

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Lesław Brunarski*

Marek Dohojda**

PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE W BUDYNKACH WIELKOPŁYTOWYCH

W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat ochrony mieszkańców przed promieniowaniem jonizującym. W szczególności omówiono charakterystykę samego czynnika zagrożenia i jego źródeł, obowiązujące wymagania, kryteria oceny oraz metody i wyniki dotychczasowych badań stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w próbkach stosowanych materiałów budowlanych oraz tła promieniowania gamma i stężenia radonu w powietrzu w budynkach wielkopłytowych, a także możliwości ograniczenia infiltracji radonu z podłoża do wnętrza budynków. Artykuł stanowi zmienioną wersję referatu przedstawionego na V Konferencji Naukowo-Technicznej „Warsztat pracy rzeczoznawcy budowlanego”, która odbyła się w Kielcach w dniach 27-29 kwietnia 1999 r.

1. Wprowadzenie

Promieniowanie jonizujące jest jednym z ważniejszych czynników środowiska człowieka, charakteryzujących warunki higieniczno-zdrowotne w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi. Istotne znaczenie dla istot żyjących mają dwie składowe tego promieniowania: tło promieniowania gamma, działające na całe ciało, oraz promieniowanie alfa wdychanych wraz z powietrzem produktów rozpadu radonu, działające na układ oddechowy.

Źródłami tła promieniowania gamma wewnątrz budynków są naturalne pierwiastki promieniotwórcze znajdujące się w wyrobach budowlanych produkowanych z surowców mineralnych i w podłożu, na którym posadowiony jest budynek, oraz część promieniowania kosmicznego, przenikająca do wnętrza budynku.

Radon i pochodne jego rozpadu promieniotwórczego, znajdujące się w powietrzu pomieszczeń budynków, pochodzą głównie z podłoża (z gruntu) oraz – w znacznie mniejszym stopniu – z elementów budynku, wykonanych z surowców mineralnych.

Chcąc więc w sposób bezpieczny kształtować warunki higieniczno-zdrowotne w pomieszczeniach budynków mieszkalnych, w tym również wielkopłytowych, trzeba eliminować

*prof. dr inż.

**mgr inż. – asystent w ITB

stosowanie wyrobów budowlanych zawierających w nadmiernych ilościach naturalne pierwiastki promieniotwórcze: potas K-40, rad Ra-226 (produkt rozpadu U-238) i tor Th-228 oraz – w przypadkach koniecznych – zastosować rozwiązania techniczno-budowlane zmniejszające infiltrację radonu z podłoża do budynku.

2. Charakterystyka oddziaływania promieniowania jonizującego i jego źródła

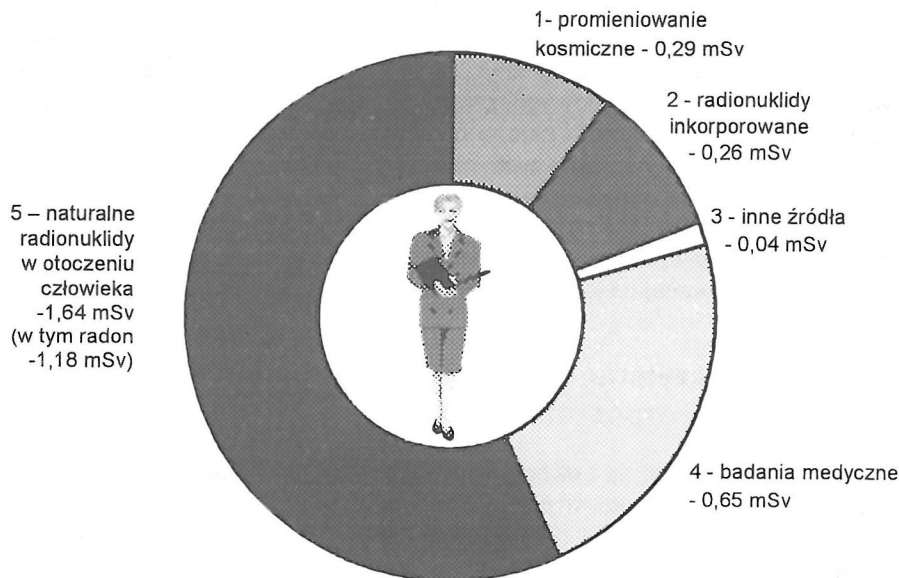
Promieniowanie jonizujące zawsze było, jest i będzie, ponieważ stanowi nieodłączny składnik biosfery ziemskiej, warunkujący prawidłowy rozwój żywej materii. Z drugiej strony wiadomo, że promieniowanie to wywołuje pewne zmiany chemiczne i biologiczne w komórkach i tkankach istot żywych. Dopóki nie są przekroczone określone poziomy promieniowania jonizującego, nie ma powodu do obaw, gdyż organizmy wykazują zdolność do regeneracji. Z kolei uważa się, że zbyt zaniżone poziomy tego promieniowania również nie są pożądane, gdyż – zgodnie z niektórymi hipotezami – mogą przyczynić się do żywiołowego rozwoju chorobotwórczych drobnoustrojów.

Miarą ryzyka wystąpienia szkody biologicznej jest pochłonięta przez człowieka dawka promieniowania, mierzona w milisiwertach/rok (mSv/y). Przeciętna roczna dawka przypadająca na statystycznego Polaka wynosi według danych CLOR z 1996 r. około 3 mSv [4]. Wartość ta obejmuje źródła naturalne i sztuczne, na przykład stosowane przez medycynę i wywołane awariami jądrowymi. Średnie dawki roczne, jakie otrzymuje mieszkaniec Polski z różnych źródeł promieniowania jonizującego, zostały zilustrowane na rysunku 1, przy czym warto zwrócić uwagę na znaczne dawki wynikające z obecności radonu pochodzącego z radionuklidów naturalnych, stosunkowo duże dawki będące efektem badań medycznych oraz zaskakujące niskie dawki otrzymane wskutek działalności wszystkich elektrowni jądrowych i próbnych wybuchów atomowych (w pozycji: inne źródła – wartość około 0,01 mSv).

Uwzględniając stwierdzone w przeszłości groźne skutki krótkotrwałych oddziaływań dużych dawek promieniowania na istoty żywe, które znajdowały się w strefach wybuchów jądrowych, w latach sześćdziesiątych przyjęto prognozy zagrożenia skutkami długotrwałych oddziaływań małych dawek promieniowania oparte na tzw. hipotezie liniowej. Hipoteza ta zakłada, że nawet minimalna dawka promieniowania w stosunku do otrzymanej przez mieszkańców w miejscu wybuchu bomby atomowej musi przynosić szkodę biologiczną i nie istnieje żaden próg, poniżej którego przestają występować skutki zdrowotne. Obecnie uważa się, że hipoteza ta jest sprzeczna ze zjawiskiem hormezy, uznawanej w lecznictwie, według której odpowiednio małe dawki leków są pożyteczne, groźne zaś może być jedynie istotne ich przedawkowanie.

Medycyna współczesna na podstawie badań eksperymentalnych i epidemiologicznych (ankietowych) potwierdza nawet dobroczynne wpływy małych dawek promieniowania na zdrowie istot żywych, między innymi dzięki zwiększeniu reakcji obronnych organizmu przeciwko chorobom nowotworowym i zakaźnym. Stąd jedynie słuszną w budownictwie zasadą ochrony przed promieniowaniem jonizującym powinno być zapewnienie niezwiększania narażenia na to promieniowanie użytkowników pomieszczeń. W tym kierunku zmierzają prace naukowo-badawcze ITB oraz działania prowadzone wspólnie

z CLOR (Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej). Obowiązujące w Polsce przepisy prawne [16-22] również wymagają od budownictwa przestrzegania zasady niedopuszczania do powstawania „nadwyżek” tła promieniowania gamma i stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi.



