

## RADIOAKTYWNOŚĆ W ŚRODOWISKU CZŁOWIEKA

Andrzej Kuliczkowski, Roman Pluta,  
Dariusz Zwierzchowski

Kuliczkowski A., Pluta R., Zwierzchowski D., 1993: *Radioaktywność w środowisku człowieka (Radiocontamination in human environment)*. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego, nr 1, s. 47—50. Kieleckie Towarzystwo Naukowe. Kielce.

**Zarys treści:** Omówiono zjawisko radioaktywności naturalnej oraz scharakteryzowano pierwiastki promieniotwórcze zawarte w materiałach budowlanych i związaną z nimi radioaktywność budowli. Przedstawiono badania promieniowania prowadzone w Politechnice Świętokrzyskiej, a także omówiono jego wpływ na człowieka, środki ochrony oraz propozycję monitoringu w makroregionie świętokrzyskim.

Andrzej Kuliczkowski, Roman Pluta, Dariusz Zwierzchowski, Politechnika Świętokrzyska, Al. Tysiąclecia PP 1, 25-314 Kielce

### 1. WSTĘP

Promieniowanie jonizujące jest jednym z ważniejszych czynników środowiskowych wywołujących szkodliwe oddziaływanie na organizm człowieka. Chociaż towarzyszyło ono organizmom żywym na przestrzeni całego procesu ewolucji, nigdy nie pozostawało obojętne na ich rozwój. Pomimo że istnieje pogląd przypisujący pozytywną rolę promieniowaniu jonizującemu jako głównemu czynnikowi zmian ewolucyjnych, to jednak jego wpływ na pojedyncze organizmy żywe jest zdecydowanie negatywny. Gwałtowny rozwój cywilizacji i postępu technicznego oraz związane z tym zmiany warunków i sposobów życia, spowodowały znaczne zmiany ekspozycji człowieka na promieniotwórcze oddziaływania jego otoczenia, a tym samym wzrost liczby negatywnych skutków spowodowanych tymi wpływami.

Poniżej omówiono zagadnienia źródeł promieniowania jonizującego, rodzajów zagrożeń dla człowieka, skutków stosowania niewłaściwych materiałów w budownictwie, aparaturę do pomiarów promieniowania jonizującego oraz atestacji surowców i materiałów budowlanych, sposoby zabezpieczeń, a także propozycję monitoringu promieniowania.

### 2. RADIOAKTYWNOŚĆ NATURALNA

Naturalne promieniowanie jonizujące składa się z promieniowania kosmicznego, ziemskiego i wewnętrznego [Rajewski 1975].

Wielkość promieniowania kosmicznego, którego największym źródłem jest Słońce, zależy od wysokości, na której jest mierzone. I tak na poziomie morza wynosi średnio około 0.31 mSv\*/rok, a w górach 0.45 mSv/rok. Jako średnią dawkę promieniowania dla ogółu ludności przyjmuje się 0.33 mSv/rok.

Źródłem promieniowania ziemskiego jest naturalna radioaktywność pierwiastków zawartych w skorupie ziemskiej. Wartość tego promieniowania w danym miejscu zależy więc od budowy geologicznej podłoża i waha się od 0.3 do 1.5 mSv/rok (średnio 0.55 mSv/rok). Największe promieniowanie ziemskie o wielkości 120 mSv/rok, zaobserwowano w paśmie gór Brazylii na skałach monocytowych. Na obszarze zaludnionym największe promieniowanie o wartości 13 mSv/rok posiadają okolice Kerali w południowych Indiach. Bardzo częstymi zjawiskami są w tym rejonie choroby nowotworowe, zwiększona umieralność dzieci, uszkodzenia i zaburzenia genetyczne oraz szybsze starzenie się i krótszy czas życia mieszkańców.

Lokalnymi źródłami promieniowania jonizującego są strefy geopatyczne, w których obserwuje się zwiększone występowanie promieniowania gamma. Badania tych stref prowadził m.in. Instytut Biologii i Ekologii Budowli w RFN. Potwierdziły one wyższe wartości promieniowania  $\gamma$  w strefach geopatycznych o około 60-80% w stosunku do miejsc poza nimi, np. 2.07 mSv/rok w strefie i 1.65 mSv/rok metr od strefy [Schneider 1986].

