

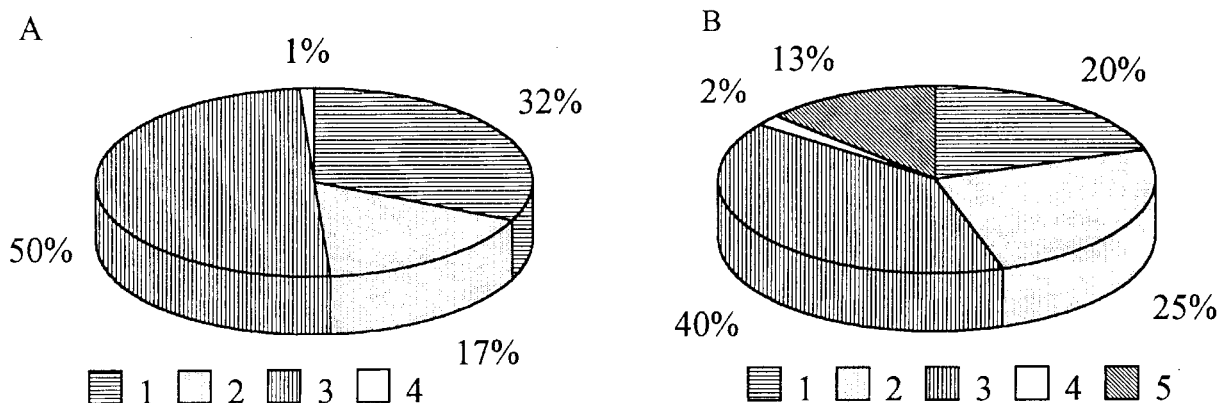
Tadeusz A. Przylibski

Występowanie i znaczenie radonu w środowisku naturalnym Dolnego Śląska

Pierwsze obserwacje występowania radonu pochodzą z roku 1898, kiedy to małżonkowie Curie, ogrzewając blendę uranową w próżni zebrali wydzielający się podczas tego procesu gaz. Zaobserwowali wówczas, że wykazuje on promieniotwórczość zanikającą po upływie jednego miesiąca. Z radioaktywnym gazem w czasie badań nad promieniotwórczością toru i radu zetknęli się także E. Rutheford i F.E. Dorn. W ślad za Ruthefordem gaz ten zaczęto nazywać emanacją radową i dopiero w latach dwudziestych naszego wieku Międzynarodowy Kongres Nauki o Promieniotwórczości przyjął dla emanacji radowej nazwę „radon”, obowiązującą obecnie [1, 2].

Początkowo radonem zajmowały się wyłącznie wyspecjalizowane laboratoria chemiczne i fizyczne. Dopiero w latach 60. i 70. zaczęto dostrzegać zagrożenie, jakie stanowi on dla organizmów żywych. Najbardziej narażeni na radioaktywność wywołaną obecnością radonu byli górnicy w kopalniach uranu, gdzie stężenie radonu może być do kilkudziesięciu tysięcy razy wyższe niż w powietrzu atmosferycznym. W świecie zaobserwowano wśród nich znacznie zwiększoną zachorowalność na raka płuc i dróg oddechowych, spowodowaną bez wątpienia wpływem radonu [3]. Jak okazało się nieco później, także w wyrobiskach kopalń wę-

glowych i kruszcowych zawartość radonu była do kilku tysięcy razy większa niż w powietrzu atmosferycznym, a jedynym skutecznym środkiem zapobiegającym gromadzeniu się radonu było silne przewietrzanie wszystkich wyrobisk [2,3]. Wydawało się jednak, że problem ten dotyczy stosunkowo niewielkiej populacji ludzi. Dopiero w roku 1985, za sprawą głośnego wydarzenia w USA, radon zaczął być postrzegany jako problem ogólnospołeczny, dotyczący znacznej części mieszkańców wszystkich kontynentów. Niefortunnym bohaterem tego wydarzenia był inżynier Stanley Watras, pracownik elektrowni jądrowej Limerick we wschodniej Pensylwanii. Kontrola napromieniowania przed rozpoczęciem pracy wykazała, że jedynym możliwym miejscem, w którym mógł on otrzymywać tak dużą dawkę promieniowania był jego własny dom [4]. Przypadek ten spowodował natychmiastowe przeprowadzenie badań w innych stanach USA oraz w kilku rozwiniętych krajach europejskich [2, 5–7]. Wykazały one, że w znacznej liczbie budynków mieszkalnych poziom radioaktywności przekraczał dopuszczalne normy. Dokładniejsze badania z ostatnich lat wykazały, że na całkowitą dawkę promieniowania, jaką otrzymuje każdego roku mieszkaniec Europy i USA, około 50 % pochodzi właśnie od radonu (rys. 1).