Rys. 1. Orientacyjne dawki roczne w mSv, jakie przeciętny mieszkaniec Polski otrzymał w 1996 r. z różnych źródeł promieniowania jonizującego, przy założeniu że 80% czasu przebywał w pomieszczeniach budynków

Głównymi źródłami promieniowania jonizującego oddziałującego na człowieka znajdującą się w pomieszczeniu są naturalne pierwiastki promieniotwórcze: potas, rad i tor, znajdujące się w wyrobach budowlanych (średnia dawka roczna promieniowania gamma na całe ciało – 0,46 mSv) oraz radon i pochodne jego rozpadu w powietrzu (średnia dawka roczna promieniowania alfa na układ oddechowy – 1,18 mSv). Według orientacyjnej oceny, z podłoża pochodzi 75% radonu, a z wyrobów budowlanych – 25%. Źródłem nadwyżek łącznych dawek promieniowania jonizującego (promieniowania gamma na całe ciało oraz promieniowania alfa na układ oddechowy) mogą więc być: zwiększona zawartość pierwiastków promieniotwórczych w wyrobach budowlanych z surowców pochodzenia mineralnego oraz wzrost stężenia radonu w powietrzu, pochodzącego w większości z podłoża.

Jak wyżej wspomniano, w ogólnym bilansie dawek promieniowania największy udział ma gaz szlachetny – radon, a więc ten składnik wymaga dokładniejszego omówienia. Z dwóch izotopów radonu: Rn-222 i Rn-220, powstających w wyniku rozpadu izotopów z szeregow uranowego i torowego, istotny jest pierwiastek Rn-222 (okres półrozpadu 3,82 doby i promień migracji około 1 m). Z kolei produktami jego rozpadu są izotopy

pierwiastków metalicznych aktywne chemicznie: trzy – polonu, dwa – bizmutu i trzy – ołowiu. Produkty rozpadu radonu znajdującego się w powietrzu stanowią jego radioaktywne zanieczyszczenie [2], [9], występujące jako frakcja wolna, złożona z wolnych jonów i ich aglomeratów, oraz frakcja związana, oznaczająca tę część produktów rozpadu radonu, która łączy się drogą elektrostatyczną z cząstkami pyłów, aerozoli i innych zawiesin. Stąd szczególnie znaczny (wielokrotny) wzrost stężenia produktów rozpadu radonu obserwuje się w pomieszczeniach, w których powietrze jest zanieczyszczone dymem tytoniowym. Obie frakcje produktów rozpadu radonu dostają się wraz z powietrzem do układu oddechowego, znaczna ich część (szczególnie frakcja wolna) osadza się na tkankach oskrzeli i płuc, a podlegając dalszemu rozpadowi, powoduje kumulujące się napromieniowanie tych narządów cząstkami alfa. Wprawdzie sam wdychany radon stanowi mniejsze zagrożenie, gdyż jest dość szybko usuwany przez wydech, a tylko niewielka jego część ulega rozpadowi podczas cyklu oddychania, ale jego zawartość (stężenie) w powietrzu pomieszczeń uważa się za miarodajny wskaźnik oceny dawki otrzymywanej od jego pochodnych.

3. Wymagania, kryteria oceny i metody badań promieniotwórczości naturalnej

Wymagania krajowe wynikają z dwóch ustaw sejmowych: Prawo budowlane [16] i Prawo atomowe [19] oraz z aktów prawnych wydawanych z mocy tych ustaw przez ministrów odpowiednich resortów [17], [18], [20]. Zgodnie z tymi aktami budynki przeznaczone na stały pobyt ludzi powinny odpowiadać następującym warunkom:

- dawka graniczna (nadwyżka) promieniowania jonizującego, z powodu stosowania wyrobów powszechnego użytku emitujących takie promieniowanie, nie może przekroczyć wartości 1 mSv/y na całe ciało,
- budynek nie może być wykonany z wyrobów budowlanych, w których przekroczone są graniczne zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych,
- średnie roczne stężenie radonu Rn-222 w pomieszczeniach budynku przeznaczonych na stały pobyt ludzi nie może przekraczać: 200 Bq/m³ (bekereli na metr sześcienny powietrza) w budynkach oddawanych do użytku po dniu 1 stycznia 1998 r. oraz 400 Bq/m³ w budynkach pozostałych.

Obowiązujące metody badań i kryteria oceny są ujęte w Instrukcji ITB 234/95 [21]. W instrukcji tej, mając na uwadze wspomniane dwa rodzaje narażenia istot żywych na promieniowanie jonizujące, a mianowicie narażenie całego ciała na promieniowanie gamma oraz narażenie układu oddechowego na promieniowanie alfa, za podstawę oceny wyrobów budowlanych przyjęto dwa współczynniki kwalifikacyjne f_1 i f_2 .

Pierwszy współczynnik (wielkość niemianowana), związany z ograniczeniem zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w wyrobach, obliczany jest ze wzoru

$$f_1 = 0,00027S_K + 0,0027S_{Ra} + 0,0043S_{Th} \quad (1)$$

w którym S_K , S_{Ra} , S_{Th} to oznaczone – na podstawie badania próbki – stężenia izotopów odpowiednio: potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228, w Bq/kg (bekerelach na kg masy).

Drugi współczynnik (w Bq/kg), związany z ograniczeniem stężenia radu Ra-226 (źródła radonu z wyrobów budowlanych), przyjmuje się jako równy

$$f_2 = S_{Ra} \quad (2)$$

Zalecona w instrukcji graniczna wartość współczynnika $f_1 = 1$ wynika z warunku niezaistnienia w budynku „nadwyżki” dawki równoważnej promieniowania dla przeciętnego człowieka (pomijając dawki ze źródeł naturalnych i medycznych) większej od 1 mSv w ciągu roku. Warto tu podkreślić, że dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia na promieniowanie (odpowiednio szkolonych i instruowanych) roczną dawkę graniczną określa się na 50 mSv.

Zalecona w instrukcji ITB [21] graniczna wartość współczynnika $f_2 = 185$ Bq/kg wynika z założenia, że maksymalne stężenie radonu Rn-222 w powietrzu w pomieszczeniu, pochodzącego z radu Ra-226 zawartego w materiale ścian i stropów budynku, wynosi poniżej 50 Bq/m³. Przyjmując, że około 75% radonu w powietrzu pomieszczeń pochodzi z podłoża, łączne roczne średnie stężenie radonu przy takim założeniu nie przekroczy wartości 200 Bq/m³.

Oceny partii wyrobów budowlanych dokonuje się na podstawie kryteriów zgodności z wymaganymi w Instrukcji ITB 234/95 [21] dopuszczalnymi wartościami współczynników $f_{1 \max}$ i $f_{2 \max}$, obliczonych na podstawie oznaczonych wartości stężeń S_K, S_{Ra}, S_{Th} w próbce reprezentatywnej, przy uwzględnieniu błędów pomiarów stężeń: $\Delta S_K, \Delta S_{Ra}, \Delta S_{Th}$.

Próbka odpowiada wymaganiom, jeśli równocześnie spełnione są następujące dwa kryteria zgodności:

$$\begin{aligned} f_{1 \max} &= f_1 + \Delta f_1 < 1 \\ f_{2 \max} &= f_2 + \Delta f_2 < 185 \text{ Bq/kg} \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie Δf_i – błędy pośredniego określenia współczynników kwalifikacyjnych, obliczane ze wzorów (1) i (2), po podstawieniu w miejsce stężeń S_i wartości błędów ich pomiaru ΔS_i , wyznaczone przy poziomie ufności 0,95.

