnątrz budynku istotnie zależy zatem od rodzaju podłoża, na jakim budynek jest posadowiony. Szczególnie ważna jest struktura geologiczna terenu – uskoki tektoniczne, szczeliny, gdyż stanowią one doskonałe drogi migracji radonu z głębszych struktur, a także parametry gleby (przepuszczalność, uziarnienie).

Wewnątrz domu powstaje różnica ciśnień „wysysająca” radon z gruntu, tzw. „efekt kominowy”. Drogi wnikania radonu do wnętrza domu to m.in.: pęknięcia i szczeliny wylewki betonowej, stanowiącej podłoże budynku, luki i szpary konstrukcyjne, pęknięcia w ścianach i nieszczelności wokół rur kanalizacyjnych.

Tak więc, czynniki wpływające na stężenie radonu w pomieszczeniach to m.in. stopień szczelności oraz wentylacja pomieszczeń (naturalna lub wymuszona). Wietrzenie pomieszczeń powoduje dość radykalny spadek stężenia radonu. Na wyższych kon-

dygnacjach maleje wpływ radonu docierającego z podłoża, a większe znaczenie ma radon uwalniany z materiałów stanowiących budulec ścian i stropów budynku oraz rodzaj pokrycia ścian i podłóg.

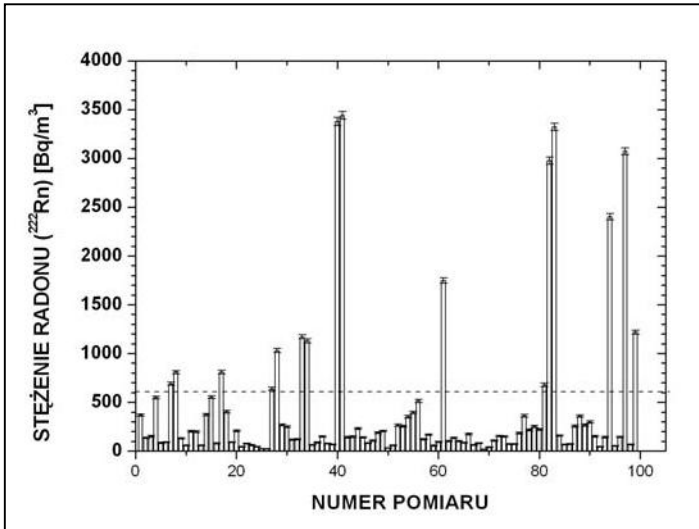
W ramach projektu „RADON – jak z nim żyć?” wykonano pomiary stężenia radonu łącznie w ponad 50 domach. Jeden detektor został umieszczony w studni w miejscowości Wojcieszycze.

Tabela 2. Miejscowości objęte pomiarami, liczba zbadanych domów oraz liczba wykorzystanych detektorów CR-39

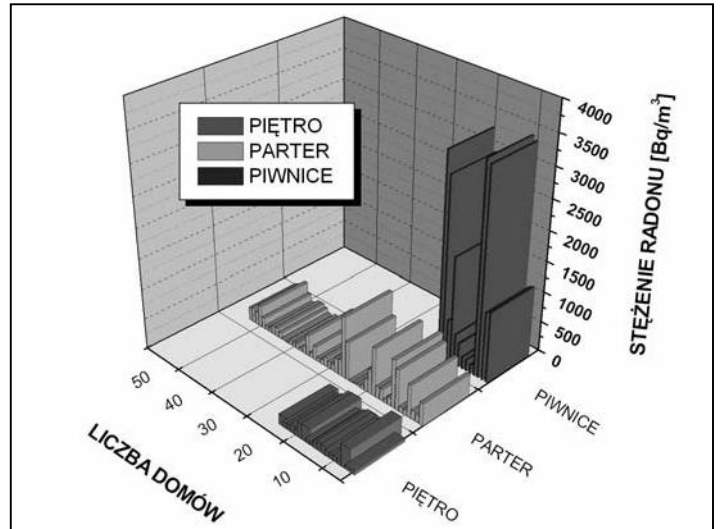
Miejscowość	Liczba domów	Liczba detektorów
Boguszów-Gorce	2	3
Chromiec	2	2
Janowice Wielkie	9	18
Jelenia Góra	1	2
Karpniki	12	24
Kopaniec	1	1
Kowary	1	2
Łomnica	2	2
Mała Kamienica	1	1
Mirsk	2	2
Piechowice	3	6
Przebieka	8	16
Siedlęcin	1	2
Stara Kamienica	4	4
Wojcieszycze	2	7
Radomierz	1	2
Błażejów	1	1
Kwicziszowice	1	1
Bukowice	3	6

Detektory w domach umieszczone były w większości przypadków na parterze (48 detektorów) oraz na I piętrze (18 detektorów). W piwnicach przeprowadzono 15 pomiarów. Wśród zbadanych domów 25 ma podpiwniczenie, pozostałe są częściowo lub niepodpiwniczone.