Rys. 1. Źródła całkowitej rocznej dawki promieniowania otrzymywanej przez mieszkańców Polski i Włoch (A - Polska [20]: 1 – radionuklidy znajdujące się w środowisku (bez radonu), 2 – źródła promieniowania stosowane w diagnostyce medycznej, 3 – radon, 4 – przedmioty codziennego użytku – telewizory, komputery itp.), B – Włochy [45]: 1 – promieniowanie kosmiczne, 2 – źródła promieniowania stosowane w diagnostyce medycznej, 3 – radon, 4 – przedmioty codziennego użytku – telewizory, komputery itp., 5 – pierwiastki wprowadzane do organizmu wraz z wodą, pożywieniem i powietrzem (bez radonu))

Geochemia radonu

Nazwa „radon” obejmuje 27 różnych izotopów o liczbie atomowej 86 i liczbach masowych od 201 do 224. W przyrodzie istnieją tylko 4 jego naturalne izotopy. Największe znaczenie spośród nich ma ^{222}Rn . Pochodzi on bezpośrednio od najbardziej rozpowszechnionego izotopu radu – ^{226}Ra i wraz z ^{218}Rn należy do szeregu uranowego [1,2]. W warunkach normalnych radon występuje w fazie gazowej, przy czym jest najcięższym (7,6-krotnie cięższym od powietrza) i jedynym gazem radioaktywnym. Radon jest gazem szlachetnym o najwyższej aktywności chemicznej. Jest bezbarwny, bezwonny, bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie i tłuszczach. Łatwo ulega kondensacji i adsorpcji, szczególnie na tłuszczach i węglu aktywnym. Dyfuzja radonu w powietrzu pozwala mu docierać najwyżej na odległość 1,5 m od swego źródła [1, 2].

Największą rolę w środowisku odgrywają dwa naturalne izotopy radonu: ^{222}Rn (radon) i ^{220}Rn (toron). Pierwszy z nich ma okres połowicznego rozpadu równy 3,8229 d, a drugi 54,5 s. Należą one do promieniotwórczych rodzin uranu i toru, a ich bezpośrednimi macierzystymi izotopami są ^{226}Ra i ^{224}Ra , które po przemianie dają odpowiednio radon i toron. Tak więc rozprzestrzenienie radonu jest ściśle związane z występowaniem uranu i toru w skałach. Do znacznych koncentracji tych pierwiastków dochodziło podczas końcowych procesów związanych z aktywnością magmową, a więc w procesach hydrotermalnych. Bezpośrednio po zakończeniu tworzenia się kwaśnych skał magmowych (wylewnych i głębinowych) pozostałe po tych procesach gorące, silnie zmineralizowane roztwory krążyły jeszcze przez jakiś czas w szczelinach i spękaniach powstałych skał oraz innych skał bezpośrednio do nich przyległych, gdzie wytrącały się z nich różne związki chemiczne, które krystalizując tworzyły minerały. W takich minerałach bardzo często spotykane są podwyższone zawartości U i Th, które to pierwiastki w szczególnie sprzyjających warunkach mogą utworzyć także własne minerały (tlenki: uranit, nasturan, torianit, uranotorianit oraz sole uranilu: autunit, torbenit, karnotyt, uranofan, a także gummit) [8,9]. Tak więc podwyższone ilości radonu związane są głównie z obrzeżeniami masywów kwaśnych skał magmowych (np. granitów, ryolitów) oraz z towarzyszącymi im skałami żyłowymi pochodzenia hydrotermalnego, jak również z samymi kwaśnymi skałami magmowymi znajdującymi się przede wszystkim w górnej części skorupy kontynentalnej (tab.1).

Z tych pierwotnych nagromadzeń uran i tor mogą wędrować wraz z wodami głównie w postaci jonów kompleksowych i następnie są wytrącane z roztworu w środowiskach kwasowych [10], najczęściej w strefach wód przybrzeżnych. W takich warunkach tworzą się m.in. węgle, ciemne łupki, fosforyty oraz rzadziej wapień, piaskowce, czy zlepińce. W skałach tych występują

wówczas wtórne koncentracje uranu i toru, którym towarzyszą zazwyczaj także podwyższone ilości radonu. W pewnych jednak warunkach radon może uzyskać samodzielność geochemiczną i uniezależnić się od miejsc występowania uranu i toru. Poprzez dyfuzję oraz wymywanie przez wodę wraz z gazami lub wodami porowymi i szczelinowymi radon może być transportowany ku powierzchni ziemi, czego skutkiem są np. źródła i ciekły radoczynne, nieraz znacznie oddalone od miejsc występowania uranu i toru. Stąd, również z bezpośrednich emanacji, radon już łatwo migruje do atmosfery i pod wpływem prądów konwekcyjnych przemieszcza się nad powierzchnią ziemi na znaczne odległości [2, 11–15]. Ze względu jednak na jego dużą gęstość łatwo gromadzi się we wszelkich obniżeniach terenu, np. nieprzewietrzanych dolinach, kotlinach, wąwozach itp. [16]. Szczególnie łatwo duże ilości radonu dostają się do takich naturalnych pułapek jak jaskinie i leje krasowe oraz do sztucznych ich odpowiedników, tj. sztolni, kopalń, kamieniołomów, a przede wszystkim do budynków; gromadzi się on więc we wszelkich słabo przewietrzanych przestrzeniach [2,16].