Procedury przygotowania próbek, ich badania i oceny zgodności wyników z wymaganiami zostały ustalone w Instrukcji ITB 234/95 [21].

Standardowe laboratoryjne oznaczanie stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w surowcach i wyrobach budowlanych przeprowadza się na próbkach zmielonego tworzywa o objętości około 2 dm³ za pomocą aparatury spektrometrycznej z detektorami scyntylacyjnymi. W kraju badania tego rodzaju wykonują między innymi: ITB, CLOR i Cebet w Warszawie, IFJ i AGH w Krakowie, GIG w Katowicach, IMMW w Opolu, AM w Białymstoku oraz kilka mniejszych laboratoriów badawczych, pozytywnie zaopiniowanych przez CLOR.

Metody i warunki pomiaru stężenia radonu *in situ* są ustalone w Instrukcji ITB 352/98 [22]. Aktualnie do pomiarów mogą być wykorzystywane detektory z aktywnym węglem lub śladowe cząstki alfa z barierą dyfuzyjną, albo elektretowe komory jonizacyjne.

Zgodnie z instrukcją ITB [22] badaniami radonowymi powinny być objęte istniejące budynki w przypadku kiedy można oczekiwać, że ze względu na podłoże geologiczne, konstrukcję budynku oraz zastosowane wyroby budowlane w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi może być przekroczona średnia roczna wartość stężenia

radonu wynosząca 100 Bq/m^3 . Regiony kraju lub miejscowości, w których podłoże geologiczne może powodować podwyższoną emisję radonu do powietrza, wskazuje PIG (Państwowy Instytut Geologiczny). Ocena rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych budynku z punktu widzenia zagrożenia radonowego należy do kompetencji ITB. Do oceny metod pomiarowych radonu oraz warunków wykonywania pomiarów uprawnione jest CLOR.

W diagnostyce radonowej budynków rozróżnia się badania selekcyjne (wstępne) oraz szczegółowe (kompleksowe). Podstawę oceny higieniczno-zdrowotnej obiektu oraz wnioskowania o potrzebie opracowania rozwiązań techniczno-budowlanych zabezpieczających przed nadmierną infiltracją radonu do budynku stanowią dopiero wyniki badań szczegółowych.

W kraju tego rodzaju badania wykonują aktualnie: CLOR i ITB w Warszawie, AGH i IFJ w Krakowie oraz GIG w Katowicach. Jednostka organizacyjna, laboratorium lub podmiot, które zamierzają prowadzić pomiary radonowe w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi, muszą mieć stosowną akredytację PCBC lub upoważnienie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) jako organu administracji państwowej kompetentnego w sprawach ochrony radiologicznej.

4. Ocena materiałów budowlanych stosowanych do produkcji wielkich płyt

Problem oceny wpływu materiałów budowlanych stosowanych do produkcji wielkich płyt na poziom promieniowania jonizującego zaistniał w Polsce w chwili rozpoczęcia budowy pierwszych budynków z wielkiej płyty. Tematykę tę podjęto w ITB w latach sześćdziesiątych z inicjatywy J. Borowskiego i M. Grąbczewskiej w ramach badań finansowanych przez fundusz polsko-amerykański im. M. Curie-Skłodowskiej. W tym czasie J. Peńsko w CLOR prowadził pierwsze badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych oraz opracowywał prognozy potencjalnych zagrożeń, podsumowane w zbiorczej informacji w 1975 r. [10]. Wobec niejednoznacznej identyfikacji badanych próbek materiałów (przez prefabrykat rozumiano zarówno wyrób z żużłobetonu, jaki z betonu zwykłego) oraz prognozowania na podstawie hipotezy liniowej, jak również niedoceniań w tym czasie znaczenia oddziaływania radonu infiltrującego z podłoża do pomieszczeń, wyniki te mają tylko wartość historyczną. Niemniej spowodowały one w swoim czasie serię alarmujących sygnałów prasowych, na przykład słynny artykuł redaktora P. w „Perspektywach” pt. „Śmierć się czai w wielkiej płycie”. Autor artykułu przecenił wielokrotnie procentowe prognozy skutków zagrożeń, jednak mimo replik nie odwołał swojego osądu, a echa tej bałamutnej publikacji pojawiają się jeszcze w ostatnich latach.

Systematyczne prace związane z promieniowaniem jonizującym w budownictwie, w tym dotyczące opracowania standardowej krajowej aparatury pomiarowej, prowadzone były od 1975 r. wspólnie przez zespoły z CLOR pod kierunkiem B. Gwiazdowskiego oraz z ITB pod kierunkiem L. Brunarskiego, a podsumowanie pierwszych wyników przedstawiono na I Krajowym Sympozjum nt. „Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych

w budownictwie na zdrowie człowieka”, zorganizowanym przez ITB w 1980 r. w Warszawie. W tym samym roku wydano wspomnianą już Instrukcję ITB 234 [21] i zarządzeniem ministra budownictwa wprowadzono obowiązkową kontrolę surowców i materiałów budowlanych. Ustalone w instrukcji wymagania oraz metodyka oznaczania i oceny wyrobów zostały uwzględnione w większości polskich norm budowlanych dotyczących wyrobów budowlanych, między innymi z betonów zwykłych i lekkich oraz z ceramiki.

Od tego czasu badania kontrolne nowych wyrobów budowlanych oraz próbek pobranych z istniejących budynków są prowadzone w kraju przez szereg wymienionych już jednostek, a wyniki w przeważającej liczbie są gromadzone w bazach danych CLOR oraz w ITB. Na podstawie zebranych danych można wstępnie oszacować zagrożenie promieniowaniem jonizującym w budynkach z wielkiej płyty, pochodzącym z wyrobów budowlanych.

W tabelicy 1 podano charakterystykę materiałową ścian zewnętrznych stosowanych w Polsce w systemach wielopłytowych. Jak wynika z tabelicy, podstawowymi materiałami budowlanymi w tych ścianach, produkowanymi z zastosowaniem surowców mineralnych, są: betony zwykłe, lekkie komórkowe lub keramzytowe oraz izolacje z wełny mineralnej.

W zestawieniu pominięto materiały stosowane w ścianach wewnętrznych, pamiętając, że są to betony zwykłe w przypadku poprzecznych układów konstrukcyjnych, albo betony komórkowe lub ceramika w układach pozostałych.

Porównanie otrzymanych na podstawie wieloletnich badań w ITB wartości współczynników kwalifikacyjnych f_1 , f_2 , charakteryzujących wymienione w tabelicy 1 materiały budowlane, przedstawiono w postaci słupkowych wykresów na rysunku 2. Na wykresach tych pokazano wartości średnie oraz wartości ekstremalne obu współczynników. Dane zamieszczone w corocznych raportach GUS [3] pominięto w zestawieniu, bowiem z wyjątkiem ceramiki wszystkie materiały potraktowano tam łącznie, a więc na przykład beton zwykły z keramzytowym, beton komórkowy produkowany z piasku z betonem z popiołu lotnego. Podawane przez GUS dane z 1996 r. dotyczące ceramiki są zbliżone do wyników badań ITB; na przykład współczynnik f_1 od 0,07 do 0,96 (średnio 0,50), współczynnik zaś f_2 – od 2 do 154 (średnio 48).

Krajowe wyroby budowlane można [6] podzielić na trzy grupy, według zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych.

Do pierwszej grupy, o niskiej zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych (max f_1 mniejszy od 35% wartości granicznej), należą: beton komórkowy produkowany z zastosowaniem piasku, beton zwykły i cegła sylikatowa, a także inne, pominięte na wykresie, np. gips, wapno.

Do drugiej grupy, o średniej zawartości pierwiastków promieniotwórczych (max f_1 mniejszy od 60% wartości granicznej), zaliczyć można beton lekki z kruszywem keramzytowym.