Wszystkie uzyskane wyniki stężeń radonu przedstawiono graficznie na ryc. 2. Jeden z detektorów został umieszczony w studni w miejscowości Wojcieszycze i zarejestrował stężenie radonu na poziomie $3\,070 \pm 40$ Bq/m³. Zakresy zmierzonych stężeń radonu są zależne od miejsca umieszczenia detektora. W tab. 3 przedstawiono te zakresy dla różnych kondygnacji, zaś ryc. 3 pokazuje to zróżnicowanie graficznie. Najwyższe średnie wartości stężeń radonu obserwowane są w piwnicach (1310 Bq/m³), niższe na parte-



Ryc. 2. Wyniki pomiarów stężeń radonu w domach



Ryc. 3. Zróżnicowanie stężeń radonu w różnych kondygnacjach domów

Tabela 3. Zakresy zmierzonych stężeń radonu w zależności od miejsca umieszczenia detektora (w Bq/m³)

Miejsce i liczba pomiarów	Piwnica (15)	Parter (48)	I piętro (18)
Średnie stężenie radonu	1310	220	130
Błąd standardowy	340	33	21
Mediana	678	140	97
Odchylenie standardowe	1316	230	88
Zakres	140–3440	15–1030	30–370

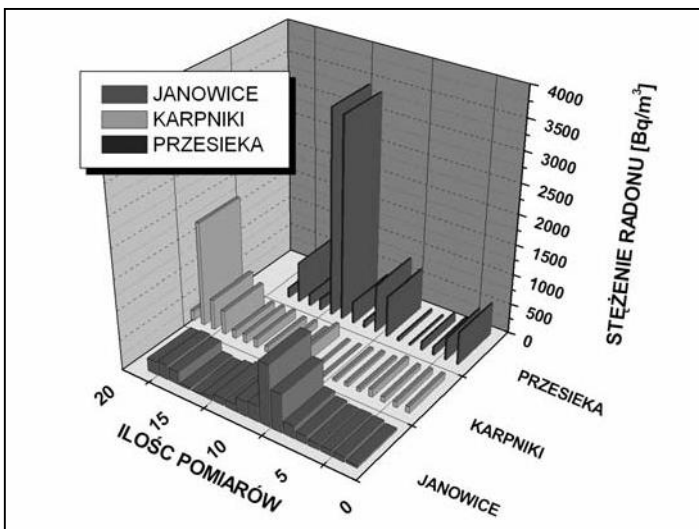
Tabela 4. Stężenia przekraczające 600 Bq/m³

Miejscowość	Miejsce umieszczenia	Stężenie radonu [Bq/m ³]
Przesieka	piwnica	3440 ±40
Przesieka	piwnica	3380 ±40
Wojcieszyce	piwnica	3320 ±40
Wojcieszyce	piwnica	2980 ±40
Karpniki	piwnica	1750 ±30
Wojcieszyce	piwnica	1170 ±20
Wojcieszyce	piwnica	1130 ±20
Janowice Wielkie	parter	1030 ±20
Piechowice	parter	810 ±20
Przesieka	parter	810 ±20
Przesieka	parter	690 ±20
Przesieka	piwnica	680 ±20
Janowice Wielkie	parter	640 ±20

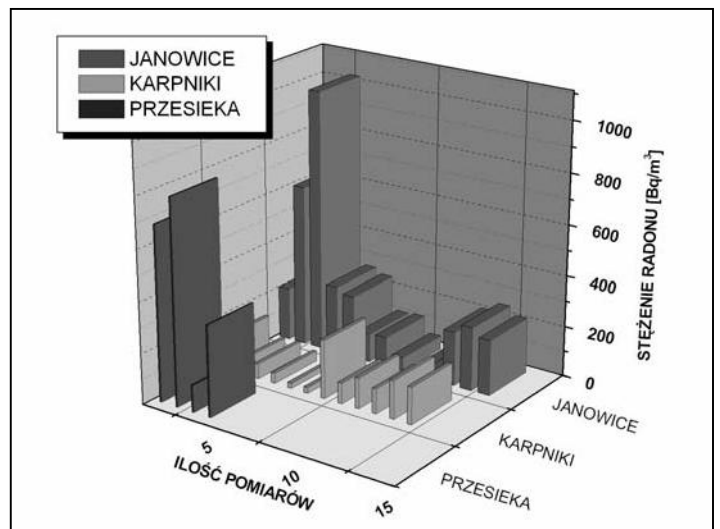
rach (220 Bq/m³) i najniższe na pierwszym piętrze (130 Bq/m³). Wyraźnie widać, iż na I piętrze stężenia są najniższe (od 30 Bq/m³ do 370 Bq/m³). Najwyższe stężenia zarejestrowano w piwnicach w miejscowości Przesieka – stężenia te przekraczały wartości 3 000 Bq/m³. Podobnie wysokie stężenia wystąpiły w piwnicach w Wojcieszycach: od 2 980 Bq/m³ do 3 320 Bq/m³. Stężenia przekraczające po-