Pomimo iż radon jest izotopem krótkożyłowym, to jednak po jego rozpadzie nadal pozostają radioaktywne produkty. Wszystkie one są ciałami stałymi, jednak niektóre z nich są łatwo lotne i nadal mogą się przemieszczać wraz z prądami atmosfery i wody. Po pewnym czasie opadają one na powierzchnię ziemi, gdzie tworzą początkowo krótkotrwałe osady radioaktywne (^{218}Po (RaA), ^{218}At , ^{218}Rn , ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC), ^{214}Po (RaC'), ^{210}Pb (RaC''), który następnie przechodzi w osad radioaktywny długotrwały (^{210}Pb (RaD), ^{210}Bi (RaE), ^{206}Tl (RaE'), ^{210}Po (RaF)) [1,2,17]. Tak więc po długiej i zróżnicowanej drodze od uranu i toru poprzez rad i radon radioaktywne izotopy polonu, ołowiu i in. mogą się gromadzić na powierzchni terenu czy wreszcie w organizmach żywych.

Wpływ radonu na organizm człowieka

Organizmy roślinne pobierają radon wraz z wodą i powietrzem. Często też kumulują rad oraz produkty rozpadu radonu, nieraz w ilości 1000-krotnie przewyższające ich stężenia w glebie [3]. Wędrując dalej w łańcuchu pokarmowym trafiają następnie do organizmów zwierząt i ludzi. Radon wdychany jest przez człowieka także z wody, zarówno z przewodu pokarmowego, jak również podczas kąpieli, kiedy to przenika do zewnętrznych warstw skóry. Ponadto radon dostaje się do organizmu człowieka poprzez drogi oddechowe, gdzie szczególnie w płucach dokonuje największych spustoszeń. Wysyłane przez niego cząsteczki poruszające się z prędkością rzędu 100 tys. km/s i obdarzone dużą energią kinetyczną wnikają na niewielką głębokość w tkankę ludzką (20÷70 μm), wywołując wybitne efekty biologiczne – jonizują cząsteczki tkanki, a przede wszystkim cząsteczki wody zawarte w tkankach; są one także przyczyną uszkodzeń struktur komórkowych [18,19]. Efekt ten wzmacniają jeszcze bardziej długotrwałe izotopy pochodne, które na dobrze rozwiniętej powierzchni płuc tworzą praktycznie nieusuwalny osad. Tak więc radon dostający się do organizmów drogami oddechowymi jest niebezpieczniejszy niż ten, który pochłaniany jest wraz z pożywieniem [20].

Obecności radonu w bezpośrednim otoczeniu człowieka przypisuje się również zwiększenie ryzyka zachorowalności na raka płuc, białaczkę, powodowanie powstawania aberracji w chromosomach itp. [1, 3]. W USA radon uznany został za jeden z najgroźniejszych czynników kancerogennych. Szacuje się, że co roku na raka płuc wywołanego wdychaniem powietrza zawierające-

Tabela 1. Średnia zawartość uranu i toru w skałach magmowych skorupy ziemskiej (ppm) [8]

Środowisko	Uran	Tor
Skały ultramaficzne	0,01	0,05
Gabra	0,8	3,8
Bazalty	0,1÷ 1,0	0,2÷ 4,0
Dioryty, andezyty	2,0	7,0
Granity	4,2	20,0
Skorupa kontynentalna, część górna	2,5	10,0
Skorupa kontynentalna w całości	1,5	6,0
Skorupa oceaniczna	0,1	0,2

go nadmierną ilość radonu umiera tam około 20÷40 tys. osób, a 1,0÷1,8 tys. dalszych na skutek spożywania wód radoczynnych. Także badania prowadzone w Europie potwierdzają udział radonu w zachorowalności na raka płuc. W Wielkiej Brytanii rocznie 1,0÷1,5 tys. osób (w Belgii 900) umiera na raka spowodowanego obecnością w ich otoczeniu tego radioaktywnego gazu [21]. W związku z istniejącym zagrożeniem wprowadzane są normy regulujące stężenie radonu w pomieszczeniach. Również według polskiego prawa atomowego od 1995 r. ma obowiązywać norma, według której średnie wartości roczne równoważnego stężenia radonu, określające zagrożenie od radonu i jego pochodnych w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi, oddanych do użytku po 1 stycznia 1995 r., nie mogą przekraczać 100 Bq/m^3 [22]. Odpowiednie normy obowiązują w USA (150 Bq/m^3), Czechach (100 Bq/m^3) i Kanadzie (800 Bq/m^3) [21].

Radon wykorzystywany jest w medycynie, głównie w zabiegach kąpielowych, kuracji pitnej oraz do inhalacji. Radon oddziałuje na centralny układ nerwowy, a za jego pośrednictwem na wiele innych narządów. Stosuje się go w chorobach układu nerwowego, serca i naczyń krwionośnych, narządów ruchu, zakłóceniach przemiany materii, chorobach skóry i in. [18, 19, 23–26].