\*) Sv — układowa jednostka równoważnika dawki pochłoniętej w tkance, 1 sievert = 1 J/kg (1 mSv = 100 mrem)

Trzecią składową radiacji naturalnej jest promieniowanie wewnętrzne, którego źródłem są pierwiastki radioaktywne przedostające się do wnętrza organizmu z żywnością, wodą pitną i powietrzem. Wprowadzone pierwiastki są odkładane w organizmie i podlegając naturalnemu rozpadowi jądrowemu, stanowią emisję szkodliwych wysokoenergetycznych cząstek. Skutkami tego promieniowania są między innymi uszkodzenia gruczołów płciowych, szpiku kostnego i okostnej. Średnia wartość promieniowania wewnętrznego wynosi 0.17 mSv/rok.

Sumaryczna średnia wartość tła naturalnego, będąca składową wszystkich trzech rodzajów źródeł promieniowania wynosi 1.05 mSv/rok, zaś przedział wahań określany jest od 0.6 do 3 mSv/rok.

### 3. RADIOAKTYWNE PIERWIASTKI W MATERIAŁACH BUDOWLANYCH

Spśród naturalnych pierwiastków promieniotwórczych występujących w przyrodzie, a tym samym we wszystkich materiałach budowlanych, istotne znaczenie ze względu na poziom tła naturalnego w środowisku mieszkalnym mają:

- potas K-40,
- uran U-238 i rad Ra-226 wraz z izotopami promieniotwórczymi,
- tor Th-232 wraz z izotopami promieniotwórczymi.

Rozpad promieniotwórczy tych izotopów jest źródłem cząstek  $\alpha$  i  $\beta$  oraz promieniowania  $\gamma$ . Od stężenia ww. grupy pierwiastków w materiałach budowlanych pochodzenia naturalnego zależy moc dawki przez nie emitowanej. W przypadku niektórych obróbek technologicznych surowców, lub poprzez dodanie do materiałów odpadów przemysłowych, np. lekkich kruszyw, spiekanych granulatów z ilów, łupków, popiołów bądź żużli, można podnieść zawartość radionuklidów w materiałach budowlanych, a tym samym zwiększyć niekorzystnie oddziałującą na człowieka promieniotwórczość [ITB 1980].

Spśród pierwiastków szeregu radioaktywnego, podwójnie niebezpieczny jest rad, którego produktem rozpadu oprócz promieniowania  $\gamma$ , jest radon Rn-222 — gaz szlachetny będący źródłem emisji cząstek  $\alpha$ .

Na podstawie przeprowadzonych badań określono średnie stężenie pierwiastków promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych. Zestawienie ich wartości przedstawia tab. 1 [Schneider 1986].

Tab. 1. Naturalne stężenie pierwiastków radioaktywnych w materiałach budowlanych w Bq<sup>\*\*</sup>/kg

Materiał budowlany	Potas	Tor	Rad
żwir, piasek	7.5 (1—18)	0.4 (0.1—1.1)	0.4 (0.1—0.8)
granit, łupek	33 (1—96)	2.0 (0.5—5.2)	3.0 (0.5—13)
lawą, bazalt	12 (0.2—25)	1.0 (0.2—5.3)	0.9 (0.2—3.1)
piaskowiec, wapień	5 (1—24)	0.6 (0.1—1.7)	0.6 (0.2—1.4)
kamienie naturalne	20 (1—55)	1.3 (0.5—2.8)	1.2 (0.5—2.4)
cegła, klinkier	18 (3—69)	1.7 (0.5—4.5)	1.7 (0.6—3.1)
pumeks, tras	28 (13—53)	2.9 (1.0—6.6)	2.7 (0.6—5.6)
piasek żużlowy	14 (5—31)	3.7 (0.6—8.1)	3.9 (0.6—2.0)
cegła żużłowa	14 (5—31)	3.7 (0.6—8.1)	3.9 (0.6—2.0)
cement	6 (1—15)	1.1 (0.3—5.2)	1.1 (0.3—5.3)
gips naturalny	2 (0.2—5)	0.3	0.6
gips chemiczny	2 (1—8)	0.4	1.3 (0.5—3.6)
glazura	12 (5—31)	2.0 (0.7—5.0)	1.8 (0.6—2.7)
kamienie sztuczne	13 (1—31)	1.2 (0.2—1.8)	1.1 (0.2—3.6)
kruszywa	10 (1—18)	0.8 (0.2—1.8)	3.3 (0.2—2.0)

\*\* Bq — układowa jednostka aktywności ciała promieniotwórczego określana w przemianach jądrowych w ciągu sekundy; 1 bekerel = 1/s.