ziom 600 Bq/m³ rejestrowano na parterze domu w Piechowicach (810 Bq/m³) oraz na parterach domów w Przesiece (810 Bq/m³ i 690 Bq/m³), a także w Janowicach Wielkich (640 Bq/m³) – por. tabela 4.

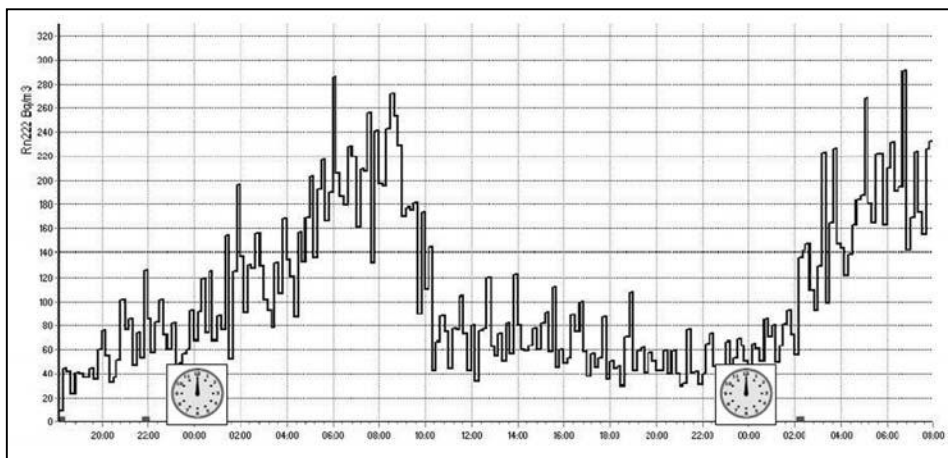
Pomiary stężeń radonu wykonywane były w kilkunastu miejscowościach, jednakże w wielu były to pomiary tylko w pojedynczych domach. Jedynie w Karpnikach, Jano-



Ryc. 4. Zestawienie stężeń radonu w Przesiece, Karpnikach i Janowicach



Ryc. 5. Stężenia radonu na parterach w Przesiece, Karpnikach i Janowicach



Ryc. 6. Dobowe zmiany stężenia radonu w mieszkaniu

wicach Wielkich i Przesiece liczba zbadanych domów była większa (tabela 2). Ryc. 4 przedstawia zestawienie występujących stężeń radonu w tych miejscowościach zmierzone na różnych kondygnacjach. Tak zestawione wyniki prowadzą do wniosku, że najwyższe stężenia radonu wystąpiły w domach w Przesiece. Dla lepszego porównania poziomów stężeń radonu w tych miejscowościach wydzielono wyniki pomiarów wykonanych tylko na parterach, co graficznie pokazano na ryc. 5. Widać, że najwyższe stężenia obserwuje się w Janowicach Wielkich, a najniższe w Karpnikach. Należy zatem zwrócić uwagę na sposób przedstawiania i interpretację (w szczególności dokonywania porównań) otrzymanych wyników.

Podsumowując akcję przeprowadzoną w ramach projektu „RADON – jak z nim żyć?”, należy podkreślić wagę i potrzebę tego typu działalności. Akcja pozwoliła na podniesienie świadomości społecznej mieszkańców regionu karkonoskiego w zakresie narażenia na szkodliwe wpływy radonu w środowisku zamieszkiwania, pracy i nauki oraz na zaktywizowanie mieszkańców i lokalnych władz w kierunku działań chroniących zdrowie.