Radon w otoczeniu człowieka

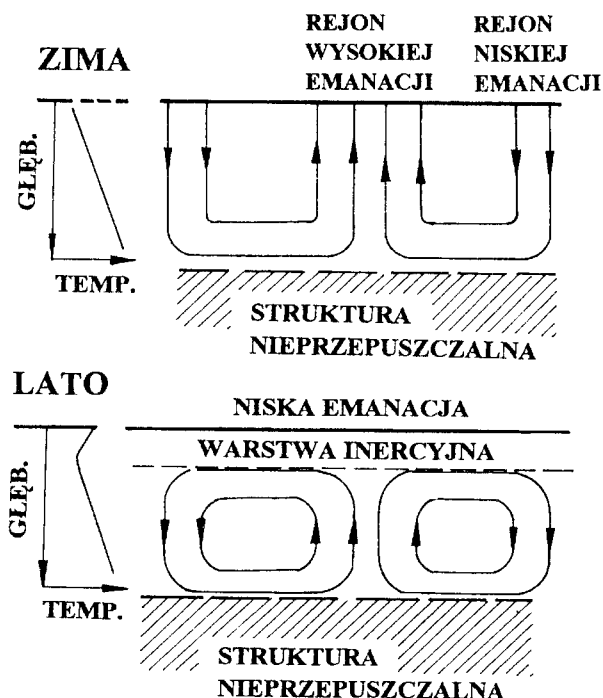
Człowiek jest najbardziej narażony na promieniowanie radonu i jego pochodnych w budynkach. Ocenia się, że w strefach klimatu umiarkowanego stężenie radonu w pomieszczeniach zamkniętych jest średnio ośmiokrotnie wyższe niż w powietrzu zewnętrznym [3]. Może on się tam gromadzić jedynie wówczas, gdy pomieszczenia te są dobrze odizolowane od środowiska. Istnieją jednak i takie budynki, w których stężenie radonu jest ponad pięćsetkrotnie wyższe niż na zewnątrz. Takie przypadki notowano w USA, Wielkiej Brytanii, Szwecji, Finlandii i innych krajach

[3,21]. Radon do budynków przedostaje się różnymi drogami (m.in. poprzez spękania w fundamentach, z instalacji wodociągowo-kanalizacyjnych i gazowych); może także uwalniać się z wykorzystanych przy ich wznoszeniu materiałów budowlanych, przy czym naturalne materiały, takie jak cegła, drewno, czy beton, wydzielają zwykle niewielkie ilości radonu. Znacznie bardziej szkodliwe są skały naturalnie zawierające podwyższone ilości uranu i toru (granity, porfiry, piaskowce, łupki i in.), a zwłaszcza odpady przemysłu energetycznego i chemicznego (żużle, popioły dyminicowe, fosfogipsy, odpady poftlotacyjne i in.). W Polsce główne zagrożenie ze strony surowców budowlanych stanowią fosfogipsy, popioły dyminicowe i żużle, a szczególnie poftlotacyjne odpady z dolnośląskich rud miedzi. Poziom radioaktywność cegieł i betonów jest przeciętny, choć lokalnie może być wyższy [27].

Największym źródłem radonu jest jednak zawsze grunt, na którym posadowione są budynki. Przedstawianie się radonu do budynków jest zależne przede wszystkim od rodzaju podłoża i stopnia odizolowania od niego budynku. Różna jest także emisja radonu z podłoża latem i zimą. W lecie na skutek ogrzewania wytwarza się inwersja temperatur zapobiegająca wydostawianiu się radonu, natomiast zimą tworzą się strefy o jego wzmożonym wydzielaniu (rys.2). Radon dostaje się do pomieszczeń poprzez spękania w fundamentach i ścianach, i zalega głównie w niższych kondygnacjach. Gromadzeniu się radonu sprzyja także hermetyzacja pomieszczeń, którą stosuje się w celu oszczędności energii, jak wykazują badania jednak kosztem zdrowia [1–3]. Najprostszym sposobem zapobiegania gromadzeniu się radonu w pomieszczeniach jest ich częsta wentylacja. Także malowanie ścian, oklejanie tapetami, układanie na podłogach parkietów, płytek, chodników oraz uszczelnianie spękań i szczelin skutecznie zmniejsza zagrożenie radonem. Radon przedostaje się do pomieszczeń również wraz z wodą i gazem ziemnym. Tak więc na obecność radonu w powietrzu bardziej narażone są kuchnie (ok. $8,5 \text{ kBq/m}^3$) i łazienki (ok. 3 kBq/m^3) niż pokoje mieszkalne (ok. $0,2 \text{ kBq/m}^3$), zwłaszcza podczas intensywnego korzystania z ciepłej wody (prysznic), kiedy to uwalniane są duże jego ilości [3].