### 4. RADIOAKTYWNOŚĆ BUDOWLI

Z uwagi na sposób bytowania człowieka, uwarunkowany cywilizacyjnie i klimatycznie, szczególne zainteresowanie budzi narażenie na promieniowanie jonizujące wewnątrz budynków mieszkalnych. Moc dawki promieniowania wewnątrz pomieszczeń, może być w przybliżeniu około dwa razy większa niż poza budynkiem. Szczególne miejsce, jako źródło napromieniowania, zajmują budynki mieszkalne budowane przy użyciu nowych technologii, głównie z materiałów odpadowych z energetyki oraz niektórych materiałów mineralnych, zawierających szczególnie dużo naturalnych izotopów promieniotwórczych.

Radioaktywność budowni jest bardzo zróżnicowana. Jej charakter i wielkość uwarunkowane są rodzajem zastosowanych materiałów budowlanych, sposobem ich wytwarzania lub przetwarzania, koncentracją materiałów, a także usytuowaniem elementów i odległością od nich. Na przykład w odległości 1 m od 10 cm ściany, zawierającej rad i tor w wielkości 444 Bq/kg, zmierzono wzrost o 0.7 mSv/rok, bezpośrednio przy ścianie 1.3 mSv/rok, a w kącie pomieszczenia 1.7 mSv/rok. Znajomość tych faktów może być wykorzystana do właściwej lokalizacji miejsc pracy i spania [Schneider 1986].

Przyjmuje się, że średni wzrost promieniowania w budynkach mieszkalnych wynosi 33% (19%—56%) w stosunku do otwartej przestrzeni poza budynkiem. W zależności jednak od rodzaju materiału, konstrukcji i wyposażenia oraz od ich właściwości ekranujących tło naturalne, dodatkowe wartości dawki pochłoniętej mieszczą się w przedziale od -0.2 do 2 mSv/rok. Zestawienia dawek w zależności od rodzaju materiałów budowlanych przedstawia tab. 2.

Bardzo silne biologicznie negatywne oddziaływanie na organizm ludzki ma radon (wraz z trzema naturalnymi izotopami promieniotwórczymi), który jest produktem rozpadu jądrowego radu. Radon, jest to bezwonny, bezbarwny i bezsmakowy gaz szlachetny z zerowej grupy układu okresowego. Atomy radonu znajdujące się w powietrzu wewnątrz budynku pochodzą w 74% z podłoża geologicznego w 13% z materiałów budowlanych, w 10% z zewnętrznego powietrza atmosferycznego oraz 3% z gazu ziemnego i wody. Dla budynków murowanych najpoważniejszym

Tab. 2. Wpływ materiałów budowlanych na wielkość pochłoniętych dawek promieniowania w budynkach mieszkalnych w mSv/rok

Materiał budowlany	Procentowy udział budynków	Poziom radioaktywności	Dodatkowe naświetlenie
drewno, tworzywo sztuczne	3	bardzo niski	-20 — 0
wapień, piaskowiec	10	niski	0 — 10
cegła, beton	70	średni	10 — 30
gips techniczny	15	wysoki	30 — 100
cegła żużlowa, granit	2	bardzo wysoki	100 — 200

źródłem radonu są materiały budowlane. Ilość radonu, wydostająca się z materiału budowlanego do powietrza, zależy od jego struktury wewnętrznej i od rodzaju materiału pokrywającego jego powierzchnię. Pomimo niewielkiej wartości współczynnika emanacji, koncentracja radonu w pomieszczeniach zamkniętych może przekraczać stężenie zewnętrzne nawet o kilkaset razy [Rajewsky 1975].