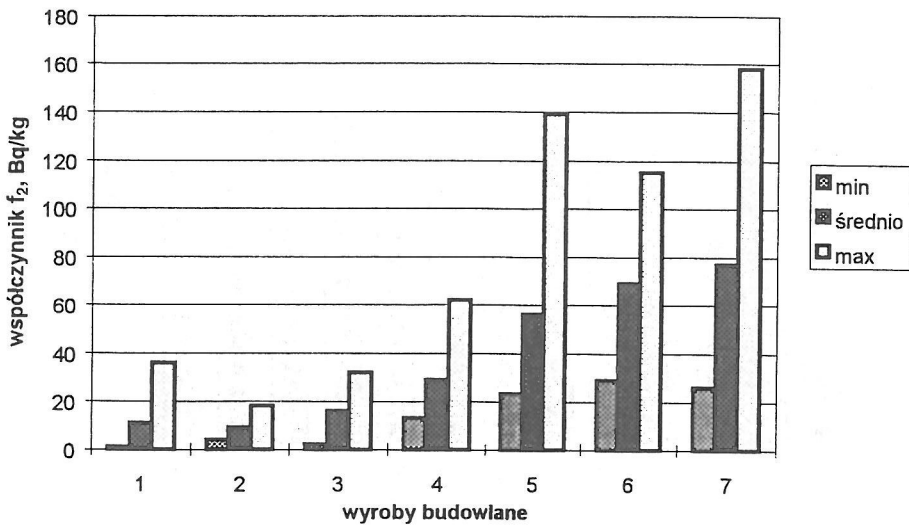
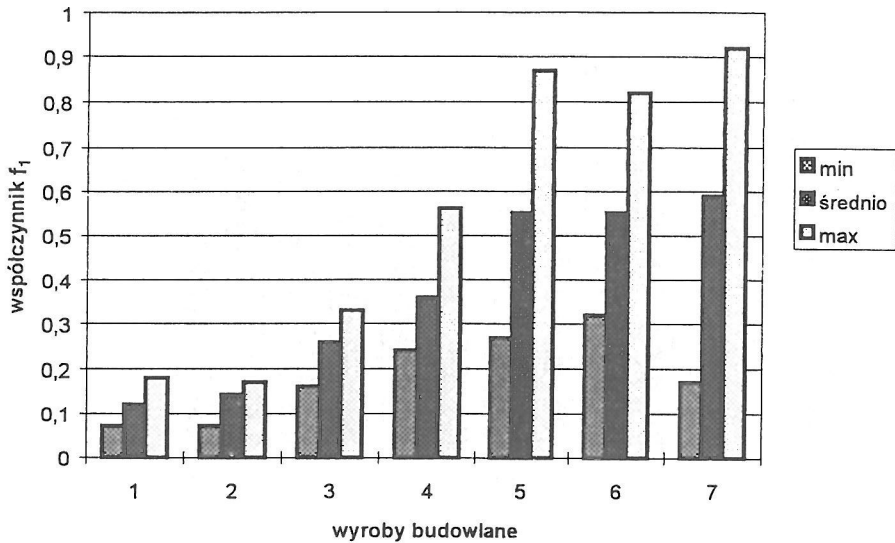
Do trzeciej grupy, o podwyższonej w stosunku do średniej zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, należą: cegła ceramiczna z glin krajowych, żużlobeton i beton komórkowy produkowany z zastosowaniem popiołów lotnych (pyłów dymnicowych). Warto podkreślić, że cegła ceramiczna znajduje się w jednej grupie z żużlobetonem i wymienionym betonem komórkowym.

Tablica 1. Charakterystyka materiałowa ścian zewnętrznych w budynkach z wielkiej płyty

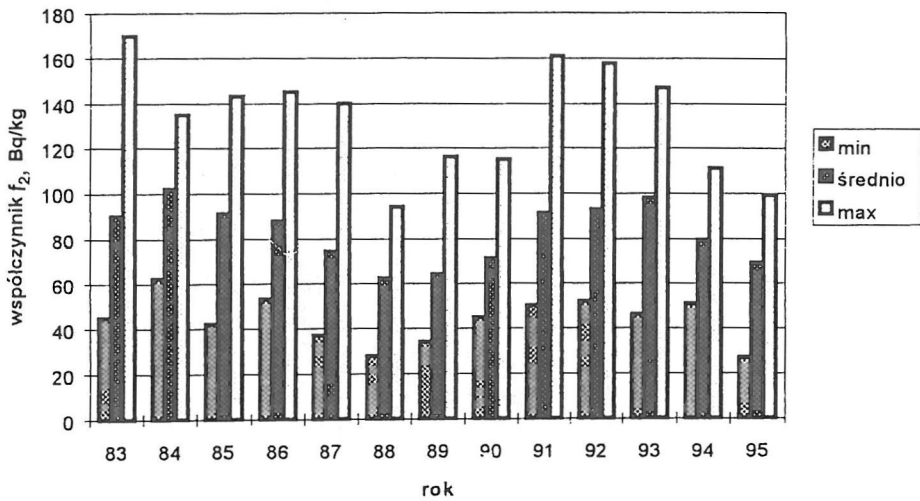
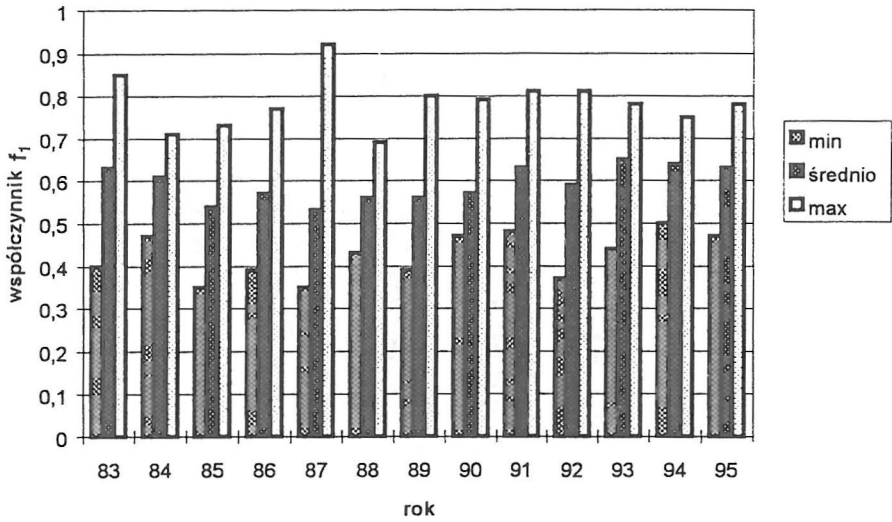
Lp.	System	liczba kondygnacji	Ściany zewnętrzne nośne					Ściany zewnętrzne nienośne				
			beton zwykły	izolacja		beton komórkowy	keramzytobeton	beton zwykły	izolacja		beton komórkowy	keramzytobeton
				wetna min.	styropian				wetna min.	styropian		
1	W-70	16	+	+				+	+			
2	Wk-70	16	+	+				+		+		
3	OWT-67	16	+					nie występuje				
4	OWT-75	16	+	+							+	
5	SZCZECIN	13					+					+
6	WUF-T/K	16	+	+				nie występuje				
7	WWP	11	+	+					+	+		
8	J	13	+	+					+	+		
9	SZCZECIN S	12	+		+			+		+		
10	WUF-80 GT	12	+	+				nie występuje				
11	DOMINO 77	5	+	+				nie występuje				
12	SB 77b	5	+	+					+	+		
13	WINOGRADY 5k	5					+	nie występuje				
14	WINOGRADY 16k	16					+	nie występuje				
15	DĄBROWA 78	12	+			+					+	
16	CzWP-75	11	+		+			+		+		
17	OWT-R1	3	+		+			nie występuje				
18	OWT-R2	3	+		+			nie występuje				
19	RBM 73/80	3	+			+					+	
20	RGM 75/80	3						+	+			
21	GRM 76/80	5	+	+								
22	WIELKI BLOK Ż	13	+			+					+	
RAZEM		-	18	9	4	2	3	5	5	6	4	1

Na rysunku 3 pokazano opracowane na podstawie danych Cebet [8] wykresy słupkowe średnich i ekstremalnych wartości współczynników kwalifikacyjnych betonów komórkowych w poszczególnych latach do 1995 r. Jak wynika z rysunków 2 i 3, zaliczający się do grupy trzeciej beton komórkowy produkowany z popiołów dymnicowych ma tylko nieznacznie wyższe wartości współczynników kwalifikacyjnych niż ceramika.