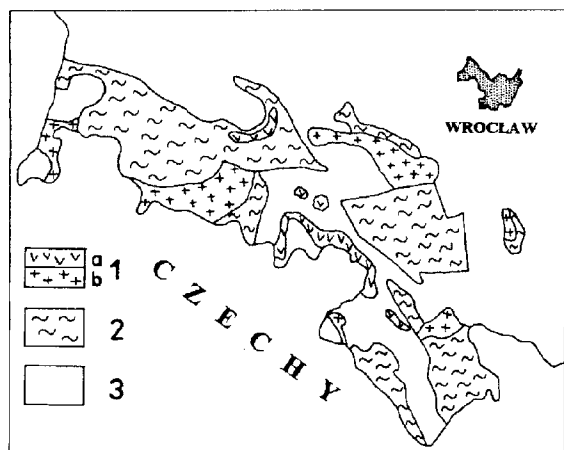
Radon w środowisku naturalnym Dolnego Śląska

Ewidentny wpływ radonu na organizmy żywe, a w szczególności na człowieka, jego łatwość migracji i zdolność do gromadzenia się w zamkniętych pomieszczeniach każą traktować ten problem bardzo poważnie. Wiele opisanych powyżej właściwości fizycznych i chemicznych oraz rozpowszechnienie radonu w przypowierzchniowych warstwach ziemi pozwala wytypować najbardziej zagrożone obszary. W Polsce obszarem takim jest niewątpliwie Dolny Śląsk. Długi okres przebudowywania i modelowania górnych warstw skorupy ziemskiej na tym terenie, trwający do chwili obecnej, jest przyczyną bardzo skomplikowanej i różnorodnej jego budowy geologicznej. Ostatnie trzeciorzędowe wypiętrzenia mające miejsce w Sudetach spowodowały, że większość skał krystalicznych znajduje się zupełnie na powierzchni ziemi lub tylko pod nieznaczną pokrywą zwietrzelinową i glebową. Dotyczy to zwłaszcza województw wałbrzyskiego i jeleniogórskiego oraz w mniejszym stopniu legnickiego i wrocławskiego. Znajdującymi się na powierzchni skałami zawierającymi podwyższone ilości uranu i toru są masywy granitoidowe (karkonoski, strzełiński, strzegomski, kłodzko-złotostocki, kudowski i in.), wystąpienia skał wulkanicznych (na przedpolu Sudetów oraz w Górach Wałbrzyskich, Kamiennych i Kacza-



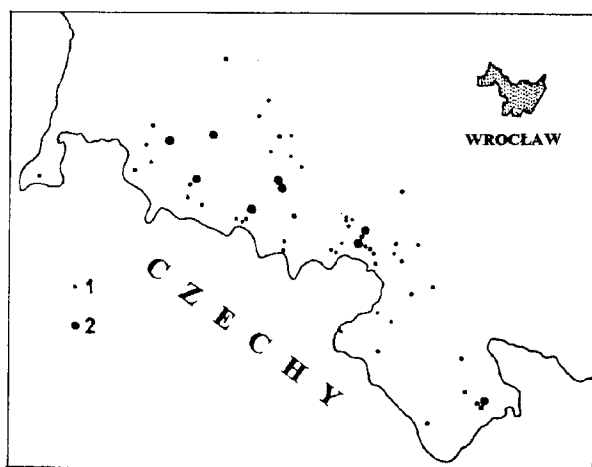
Rys.2. Hipotetyczny model dróg konwekcji w podłożu podczas zimy i lata w odniesieniu do gradientu termicznego [12]

wskich) oraz związane z nimi skały hydrotermalne, a także obecne na znacznych przestrzeniach tych województw kompleksy skał metamorficznych (rys.3).



Rys.3. Uran na tle geologii Dolnego Śląska (1 – skały magmowe (a – wylewne, b – głębinowe) (paleozoik), 2 – skały metamorficzne (proterozoik i paleozoik), 3 – skały osadowe (paleozoik, mezozoik i kenozoik))

W ciągu trwającego kilkadziesiąt milionów lat rozwoju budowy geologicznej Dolnego Śląska kilkakrotnie zaistniały dogodne warunki do uwalniania z pierwotnych wystąpień uranu i toru oraz do ich transportowania na skutek zachodzących procesów wietrzniowych i erozyjnych. W wyniku tych procesów doszło do utworzenia wtórnych koncentracji tych pierwiastków w skałach osadowych niecki śródsudeckiej i północnosudeckiej [28–30]. Zarówno w skałach krystalicznych, jak i osadowych w niektórych przypadkach doszło do utworzenia koncentracji złożowych uranu, które były eksploatowane w latach 50. i 60. przez Zakłady Przemysłowe R-1 z siedzibą w Kowarach. Największe z nich notowane były na terenie Gór Izerskich, Karkonoszy, Rudaw Janowickich, krystaliniku orlicko-śnieżnickiego, Gór Wałbrzyskich, Kamiennych, Kaczawskich oraz w nieckach śródsudeckiej i północnosudeckiej [28, 31–36] (rys.4).



Rys.4. Wystąpienia uranu na Dolnym Śląsku [35] (1 – punkty okruszczowania, 2 – złoża)

Trzeciorzędowe ruchy tektoniczne orogenezy alpejskiej spowodowały wypiętrzenie Sudetów w postaci silnie rozczłonkowanych i spękanych bloków. To właśnie powstałe wówczas uskoki i spękania stały się podstawowymi drogami migracji radonu. Uwalniany ze skał wydostaje się on dzięki nim jako emanacje gazowe lub też rozpuszcza się w wodzie penetrującej skały i wraz z nią wyno-

szony jest ku powierzchni, gdzie pojawia się jako źródła radocenne. Obecność koncentracji uranu i toru oraz silne spękania górotworu są przyczyną występowania znacznych anomalii promieniowania gamma na terenie Dolnego Śląska (rys.5).