Komisja EWG dopuszcza dwa poziomy stężeń radonu: 400 Bq/m<sup>3</sup> dla budynków istniejących i 200 Bq/m<sup>3</sup>, jako planowany poziom dla przyszłych mieszkań. Od 1 stycznia 1995 roku będzie obowiązywała w Polsce nowa wartość stężenia radonu dla budynków nowo wznoszonych, wynosząca 200 Bq/m<sup>3</sup>. Dla porównania, stężenie radonu w powietrzu nad powierzchnią gruntu na otwartej przestrzeni waha się od 0.1 do 10 Bq/m<sup>3</sup>. Stężenie radonu o wartości 20 Bq/m<sup>3</sup> daje efektywny równoważnik dawki pochłoniętej o wartości 1 mSv/rok [Wąsiołek 1990].

## 5. WPŁYW PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Jeszcze do niedawna utrzymywał się pogląd o nieszkodliwości małych dawek promieniowania, opierający się na istnieniu progu bezpieczeństwa, poniżej którego nie obserwuje się uszkodzeń organizmu. Wniosek taki wyciągnięto w oparciu o przekonanie, iż człowiek w procesie ewolucji zaadaptował się do naturalnych dawek promieniowania.

Najnowsze badania wskazują jednak, że powyższe stwierdzenie nie jest słuszne, bowiem badania naukowe udowodniły szkodliwość promieniowania w całym zakresie dawek. Niezależnie od rodzaju promieniowania (falowe czy korpuskularne), zawsze charakteryzuje się ono wysoką energią, i wnika do organizmów żywych, prowadzi do powstania wysoko reaktywnych form, które inicjują zupełnie inne reakcje niż te, które normalnie przebiegają w organizmie człowieka. Już nieznaczne dawki promieniowania (nawet te od tła naturalnego) obniżają odporność organizmu na choroby, w tym także na nowotwory, co obserwuje się po katastrofie w Czarnobylu [Pawłowski 1990].

Skutki oddziaływania promieniowania na organizmy żywe można podzielić na bezpośrednie, tj. niszczenie elementów komórek, np. rozrywanie łańcuchów DNA, i na pośrednie, tj. powstawanie wysoko reaktywnych form, które z kolei negatywnie oddziałują na elementy organizmu, np. po-

wstałe rodniki nadtlenkowe niszczą enzymy chroniące przed uszkodzeniami białe ciała krwi.

Oddziaływanie małych dawek promieniowania, powodujące głównie osłabienie układu immunologicznego, wywołuje wystąpienie jedynie skutków odległych w czasie. Należą do nich skutki genetyczne oraz tzw. odległe skutki somatyczne.

Skutki genetyczne, będące wynikiem mutacji genowych i aberracji chromosomalnych spowodowanych napromienianiem komórek rozrodczych rodziców, obejmują cały wachlarz zmian fizycznych i psychicznych, od całkowicie nieszkodliwych do ciężkich wad rozwojowych i schorzeń, prowadzących do śmierci we wczesnym okresie życia lub jeszcze w okresie płodowym.

Do odległych skutków somatycznych zaliczamy przede wszystkim białaczki i inne nowotwory, a także skrócenie czasu życia, przyspieszenie procesu starzenia, zaćmę soczewki, wadliwy rozwój itp. Szczególnie miejsce w tej grupie zajmuje rak płuc, który powodowany jest przez promieniowanie cząstkami alfa będącymi produktem rozpadu radonu. W USA radon uważany jest za drugą po paleniu tytoniu przyczynę raka płuc [Wpływ rozwiązań ... 1980].

Na podstawie analizy danych, pomiędzy rodzajem materiałów w zabudowie a uszkodzeniami genetycznymi i nowotworami złośliwymi, została wysunięta prognoza, iż w wyniku realizacji założonej struktury zabudowy kraju należy oczekiwać w pierwszym dziesięcioleciu przyszłego wieku, ponad 2. krotnego zwiększenia się liczby białaczek, blisko 3. krotnego zwiększenia się zachorowań na nowotwory złośliwe, oraz blisko 5. krotnego wzrostu przypadków raka płuc, indukowanego promieniowaniem  $\alpha$  z radonu.