Na podstawie wyników dotychczasowych badań kontrolnych betonów komórkowych i stosowanych do ich produkcji popiołów lotnych prognozuje się, że prawdopodobieństwo wystąpienia w tym materiale współczynników kwalifikacyjnych wyższych od granicznych jest znikome, chociaż w samych popiołach przekroczenia takie są stwierdzane [1], [6], [8].



Rys. 2. Średnie oraz ekstremalne (minimalne i maksymalne) wartości współczynników kwalifikacyjnych na podstawie badań ITB [8] niektórych wyrobów budowlanych: 1 – beton komórkowy piaskowy, 2 – cegła silikatowa, 3 – beton zwykły, 4 – keramzytobeton, 5 – cegła i wyroby ceramiczne, 6 – żużlobeton, 7 – beton komórkowy popiołowy



Rys. 3. Średnie i ekstremalne (minimalne i maksymalne) wartości współczynników kwalifikacyjnych betonów komórkowych wyprodukowanych z zastosowaniem popiołów lotnych, zbadanych przez COBR PB Cebet w latach 1980-1995 [8]

Wprowadzony w Polsce w 1980 r. system kontroli promieniotwórczości surowców i materiałów budowlanych funkcjonuje nadal w przemysłach cementowym, ceramiki, kruszywo i betonów oraz coraz sprawniej jest egzekwowany przez służby budowlane i ochrony środowiska w terenie. Jako niepokojące należy odnotować przypadki występowania na rynku i nabywania przez indywidualnych odbiorców importowanych wyrobów budowlanych produkowanych z surowców mineralnych o nieznanym cechach promieniotwórczych. Wśród tych, które badano w ITB, znajdowały się wyroby, które nie spełniały wymagań polskich i zostały zdyskwalifikowane (odmowa aprobaty technicznej), na przykład importowana ceramika i ściennie płytki szklone. Problem ten jest podobny do występującego w przypadku importowanej żywności, produktów chemicznych itp., a jego rozwiązanie może nastąpić w miarę zaostrzenia działań nadzorujących służb państwowych oraz spodziewanego spadku liczby indywidualnych nabywców wyrobów niepewnego pochodzenia, bez certyfikatów bezpieczeństwa czy certyfikatów lub deklaracji zgodności wymaganych przez obowiązujące Prawo budowlane.

Można więc postawić tezę, że obowiązujące w kraju od 1980 r. przepisy dotyczące wymagań, metodyki pomiarów i kryteriów oceny wyrobów budowlanych pod względem zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych dostatecznie zabezpieczają mieszkańców przed nadmiernym oddziaływaniem promieniowania jonizującego. Tezę tę potwierdzają omawiane w następnych punktach artykułu wyniki dotychczasowych, wrywkowo prowadzonych *in situ* pomiarów kontrolnych tła promieniowania gamma i stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków mieszkalnych, w tym również z wielkiej płyty, wzniesionych zarówno przed, jak i po roku 1980.

5. Wyniki badań tła promieniowania gamma w budynkach wielkopłytowych

Jeśli chwilowo pominąć promieniowanie kosmiczne, tło promieniowania gamma w pomieszczeniach mieszkalnych jest głównie wynikiem rozpadu naturalnych pierwiastków promieniotwórczych zawartych w materiałach budowlanych pochodzenia mineralnego, na wolnym zaś powietrzu – rozpadu tychże pierwiastków znajdujących się w podłożu. Dawki promieniowania pochłaniane przez ludność zależą w sposób złożony nie tylko od ich stężenia w otaczających materiałach, lecz od wielu innych czynników, takich jak geometria ich rozmieszczenia, pochłanianie promieniowania przez te materiały oraz od sposobu spędzania czasu przez poszczególnych ludzi. Stąd na przykład przy oszacowaniach dawki rocznej zakłada się, że w krajach rozwiniętych współczesny człowiek zamieszkujący obszary umiarkowanego klimatu przebywa 80% czasu w budynku oraz 20% na wolnym powietrzu.

Miarą tła promieniowania jest zwykle moc dawki pochłoniętej promieniowania w określonym czasie (równoważnik dawki pochłoniętej w tkance żywej, przy czym organami krytycznymi są gonady oraz układ krwionośny i limfatyczny). Jednostką dawki pochłoniętej w ciągu roku jest 1 mGy/y (miligrej na rok). Stosowane są również jednostki pochodne mocy dawki, na przykład nGy/h (nanogrej na godzinę).

Dotychczas nie prowadzono masowych pomiarów kontrolnych w budynkach z wielkiej płyty, ale wyniki badań wykonywanych w różnych budynkach mieszkalnych na terenie

kraju przez wiele ośrodków pozwalają na oszacowanie tła promieniowania gamma również w tych obiektach.

Jedne z pierwszych były badania prowadzone przez IFJ w Krakowie w latach 1977-1980 [5]. Badania te dotyczyły budownictwa wielorodzinnego, zarówno tradycyjnego, jak i u-przemysłowionego. Określenie pierwsze oznacza budynki stare z XIII i XIV wieku wykonane z kamienia i cegły, drugie natomiast – współczesne z betonu, w tym głównie z wielkich płyt, wykonywanych w Krakowie z mieszanek betonowych żwirowo-piaskowych.

Pomiary wykonano w ponad 300 budynkach oraz w 44 punktach Krakowa na otwartym powietrzu. W badaniach posłużono się dwoma metodami: termoluminescencyjną i ciśnieniowej komory jonizacyjnej.

Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma w budynkach z betonu (w tym również w kilku budynkach z betonu wykonanego z zastosowaniem żużla i pyłów dymnicowych) okazała się niższa o około 10% od średniej mocy dawki w budynkach z cegły czerwonej i wynosiła 56,9 nGy/h (15,8 pGy/s przy rozrzutach od 10 do 26,6 pGy/s). Łącznie z promieniowaniem kosmicznym wyniosłoby to około 93,4 nGy/h. Moce dawek promieniowania gamma wewnątrz pomieszczeń okazały się o 19% wyższe od tychże w terenie otwartym. Średnie stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w pobranych próbkach cegieł były również znacznie większe niż w próbkach betonu zwykłego. Średni roczny równoważnik dawki na jednego mieszkańca oszacowano na 0,4 mSv/y od promieniowania gamma materiałów budowlanych, co stanowi około 57% wartości 0,7 mSv/y, tj. średniego rocznego równoważnika dawki na mieszkańca od wszystkich źródeł naturalnego promieniowania gamma, do których zalicza się promieniowanie kosmiczne oraz promieniowanie podłoża podczas przebywania w tym okresie na terenie otwartym na obszarze Krakowa.