Pomiary stężeń radonu przeprowadzono w okresie czerwiec – wrzesień, tzn. że detektory były eksponowane przez okres trzech miesięcy. To typowy okres stosowany w tego typu pomiarach. Pomiary te mają na celu określenie średniorocznego stężenia radonu występującego w danym budynku (pomieszczeniu). I tu pojawia się problem: jak na podstawie stosunkowo krótkiego czasu pomiaru (trzy miesiące) określić, jakie śred-

nie stężenie radonu panuje w czasie całego roku. Prowadzone wieloletnie badania naukowe pozwoliły na wyznaczenie tzw. „sezonowych współczynników korygujących”, których zastosowanie rozwiązuje ten problem. Wiadomo, że pomiary prowadzone w miesiącach wiosenno-letnich dadzą niższe wyniki stężeń radonu niż pomiary, które mają miejsce w miesiącach jesienno-zimowych. Wynika to z faktu, iż w miesiącach wiosenno-letnich dużo częściej w domach drzwi i okna są otwarte, co prowadzi do dużej wymiany powietrza wewnątrz budynku (mieszkania są lepiej i częściej wietrzane). Powietrze zewnętrzne o stosunkowo niskim stężeniu radonu miesza się z powietrzem w mieszkaniu i w efekcie prowadzi to do obniżenia stężenia radonu wewnątrz mieszkań. W porach roku, gdy na zewnątrz panują niskie temperatury, drzwi i okna pozostają zamknięte przez większość czasu i stężenia radonu w pomieszczeniach osiągają dużo większe wartości. Zjawisko to można zaobserwować nawet w skali jednej doby, co przedstawia ryc. 6. Na osi poziomej zaznaczono godziny, a na osi pionowej wartości rejestrowanych stężeń radonu w cyklach 10-minutowych. Widać wyraźnie zwiększanie się stężenia radonu w godzinach wieczornych, gdy drzwi i okna są zamknięte, oraz szybki spadek w godzinach rannych, gdy tryb życia zmusza nas do otwierania drzwi i okien. Podobny efekt daje się zaobserwować w cyklu rocznym.

Dla okresu 3-miesięcznych pomiarów, gdy początek pomiaru miał miejsce w czerwcu, „sezonowy współczynnik korygujący” wynosi 1,32. Oznacza to, że aby otrzymać war-

tość średniorocznego stężenia radonu należy wynik otrzymany na podstawie 3-miesięcznego pomiaru pomnożyć przez 1,32. Np. gdy wartość pomiaru 3-miesięcznego wynosiła 300 Bq/m^3 to stężenie średnioroczne w badanym pomieszczeniu wynosi: $300 \text{ Bq/m}^3 \times 1,32 = 396 \text{ Bq/m}^3 \approx 400 \text{ Bq/m}^3$.

Uzyskane wyniki wskazują, że na badanym terenie znajdują się budynki, które posiadają wysokie stężenia radonu (większe niż 400 Bq/m^3). W Polsce obecnie (2008 rok) nie ma przepisów określających dopuszczalne stężenia radonu w budynkach mieszkalnych. W większości państw (w tym w krajach Unii Europejskiej) istnieją takie przepisy. Przyjmuje się przeważnie różne dopuszczalne poziomy stężenia radonu dla budynków nowych i starych (niższe dla nowo budowanych i wyższe dla budynków już istniejących). Najczęściej są to wartości rzędu $200\text{--}400 \text{ Bq/m}^3$. Powyżej tych wartości należy podjąć działania zaradcze prowadzące do obniżenia stężenia radonu.

Obserwowane wartości średnich stężeń Rn-222 w mieszkaniach (dane CLOR) to: w świecie – 39 Bq/m^3 , w Polsce – $49,1 \text{ Bq/m}^3$, w Czechach – 140 Bq/m^3 , w Finlandii – 120 Bq/m^3 , w Szwecji – 108 Bq/m^3 . Maksymalne wartości stężeń Rn-222, które podaje literatura naukowa to $85\ 000 \text{ Bq/m}^3$ zmierzone w budynku w Szwecji i $20\ 000 \text{ Bq/m}^3$ w Finlandii. W Polsce maksymalna zmierzona wartość to $3\ 260 \text{ Bq/m}^3$.

Z uwagi na budowę geologiczną teren Sudetów to teren, na którym mogą, i co potwierdziły obecne badania, występować wyższe niż w innych częściach Polski stężenia radonu w budynkach. Należy jednak powtórzyć, o czym wspomniano już wcześniej, że „problem radonu” jest problemem typowo lokalnym, tzn. że należy określić na podstawie badań stężenie w konkretnym budynku, gdyż wartość stężenia radonu zależy od wielu czynników (rodzaj podłoża, stan, budynku, układ pomieszczeń i system wentylacji, stosowane materiały budowlane i jakość technik budowlanych).

DR KRZYSZTOF KOZAK

DR JADWIGA MAZUR

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ

IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO

POLSKIEJ AKADEMII NAUK W KRAKOWIE