## 6. BADANIA RADIOAKTYWNOŚCI W POLITECHNICE ŚWIĘTOKRZYSKIEJ

Pracownia Ochrony Środowiska w Budownictwie, działająca przy Katedrze Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Świętokrzyskiej prowadzi badania promieniowania jonizującego w całym zakresie  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Wyposażenie laboratorium stanowi przenośna sonda radiometryczna produkcji niemieckiej oraz trójkanałowy analizator naturalnych zanieczyszczeń promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych, AZAR 90 produkcji POLON-u.

Przenośna sonda radiometryczna jest uniwersalnym przyrządem, służącym do pomiaru promieniowania jonizującego gleby, powietrza, wody, żywności, materiałów budowlanych itp. z jednoczesną oceną wielkości promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Z jej pomocą można ocenić przydatność terenów pod przyszłą zabudowę, wyznaczyć radioaktywność materiałów budowlanych lub oszacować skażenie promieniowaniem jonizującym wewnątrz pomieszczeń.

Trójkanałowy analizator AZAR 90 jest urządzeniem służącym do pomiaru stężenia potasu, radu i toru w próbkach środowiskowych pochodzenia mineralnego, w surowcach i materiałach budowlanych oraz odpadach przemysłowych. Zliczając oddzielnie w trzech kanałach impulsy radioaktywne, określa sumaryczne stężenie pierwiastków promieniotwórczych w badanym materiale oraz wartość stężenia radu, którego produktem rozpadu jest radon. W opracowanych przez ITB wytycznych nr 234, dotyczących badania promieniotwórczości naturalnej AZAR 90 jest

jedynym zalecanym zestawem dla oceny przydatności surowców do zastosowania w budownictwie. Zgodnie z opracowaną przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej i ITB metodyką pomiarów i oceną wyników, sumaryczna aktywność radionuklidów wyrażona współczynnikiem  $f_1$  musi być mniejsza od jedności, a stężenie radu wyrażone we współczynniku  $f_2$  musi być mniejsze od 185 Bq/kg, aby materiał lub surowiec był dopuszczony do stosowania w budownictwie.

## 7. SPOSOBY OCHRONY PRZED PROMIENIOWANIEM RADIOAKTYWNYM

Międzynarodowa Komisja Ochrony przed Promieniowaniem (ICRP) zaleca, aby dawka napromieniowania ludności była tak niska, jak jest to tylko możliwe. Jako granicę uwarunkowanej cywilizacyjnie dawki przewiduje się 50 mSv w okresie 30 letnim (około 1.7 mSv/rok). Przeprowadzone w USA badania wykazały, że wzrost napromieniowania ludności o 0.01 mSv/rok powoduje 1 przypadek raka na około 1 milion mieszkańców. Szczególnie podatne na promieniowanie jonizujące są dzieci i osoby chorujące [Rajewski 1975].

Aby zmniejszyć do minimum promieniowanie jonizujące w budynkach mieszkalnych, należy przedsięwziąć odpowiednie środki już na etapie projektowania i wykonawstwa. Przede wszystkim należy unikać lokalizacji budynków w strefach geopatycznych, gdyż praktycznie nie ma sposobu zabezpieczenia się przed wpływem ich niekorzystnego promieniowania. Zatem teren przeznaczony pod przyszłą lokalizację osiedli mieszkaniowych, powinien być zbadany pod kątem wykluczenia z zabudowy miejsc geopatycznych. Kolejnym etapem ochrony powinno być niedopuszczenie do stosowania materiałów i surowców budowlanych, które zawierają więcej pierwiastków promieniotwórczych, niż dopuszczają to odpowiednie normy. Wprowadzenie obowiązkowej atestacji materiałów budowlanych pod kątem ilości zawartych w nich radionuklidów, wydaje się najskuteczniejszym rozwiązaniem w ochronie przed ich niekorzystnym wpływem.