Obszerne badania na terenie makroregionu północno-wschodniego Polski przeprowadzone zostały w 1982 r. przez Akademię Medyczną w Białymstoku [15]. Pomiary wykonano w 330 budynkach drewnianych, murowanych i z prefabrykatów betonowych (głównie z wielkiej płyty systemu OWT), usytuowanych na terenie trzech ówczesnych województw: białostockiego, łomżyńskiego i suwalskiego. Średnia moc dawki promieniowania gamma pochłoniętej przez człowieka (łącznie z promieniowaniem kosmicznym) w badanych budynkach wynosiła 94,2 nGy/h. Wielkość ta zmieniała się od 83,7 nGy/h w budynkach z wielkiej płyty do 107,1 nGy/h w budynkach murowanych z cegieł. Średni roczny równoważnik dawki promieniowania gamma na mieszkańca tego regionu oszacowano w owym czasie na około 0,8 mSv/y, a więc nieco wyżej niż na obszarze Krakowa.

W tym samym okresie prowadzone były przez ITB [12] podobne badania na terenie Ursynowa w kilkunastu budynkach z wielkiej płyty, głównie systemu Szczecin (beton keramzytowy). Średnia moc dawki promieniowania gamma w badanych budynkach (łącznie z kosmicznym promieniowaniem) wynosiła 111,9 nGy/h, a więc nieco wyżej niż średnio w systemie OWT w omawianym makroregionie północno-wschodnim. Podczas tych badań stwierdzono również dość dobrą korelację otrzymanych wyników pomiarów tła promieniowania gamma *in situ* oraz oszacowań na podstawie pomiarów stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w próbkach materiałów pobranych ze ścian budynków.

6. Wyniki badań stężenia radonu w powietrzu w budynkach wielkopłytowych

Wobec funkcjonującego – opisanego wyżej – systemu eliminacji wyrobów budowlanych, w których występują nadmierne stężenia izotopu radu Ra-226, ewentualna podwyższona zawartość radonu w powietrzu wewnątrz budynku wynika z jego napływu z podłoża, na którym stoi obiekt. Stąd też, w odróżnieniu od wpływu tła promieniowania gamma, istnieje możliwość zmniejszenia narażenia mieszkańców na promieniowanie alfa przez ograniczenie infiltracji radonu z podłoża do budynku. Podstawowe sposoby zmniejszenia infiltracji radonu są omówione w następnym punkcie artykułu.

Z dotychczasowych wrywkowo prowadzonych badań nie wynika, że stan zagrożenia radonowego mieszkańców Polski jest alarmujący. W pomiarach ogólnopolskich stwierdzono [7], [9], że średnie stężenie radonu w powietrzu w mieszkaniach wynosi poniżej 50 Bq/m^3 , a tylko w regionach podgórskich osiąga 75 Bq/m^3 . Największe wartości zmierzone dotychczas w Polsce (około 600 Bq/m^3) zarejestrowano w rejonie Karkonoszy. Nie można wykluczyć, że w regionie południowo-zachodnim kraju zachodzi prawdopodobieństwo rzędu kilku procent znalezienia mieszkań o stężeniach radonu powyżej 400 Bq/m^3 .

Podobnie jak w przypadku tła promieniowania gamma, nie prowadzono w kraju masowych systematycznych pomiarów kontrolnych stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków z wielkiej płyty. Główną przyczyną był brak ujednoczonych metod pomiarowych. Możliwa jest jednak orientacyjna ocena średniego rocznego poziomu stężenia radonu na podstawie dotychczasowych wyników badań wykonanych w różnych budynkach mieszkalnych na terenie kraju.

Jedne z pierwszych były badania prowadzone przez PZH w Warszawie [13] w 1980 r. W publikacji podano wyniki 221 pomiarów stężenia radonu wewnątrz nie wentylowanych (co należy podkreślić), nie zasiedlonych mieszkań w nowo budowanych systemami uprzemysłowionymi trzech warszawskich osiedlach: Bródno, Stegny i Służewiec. Pomimo różnic w technologiach budownictwa nie udało się stwierdzić wpływu określonej technologii na poziom stężenia radonu w pomieszczeniach. Największą wartość średnią – około 75 Bq/m^3 – otrzymano w pokojach na terenie Służewca, przypuszczalnie z uwagi na większą szczelność mieszkań w tym osiedlu. Wartość maksymalna stężenia zarejestrowana w trakcie badań, wynosząca 192 Bq/m^3 , jest niższa od 200 Bq/m^3 , tj. wartości dopuszczalnej w budynkach nowych. Równocześnie badano wpływ wentylacji na poziom stężenia radonu w pomieszczeniach. Stwierdzono, że średnie stężenia wewnętrzne w pomieszczeniach dobrze wietrzonych są zaledwie 2-5 razy większe od stężenia w powietrzu atmosferycznym poza budynkiem, natomiast w pomieszczeniach nie wentylowanych około 15 razy większe.

Pomiary radonowe wykonywano również w ramach wspomnianych już badań Akademii Medycznej w makroregionie północno-wschodnim [15]. Średnia wartość stężenia radonu w powietrzu (oszacowana pośrednio przez pomiar stężenia pochodnej rozpadu Po-218), otrzymana na podstawie badań w 185 pomieszczeniach mieszkalnych, wyno-

siła około 16 Bq/m^3 . Najwyższe wartości, około 21 Bq/m^3 , uzyskano w budynkach z cegły. Przewyższają one około trzykrotnie średnie wartości w budynkach drewnianych i około dwukrotnie – w budynkach z betonu.

Na zlecenie ITB w 1984 r. CLOR prowadził pomiary stężenia radonu w powietrzu w 20 szkołach warszawskich, wykonanych w technologii wielkoblokowej z żużlobetonu. Stosowano również pośrednią metodę pomiaru aktywności promieniowania alfa produktów rozpadu radonu na filtrze. Oszacowano, że stężenie radonu w pomieszczeniach szkolnych wynosiło od 2 do 33 Bq/m^3 , z wyjątkiem jednej zamkniętej i od dłuższego czasu nie wietrzanej sali gimnastycznej, w której stwierdzono poziom stężenia około 70 Bq/m^3 .

Wyniki własnych badań CLOR zawarte są w publikacji z 1993 r. [7]. Pomiary prowadzono w budynkach wykonywanych w sposób tradycyjny z drewna i cegły oraz uprzemysłowionych – z betonu. Najniższe wartości stężeń, około 30 Bq/m^3 , zarejestrowano w budynkach z betonu, a więc wysokich, dwukrotnie zaś większe w budynkach murowanych i trzykrotnie – w drewnianych, a więc w budynkach niskich. Ponieważ ściany drewniane nie mogą być źródłem ekshalacji radonu, wyniki te raz jeszcze potwierdzają hipotezę, że głównym źródłem radonu w pomieszczeniach jest podłoga budynku.

Podobne były wyniki badań prowadzonych również przez CLOR na zlecenie CEBET [7]. I tak, średnie i maksymalne wartości stężeń radonu w powietrzu w poszczególnych rodzajach budynków wynosiły odpowiednio: w drewnianych – 92 i 172 Bq/m^3 , w ceglanych – 86 i 116 Bq/m^3 , z betonu komórkowego – 57 i 100 Bq/m^3 oraz w budynkach z wielkiej płyty – 47 i 108 Bq/m^3 .

Obszerne badania radonu w budynkach murowanych z cegieł oraz wykonanych z wielkiej płyty na terenie Górnego Śląska prowadził GIG [14]. Pomiary wykonywano z zastosowaniem detektorów z węglem aktywnym. Z uwagi na specyfikę regionu rozróżniano dwa obszary hydrogeologiczne: I – Nieckę Bytomską (pozbawioną nieprzepuszczalnego nadkładu mioceńskiego) i II – część pozostałą. Średnie i maksymalne wartości stężeń radonu w powietrzu w poszczególnych regionach wynosiły odpowiednio: I – 65 i 362 Bq/m^3 oraz II – 42 i 128 Bq/m^3 . Nie zauważono wyraźnych różnic w budynkach w zależności od rodzaju materiału. W omawianych badaniach stwierdzono jednak przypadki wysokiego stężenia radonu w pomieszczeniach na wyższych kondygnacjach, co wskazywałoby na wpływ zastosowanych materiałów. Niestety, nie zidentyfikowano źródła infiltracji.