Rys.5. Rozkład promieniowania gamma na obszarze Dolnego Śląska [35] (obszary o promieniowaniu $>8 \mu R/h$)

Z porównania map przedstawionych na rysunkach 3+5 wynika, że rejon anomalnie wysokiego promieniowania gamma, wystąpienia skał krystalicznych (szczególnie magmowych) oraz koncentracje złożowe uranu pokrywają się. Mapy te jednak mówią tylko o geochemii pierwiastków macierzystych radonu. Ponieważ jednak radon uzyskuje w pewnych warunkach samodzielność geochemiczną, więc kolejnym etapem badań pierwiastków promieniotwórczych na Dolnym Śląsku powinny być badania radonu. Jednakże do dziś kompleksowych badań nad tym problemem nie podjęto, prowadząc jedynie wycinkowe prace w kilku rejonach.

Większość danych na temat występowania radonu na Dolnym Śląsku pochodzi z obserwacji wód radocennych stosowanych w leczeniu uzdrowiskowym. Jest to związane z systematycznymi badaniami prowadzonymi w uzdrowiskach Łądek Zdrój oraz Świeradów Zdrój. Przeprowadzone tam badania wykazały zawartość radonu w wodach dochodzącą do $2,9 \text{ kBq/dm}^3$ w Świeradowie Zdroju [37] i około $1,5 \text{ kBq/dm}^3$ w Łądku Zdroju [38], podczas gdy za dolny próg aktywności biologicznej radonu w wodzie przyjmuje się wartość 74 Bq/dm^3 . W leczeniu radon wykorzystuje się tu w kąpielach, do inhalacji, a także podaje się wodę radocenną do picia. Zawartości radonu w wodzie badane były także w latach 60. i na początku lat 70. przez Zakłady Przemysłowe R-1. Według danych archiwalnych zawartość radonu w wodach źródeł i potoków rejonu Karkonoszy (od Szklarskiej Poręby przez Karpacz do Kowar), zachodniej części Ziemi Kłodzkiej (Szczytina, Duszniki Zdrój i Polanica Zdrój) oraz okolic Łądku Zdroju przekraczała w niektórych przypadkach $1,0 \text{ kBq/dm}^3$, sięgając do $1,8 \text{ kBq/dm}^3$, przy wartości tła około $40\text{--}300 \text{ Bq/dm}^3$. Na obszarze tym pomierzono także zawartości radonu w powietrzu glebowym, otrzymując wartości dochodzące do 550 Bq/dm^3 [39,40].

W wielu przypadkach okazało się, że w niektórych rejonach (okolice Łądku Zdroju, Kowar, Szklarskiej Poręby i Świeradowa Zdroju) mieszkańcy korzystają z wód pitnych silniej radocennych niż te, które uznaje się za lecznicze [40,41]. Do terapii, oprócz stosowania radonu pochodzącego z wód, niedawna stosowano także powietrze naturalnie wzbogacone w radon w jednym w kraju radonowym inhalatorium w Kowarach. Wykorzyst-

tano tu powietrze w pouranowej sztolni nr 19a kopalni Podgórze [42]. Jak wykazały ostatnie pomiary (1991 r.) zawartość radonu w powietrzu tej sztolni przy nieczynnej od dłuższego czasu wentylacji dochodziła do około 600 Bq/dm³ [40].

W związku ze znajomością występowania licznych punktów mineralizacji i złóż uranu w okolicy Kletna w Masywie Śnieżnika spodziewano się tam również podwyższonych koncentracji radonu. Chcąc powielić doświadczenia inhalatorium w Kowarach przeprowadzono odpowiednie badania w zlewni Kleśnicy oraz w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. Maksymalne stężenia radonu w wodach jaskini rzadko przekraczały 40 Bq/dm³ [43], natomiast badania wykonane w sztolni Śnieżnik wykazały jedne z najwyższych notowanych wartości stężeń radonu w wodach Polski, tj. 3 kBq/dm³ [38]. W sztolni tej zawartość radonu w powietrzu, przy nieczynnej wentylacji wynosiła około 1,5 kBq/dm³ [38], podczas gdy w powietrzu Jaskini Niedźwiedziej wynosiła maksimum 5 Bq/dm³ [44]. Pomiary radioaktywności prowadzone są także w wyrobiskach dolnośląskich kopalń (służby geologiczne kopalń, Główny Instytut Górnictwa i Instytut Medycyny Pracy), jednakże ich wyniki nie zostały ostatecznie opracowane, ani nie są też publikowane.