Dla zabezpieczenia się przed ponadnormatywnym stężeniem radonu w powietrzu, a tym samym przed promieniowaniem  $\alpha$ , będącego produktem jego rozpadu, można stosować wykładziny ścienne, np. tapety, farby olejne i emulsyjne, które w znaczący sposób ograniczają emisję radonu z materiałów budowlanych. Najlepszym jednak rozwiązaniem jest właściwie zaprojektowana i działająca wentylacja. Np. otwarcie okna wyrównuje stężenie radonu do wartości na zewnątrz pomieszczenia. Już jednak po około 8 godzinach od zamknięcia okna stężenie powraca do wartości zmierzonej przed otwarciem okna.

Powstawanie radonu w glebie powoduje szczególnie zagrożenie dla pomieszczeń stykających się bezpośrednio z gruntem, np. piwnice czy pomieszczenia na poziomie parteru. W tym przypadkach zalecane są zmiany technologiczne w konstrukcji fundamentów i podłóg izolujących je od bezpośredniego kontaktu z otaczającym podłożem, np. bariery mechaniczne (folie poliwinylowe) lub zawieszony podłogi ze szczeliną powietrzną z naturalnym lub wymuszonym obiegiem powietrza [Wąsiołek 1990].

## 8. PODSUMOWANIE

Zjawisko radioaktywności naturalnej i sztucznej, pomimo niewielkich dawek, stanowi duże zagrożenie dla człowieka ze względu na długi i ciągły okres ich oddziaływania. Prognozy przedstawione w rozdziale 5, dotyczące skutków napromieniowania ludności podwyższonymi dawkami od materiałów budowlanych, nie są zbyt optymistyczne. Stąd wypływa konieczność podjęcia działań zmierzających do ograniczenia wielkości dawki pochłoniętej przez człowieka.

Bardzo korzystnym rozwiązaniem, z punktu ochrony radiologicznej, byłby monitoring, obejmujący promieniowanie naturalne i sztuczne. Zakres monitoringu powinien obejmować:

- badania terenów przeznaczonych pod zabudowę w celu lokalizacji niebezpiecznych stref geopatycznych,
- atestacyjne badania produkowanych i sprzedawanych materiałów budowlanych celem wykluczenia tych, w których stężenie radionuklidów przekracza wartości dopuszczalne,
- cykliczne pomiary radioaktywności powietrza,
- cykliczne badania radioaktywności wody, ścieków i wysypisk odpadów miejskich i przemysłowych,
- badania dawki promieniowania wewnątrz budynków mieszkalnych,
- długookresowe badania stężeń radonu detektorami śladowymi w losowo wybranych budynkach dla określenia obszarów zagrożeń przez radon.

Kompleksowe wykonanie badań monitoringu pozwoli oszacować problem zagrożenia w makroregionie świętokrzyskim przez promieniowanie jonizujące i przedsięwziąć ewentualne środki przeciwdziałania.

## 9. LITERATURA

- INSTYTUT Techniki Budowlanej, 1980: *Wytyczne badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych*. Instrukcja ITB, 234. Warszawa.
- PAWŁOWSKI L., 1990: *Promieniowanie radioaktywne — mechanizmy zagrożenia*. *Aura* 18/11: 16-18
- RAJEWSKI B., 1975: *Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes*. Verl. G. Braun, Karlsruhe.
- SCHNEIDER A., 1986: *Radioaktivität von Baustoffen und Gebäuden*. Herbrück.
- WĄSIOŁEK P., 1990: *Radon w twoim domu*. *Aura* 18/7: 9-12.
- WPLYW rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych w budownictwie na zdrowie człowieka, 1980: Materiały konferencyjne. ITB, 1, Warszawa.

### Radiocontamination in human environment

#### SUMMARY

Potassium, radium and thorium are natural radioactive elements which exist in environment and building materials. Taking into account that people spend about 80% of their life time in houses, increase of radiation dose (more than 100%) arouses anxiety. The ionizing radiation is harmful in all range of doses. For this reason that building materials which contain the radionuclides above a certain limit should be eliminated. The three-channel radiocontamination analyser and radionuclide probe are apparatus which are used in such tests. This equipment is in the Building Environment Protection Laboratory at Kielce University of Technology. Introduction of radiology monitoring permits to estimate the threat of the ionizing radiation risk for the Świętokrzyski Region.