Kontrolne pomiary radonowe *in situ* prowadził ITB w roku 1997. Wykonano ponad 100 oszacowań stężenia radonu w powietrzu użytkowanych pomieszczeń mieszkalnych. Otrzymane wyniki grupują się w trzech przedziałach. Przedział pierwszy, w którym średnia i największa wartość stężenia radonu wynosiła odpowiednio 10 i 45 Bq/m^3 , odnosi się do budynków wielokondygnacyjnych z wielkiej płyty na terenie Warszawy. Dwa pozostałe przedziały, o średnich wartościach stężenia radonu równych 65 i 115 Bq/m^3 , dotyczą budynków niskich z drewna i betonu komórkowego wykonanego z zastosowaniem popiołów lotnych w rejonach podmiejskim i wiejskim.

Z wyciąganiem wniosków należałoby się wstrzymać do czasu zakończenia systematycznych badań planowanych w latach 1999-2000.

7. Możliwości zmniejszenia poziomu tła promieniowania gamma i stężenia radonu w istniejących budynkach

Oczywiście należy preferować zasadę wstępnej oceny danego terenu pod zabudowę, wykonując pomiary stężenia radonu w próbkach gruntu pochodzących z warstwy wierzchniej terenu oraz z poziomu przyszłych posadzek pomieszczeń podziemnych budynku, a także stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym.

Niestety, poza wyjątkowymi przypadkami, takimi jak wykrycie i usunięcie lokalnego źródła promieniowania (np. kawałka rudy uranowej, co zdarzyło się na jednym z osiedli moskiewskich), lub stwierdzenie zastosowania materiałów o znacznym stężeniu naturalnych radionuklidów w wielu obiektach, które zdecydowano się rozebrać (co zdarzyło się w Szwecji), nie ma możliwości zmniejszenia tła promieniowania. Dlatego taką wagę przywiązuje się do kontrolnych badań surowców i wyrobów budowlanych dopuszczalnych do stosowania.

W świetle przedstawionych tu wyników nie stwierdzono dotychczas w kraju przypadków znacznych przekroczeń dopuszczalnego stężenia radonu w badanych pomieszczeniach budynków z wielkiej płyty. Odnotowano natomiast takie przypadki w wyniku badań innych budynków mieszkalnych. Poniżej omówiono podstawowe procedury możliwych działań zapobiegawczych.

W istniejących budynkach ograniczenie infiltracji radonu z podłoża można uzyskać za pomocą jednego z trzech sposobów – pokazanych na rysunku 4 – lub ich kombinacji:

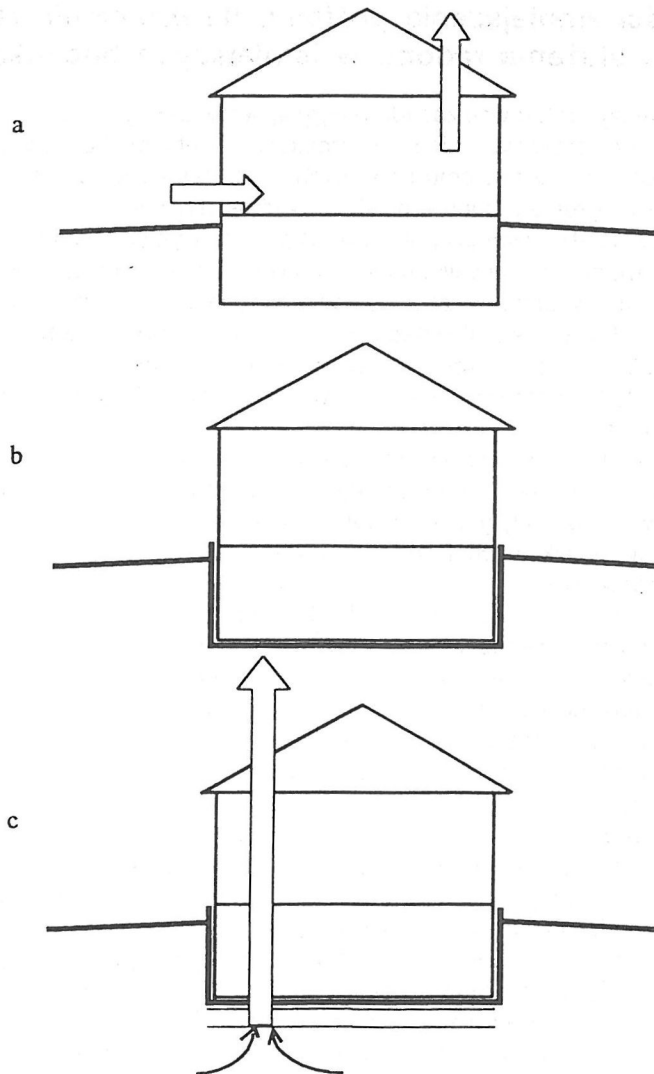
a) zastosowanie specjalnie zaprojektowanego systemu wentylacji, zapewniającego skuteczne usuwanie powietrza skażonego i napływ powietrza atmosferycznego z zewnątrz, rozcieńczającego stężenie radonu wewnątrz pomieszczeń; w przypadku zamkniętego systemu wentylacyjnego (klimatyzacji) wymagane są specjalne filtry usuwające wszelkie zanieczyszczenia powietrza, w tym zawierające już produkty promieniotwórczego rozpadu radonu,

b) redukcja napływu radonu do budynku z podłoża przez zastosowanie bariery mechanicznej w postaci gazoszczelnej izolacji całej części podziemnej budynku oraz uszczelnień wszelkich otworów, kanałów, szczelin, pęknięć itp.,

c) obniżenie ciśnienia powietrza w gruncie znajdującym się pod budynkiem i w jego otoczeniu uzyskane przez wprowadzenie przewodu ssącego pod posadzkę i za pomocą wentylatorów usuwanie spod niej części powietrza z gazami gruntowymi, w tym z radonem, do atmosfery; odmianą tego sposobu może być podwyższanie ciśnienia powietrza w pomieszczeniach wewnętrznych, przylegających do gruntu.

Pokazany na rysunku 4 przekrój budynku należy oczywiście traktować jako ogólny schemat, odnoszący się zarówno do obiektu parterowego, jak i wielokondygnacyjnego.

Wybór metod i rozwiązań techniczno-budowlanych ograniczających poziom radonu w budynkach istniejących lub modernizowanych jest uzależniony od stwierdzonego uprzednio za pomocą pomiarów stężenia radonu i oceny stopnia zagrożenia. Stosowanie tych metod, zwłaszcza ingerujących w podziemną część budynku, wymaga uciążliwych i kosztownych prac. Stąd na świecie zaleca się stosowanie środków zaradczych jedynie w domach, w których poziom radonu przekracza określone limity interwencyjne; na przykład w Kanadzie taki limit stanowi średnie roczne stężenie radonu w powietrzu równe 800 Bq/m^3 .