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule informacje świadczą o tym, że stan wiedzy na temat geochemii radonu na Dolnym Śląsku jest niepełny i może być punktem wyjścia do bardziej szczegółowych i kompleksowych badań. Jest on określony znajomością geochemii macierzystych izotopów radonu, tzn. uranu-238 i toru-232. Stan ten uzupełniają jedynie nieliczne wycinkowe badania. Brak jest natomiast prac szczegółowych, które byłyby w stanie wyjaśnić geochemię radonu w skali regionalnej. Ustalenie rzeczywistego poziomu jego emisji umożliwi racjonalne zagospodarowanie terenów województwa dolnośląskich. Znajomość poziomu promieniowania i możliwości gromadzenia się radonu w poszczególnych rejonach może przyczynić się do właściwego lokowania budynków lub też izolowania ich od wpływu podłoża. Pozwoli także na lepsze wykorzystanie właściwości leczniczych niektórych sudeckich źródeł, co może mieć duże znaczenie dla rozwoju turystyki i lecznictwa sanatoryjnego tego regionu, jako alternatywy po likwidacji sudeckich ośrodków przemysłowych.

LITERATURA

1. A. MILISZKIEWICZ: Radon. PWN, Warszawa-Wrocław 1978.
2. C. R. COTHERN, J. E. SMITH, Jr.: Environmental Radon. Plenum Press, New York 1987.
3. Komitet Naukowy ds. Badań Skutków Radioaktywności ONZ: Radiation, Doses, Effects, Risks. United Nations Environment Programme 1985.
4. M. LAFAYE: The Radon Report. New Shelter, 1986, pp. 29-34.
5. R. BUCHLI, W. BURKART: Correlation among the terrestrial radiation, the indoor air ²²²Rn, and the tap water ²²²Rn in Switzerland. Health Physics, 1989, Vol. 57, No 5, pp. 753-759.
6. D. W. MOELLER: The control of radon in homes and buildings. Nuclear News, 1989, No. 6, pp. 36-39.
7. S. B. WHITE, J. W. BERGSTEN, B. V. ALEXANDER, N. F. RODMAN, J. L. PHILLIPS: Indoor ²²²Rn concentrations in a probability sample of 43,000 houses across 30 states. Health Physics, 1992, Vol. 62, No. 1, pp. 41-50.
8. A. POLAŃSKI: Podstawy geochemii. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1988.
9. A. BOLEWSKI: Mineralogia szczegółowa. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1982.
10. RAMA, W. S. MOORE: Mechanism of transport of U-Th series radioisotopes from solids into ground water. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, Vol. 48, pp. 395-399.
11. T. K. BALL, D. G. CAMERON, T. B. COLMAN, P. D. ROBERTS: Behaviour of radon in the geological environment: a review. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1991, Vol. 24, pp. 169-182.
12. A. MOGRO-CAMPERO, R. L. FLEISCHER: Subterrestrial fluid convection: a hypothesis for long-distance migration of radon within the earth. Earth and Planetary Science Letters, 1977, Vol. 34, pp. 321-325.
13. S. C. LIU, J. R. McAFEE: Radon-222 and Tropospheric Vertical Transport. Journal of Geophysical Research, 1984, Vol. 89, No D5, pp. 7291-7297.
14. H. DORR, K. O. MUNNICH: ²²²Rn flux and soil air concentration profiles in West-Germany. Soil ²²²Rn as tracer for gas transport in the unsaturated soil zone. Tellus, 1990, Vol. 42B, pp. 20-28.
15. W. E. CLEMENTS, M. H. WILKENING: Atmospheric pressure effects on ²²²Rn transport across the earth-air interface. Journal of Geophysical Research, 1974, Vol. 79, No 33, pp. 5025-5029.
16. M. H. WILKENING: Radon-222 concentrations in the convective patterns of a mountain environment. Journal of Geophysical Research, 1970, Vol. 75, No. 9, pp. 1733-1739.
17. R. S. LIVELY: Surface radioactivity resulting from the deposition of ²²²Rn daughter products. Health Physics, 1987, Vol. 52, No. 4, pp. 411-415.
18. J. KONYS, U. MACKIEWICZOWA: Wpływ promieniowania niskich aktywności na ustrój pracowników zatrudnionych przy zabiegach radonowych w Łądku Zdroju i Świeradowie Zdroju. Balneologia Polska, 1972, tom XVII, z. 1/2, ss. 39-46.
19. J. W. KOCHAŃSKI: Kuracja w Łądku Zdroju. Łądek Zdrój 1992.
20. J. JAGIELAK: Źródła promieniowania jonizującego i ocena równoważnika dawki otrzymywanej przez ludność Polski. Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, 1989, nr 2, ss. 28-31.
21. R. STRZELECKI, S. WOŁKOWICZ: Radon - zagrożenie większe niż „Czarnobyl”. Przegląd Geologiczny, 1993, nr 3, ss. 151-154.
22. Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z 31 marca 1988 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym. MP nr 14, 1988, poz. 124, § 10, pkt 2.
23. J. JANKOWIAK (red.): Balneologia kliniczna. PZWL, Warszawa 1962.
24. K. MARKIEWICZ, S. SŁAWIŃSKI: Wpływ jednorazowej kąpieli radonowo-siarczkowej na dynamikę serca u chorych na miażdżycę. Balneologia Polska, 1975, T. 20, nr 1-2, ss. 21-26.
25. E. SZCZEKLIK, B. HALAWA: Badania nad wpływem działania radonu i produktów jego rozpadu na organizm ludzki. Balneologia Polska, 1975, T. 20, nr 1-2, ss. 229-234.
26. B. HALAWA: Wpływ zabiegów radoczynnych na układ krążenia. Problemy uzdrowiskowe, 1978, nr 3, ss. 69-76.
27. A. ŻAK, M. BIERNACKA: Badania stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych. Bezp. Jądr. i Ochr. Radiol., 1991, nr 6, ss. 8-29.