Rys. 4. Podstawowe sposoby obniżenia stężenia radonu w powietrzu wewnątrz budynku: a – przez zastosowanie systemu wentylacji, b – za pomocą izolacji gazoszczelnej (bariera mechaniczna), c – przez usuwanie części radonu z podłoża (wytwarzanie podciśnienia)

8. Podsumowanie

Promieniowanie jonizujące, podobnie jak grawitacja i pole elektromagnetyczne, jest jednym z naturalnych czynników kształtujących środowisko człowieka, a więc także warunki higieniczno-zdrowotne w budynkach mieszkalnych, w tym również wielkopłyto-

wych. Zapewnienie wymaganych w Prawie budowlanym takich warunków polega na przestrzeganiu zasady eliminacji materiałów budowlanych powodujących wzrost tła promieniowania gamma, oraz – w razie potrzeby – na zmniejszeniu stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi. Stosowne wymagania, wynikające z obowiązujących aktów prawnych, oraz procedury badawcze i kryteria oceny są ujęte w instrukcjach ITB 234/95 [21] i 352/98 [22].

Jak wynika z przedstawionej analizy krajowych systemów budownictwa wielkopłytkowego, głównymi wyrobami budowlanymi, wytwarzanymi z surowców lub odpadów pochodzenia mineralnego, stosowanymi w ścianach zewnętrznych, są: betony zwykłe, betony lekkie komórkowe i z kruszywem keramzytowym oraz izolacje z wełny mineralnej, w ścianach zaś wewnętrznych – betony zwykłe lub lekkie oraz ceramika. Na podstawie wyników dotychczasowych badań stwierdzono, że do grupy o podwyższonej – w stosunku do średniej – zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych należą spośród wymienionych wyrobów: cegła ceramiczna oraz betony lekkie produkowane z zastosowaniem popiołów lotnych lub żużła. Przepisy krajowe obowiązujące od 1980 r. stanowią skuteczny instrument eliminacji z rynku budowlanego wyrobów o nadmiernej zawartości naturalnych radionuklidów. W wyniku badań w ITB udaremnilo sporadyczne próby wprowadzenia do obrotu takich wyrobów, na przykład wełny mineralnej z żużła pomiedziowego oraz elementów z niektórych odmian fosfogipsów. Wyniki dotychczasowych badań w budynkach wielkopłytkowych potwierdzają zgodność poziomu tła promieniowania gamma *in situ* oraz oszacowań na podstawie badania próbek materiałów pobranych ze ścian.

W świetle przedstawionych wyników wrywkowo wykonywanych pomiarów radonowych *in situ* nie można mówić o alarmującym stanie zagrożenia w Polsce, a także o szczególnie niekorzystnej specyfice budownictwa wielkopłytkowego. Dotychczas stwierdzono jednostkowe przypadki przekroczenia granicznego stężenia radonu w badanych pomieszczeniach budynków wielkopłytkowych, ale odnotowano również takie przypadki w budynkach drewnianych i z cegły.

Podaną tu ocenę stopnia zagrożenia promieniowaniem jonizującym w budynkach wielkopłytkowych należy traktować jako wstępną do czasu zakończenia prowadzonych przez ITB systematycznych pomiarów tła promieniowania gamma i stężenia radonu w powietrzu, wraz z identyfikacją jego źródeł, w większej liczbie takich budynków. Jako regułę należałoby przyjąć zasadę wykonywania takich pomiarów w budynkach modernizowanych. Warto tu bowiem przypomnieć, że o ile zmniejszenie tła promieniowania nie jest praktycznie możliwe, to istnieją środki techniczne pozwalające na zmniejszenie infiltracji radonu do pomieszczeń.

Literatura i dokumenty

- [1] Brunarski L., Krawczyk M.: Ocena poziomu stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych stosowanych w rejonie Warszawy w latach 1978-1979. Prace Naukowe ITB, seria: Konferencje. ITB, Warszawa 1980, s. 121-132

- [2] Brunarski L., Krawczyk M.: Metody zabezpieczeń mieszkańców przed zagrożeniem radonowym. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje, nr 7, 1996, s. 59-72
- [3] GUS Ochrona środowiska 1997. Informacje i opracowania statystyczne. Wyd. GUS, Warszawa 1997, s. 329-338
- [4] Henschke J.: Źródła zagrożenia radiacyjnego w środowisku naturalnym. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje, nr 7, 1996, s. 5-18
- [5] Koperski J., Jasińska M.: Narażenie ludności Krakowa na promieniowanie gamma materiałów budowlanych. Raport IFJ nr 1082/D, Kraków 1980, ss. 49
- [6] Krawczyk M.: Promieniotwórczość naturalna materiałów budowlanych. *Materiały Budowlane*, nr 8-9, 1992, s. 23-25 i nr 10, 1992, s. 23-26
- [7] Mamont-Cieśla K.: Radon w mieszkaniach. *Przegląd Budowlany*, nr 7, 1993, s. 7-9
- [8] Mamont-Cieśla K., Żak A., Zapotoczna-Sytek H.: Beton komórkowy bezpieczny materiał budowlany, raport CEBET, 1996 (maszyn.), ss. 6
- [9] Niewiadomski T.: Ryzyko radonowe w budynkach mieszkalnych. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje, nr 7, 1996, s. 73-94
- [10] Peńsko J.: Ocena ryzyka narażenia ludności na promieniowanie jonizujące wewnątrz budynków mieszkalnych. CINTE, Ośrodek Informacji Centralnej, nr IA 18, 1975, ss.24
- [11] Raport CLOR: Radiologiczny Atlas Polski. Wyd. PAA, Warszawa 1992, ss. 24
- [12] Runkiewicz L.: Ocena narażenia na promieniowanie jonizujące w budynkach mieszkalnych osiedli Ursynowa w Warszawie. Raport ITB, Warszawa 1982 (maszyn.), ss. 12
- [13] Różycki Z.: Ocena narażenia na promieniowanie alfa radonu 222 i jego pochodnych w nowych budynkach mieszkalnych na przykładzie kilku osiedli w Warszawie. Prace Naukowe ITB, seria: Konferencje, ITB, Warszawa, 1980, s. 116-120
- [14] Wysocka M.: Radon w domach na terenie Górnośląskiego Okręgu Węglowego. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje, nr 7, 1996, s. 157-168
- [15] Zalewski M.: Narażenie radiacyjne ludności makroregionu pń-wsch. związane z radioaktywnością materiałów budowlanych oraz naturalnym tłem promieniowania. Rozprawa doktorska, 1982, maszyn., Akademia Medyczna w Białymstoku
- [16] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (DzURP nr 89/1994, poz. 414) z późniejszymi zmianami (DzURP nr 111/1997, poz. 726)
- [17] Rozporządzenie MGPIB z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich użytkowanie (DzURP, nr 10/1995, poz.46)
- [18] Zarządzenie MZIOS z dnia 22 marca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi (MP nr 9/1996, poz. 231)
- [19] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1986 r. – Prawo atomowe (DzUPRL, nr 12/1986, poz. 70)
- [20] Zarządzenie Prezesa PAA z dnia 31 marca 1988 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych, określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym (MP nr 14/1988, poz. 124) ze zmianami wprowadzonymi Zarządzeniem PAA z dnia 7 lipca 1995 r. (MP nr 35/1995, poz. 419)
- [21] Instrukcja ITB 234/95 Wytyczne badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. ITB, Warszawa 1995
- [22] Instrukcja ITB 352/98 Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi. ITB, Warszawa 1998

IONIZING RADIATION IN LARGE PANEL BUILDINGS

Summary

Among sources of ionizing radiation, natural radiation contributes the largest part of the total average annual effective dose equivalent to members of the population. Gamma radiation background and radon gas are the two factors affecting health risk of the people in buildings. Natural radioactivity of building materials, background radiation and indoor radon concentration measurements results available so far in Poland regard in relation to the requirements, testing methods and conformity criteria are presented. Concentrations of natural radioactive elements in mineral origin building materials as well as background levels and radon gas concentrations indoors are discussed as a whole and in the context of the problems of large panel buildings.

Praca wpłynęła do Redakcji 17 V 1999