28. J. BAREJA: Uranowe złoża osadowe na obszarze Sudetów w Polsce. Mat. konf. „Pierwsza polsko-jugosławiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych”, Karpacz 1960, ss. 13-22.
29. J. KANASIEWICZ: Profil geochemiczny uranu, seleniu i renu w cechystynie nieckiej leżczyńskiej. Kwart. Geol., 1966, T. 10, z. 2, ss. 309-314.
30. B. NIELUBOWICZ, T. WRÓBLEWSKI: Przyczynki do poznania okruszczowania uranowego w węglach warstw radwanickich na Dolnym Śląsku. Kwart. Geol., 1963, T. 7, z. 1, ss. 114-129.
31. W. ADAMSKI: Genetyczno-strukturalne typy złóż uranowych w Polsce. Mat. konf. „Pierwsza polsko-jugosławiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych”, Karpacz 1960, ss. 1-9.
32. Z. GŁOWACKI: Hydrotermalne złoża uranowe w Polsce. Mat. konf. „Pierwsza polsko-jugosławiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych”, Karpacz 1960, ss. 10-12.
33. A. KACZMAREK, W. MASŁOWSKI: Mineralizacja uranowa na tle ogólnej mineralizacji Sudetów. Mat. konf. „Pierwsza polsko-jugosławiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych”, Karpacz 1960, ss. 68-85.
34. W. ADAMSKI: Obecny stan badań i główne kierunki dalszych poszukiwań złóż uranowych w Polsce. Mat. konf. „Pierwsza polsko-jugosławiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych”, Karpacz 1960, ss. 86-94.
35. Zakłady Przemysłowe R-1 (pr. zbiorowa): Ocena uranonośności Sudetów. Kowary 1959, Arch. PIG Warszawa.
36. T. BUGAJ (red.): Kowary – szkice z dziejów miasta. KTN, Jelenia Góra 1989.
37. B. GŁOWIAK, J. ZIÓŁKOWSKI: Radioaktywność wód Świeradowa Zdroju. Gaz, Woda i Techn. Sanit., 1965, nr 5, ss. 166-169.
38. M. CIĘŻKOWSKI, W. CIĘŻKOWSKI: Możliwość zastosowania wód radonowych sztolni Śnieżnik do celów leczniczych. Problemy Uzdrowiskowe, 1981, Z. 9/12, ss. 181-183.
39. Mapy radiohydrogeologiczne wykonane przez Zakłady Przemysłowe R-1 w Kowarach, 1960-1974.
40. W. CIĘŻKOWSKI, H. MARSZALEK, A. SOLECKI: Radon w wodach podziemnych i w powietrzu glebowym obszaru granitu karkonoskiego. Mat. konf. „Geologiczne problemy Karkonoszy”, AUW No. , Wrocław 1993, ss. 119-124.
41. M. CIĘŻKOWSKI, W. CIĘŻKOWSKI: Zwykłe wody radonowe Łącka Zdroju. Przegląd Geologiczny, 1981, nr 4, pp. 183-184.
42. S. POSMYK: Optymalizacja parametrów pracy inhalatorium radonowego. Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, I-15, Wrocław 1977.
43. A. JAHN, S. KOZŁOWSKI, T. WISZNIOWSKA (red.): Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. Ossolineum, Wrocław 1989.
44. M. CIĘŻKOWSKI: Wstępne pomiary stężenia niektórych gazów i radioaktywności w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. Acta Universitatis Wratislaviensis, 1978, No. 311, Studia Geograficzne nr 24, Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie, T. 2, ss. 91-95.
45. F. AUMENTO: Il radon. Eco, Ricerche e Studi, 1989, Vol. 7, Nuova serie, No. 7.

RADON: METHOD OF OCCURRENCE IN THE NATURAL ENVIRONMENT OF LOWER SILESIA

The chemical and physical properties of radon, as well as its geochemistry with respect to the affinity for uranium and thorium, are discussed. Particular consideration is given to the effect of radon on living organisms, especially on man. The behaviour of this radioactive gas in the immediate environment of man (migrations, penetration and accumulation in building interiors) is analyzed. It has been found that our knowledge of

the geochemistry of radon in Lower Silesia is poor, as only few references to the migration pathways are available. Further investigations are needed to determine the radiation hazards due to the presence of radon and its daughter products. Such information is indispensable to the site planning of Lower Silesia.