

Pierwiastki promieniotwórcze a problem zagrożeń radioekologicznych w miastach regionu sudeckiego

Ryszard Strzelecki*, Stanisław Wołkowicz*, Tomasz Nałęcz*

Sudety stanowiące fragment Masywy Czeskiego są obszarem, gdzie na rozległych terenach występują formacje skalne o podwyższonej promieniotwórczości naturalnej. Ludność zamieszkała na tym obszarze otrzymuje więc znacznie wyższe dawki promieniowania niż w innych regionach Polski. Pracami pomiarowymi objęto 14 miast. Najwyższa wartość mocy dawki promieniowania gamma, znacząco przekraczająca 100 nGy/h, została stwierdzona w miastach zlokalizowanych częściowo lub w całości na granitach karkonoskich (Szklarska Poręba, Jelenia Góra, Karpacz, Kowary). Znacząca niższa wartość, wahająca się od 72 do 62 nGy/h, stwierdzono w miastach zlokalizowanych na skałach osadowych. Mimo to, wartości te są prawie dwukrotnie wyższe od wartości średniej mocy dawki promieniowania gamma obliczanej dla całej Polski. Wielkość dawki promieniowania gamma zależy od zawartości radionuklidów naturalnych, w tym przede wszystkim od zawartości uranu (>4 ppm) i toru (>12 ppm). Wysoka koncentracja uranu w granicie karkonoskim, brak słabo przepuszczalnych utworów w nadkładzie, głębokie zwietrzenie górotworu i obecność licznych stref uskokowych powoduje, że miasta zlokalizowane w granicach jego wychodni są zagrożone wysokim ryzykiem radonowym. Udział skażenia cezem poczynobylskim w całkowitej dawce promieniowania gamma jest marginalny i jedynie w rejonie Łądka Zdroju stwierdzono podwyższoną koncentrację tego radionuklidu, przy czym relatywnie wysoką wartość (88,8 kBq/m²) stwierdzono tylko na jednym punkcie pomiarowym.

Słowa kluczowe: Sudety, promieniotwórczość naturalna, dawka promieniowania gamma, uran, tor, potas, cez

Ryszard Strzelecki, Stanisław Wołkowicz & Tomasz Nałęcz — **Radioactive elements and radioecological hazard in towns of the Sudetic region (SW Poland).** Prz. Geol., 48: 1139–1150.

Summary. The Sudetes, being the fragment of Czech Massif, is an area with numerous exposures of rock formations characterized by increased natural radioactivity. Autochthons of this region are submitted to significantly higher radiation doses rate than populations in other parts of Poland. Radiation measures were realized in 14 towns and the highest gamma dose rate, more than 100 nGy/h, were noticed in towns located totally or partially on the Karkonosze granites (a. e. Szklarska Poręba, Jelenia Góra Karpacz, Kowary). Distinctly lower doses, from 62 to 72 nGy/h, were measured in towns founded on the sedimentary rocks but they are still almost twice higher than an average dose of gamma radiation, calculated for the whole Poland area. Value of radiation dose depends on a content of natural radionuclides, mainly on an amount of uranium (>4 ppm) and thorium (>12 ppm). High uranium concentration in the Karkonosze granites, a lack of low permeable sediments within an overburden, deep weathering of magmatic massif as well as occurrence of numerous fault zones favour a high radon risk in towns founded on such rock basement.

Participation of post-Chernobyl caesium in a gamma dose is quite subordinate and only in the vicinity of Łądek Zdrój was detected its increased concentration but the relatively high value (88,8 kBq/m²) was noticed in a single measure point.

Key words: Sudetes, natural radiation, gamma dose rate, uranium, thorium, potassium, caesium

Od kilku lat jest realizowany przez Ministerstwo Środowiska oraz Państwowy Instytut Geologiczny program badań pierwiastków promieniotwórczych w środowisku naturalnym.

Celem prac badawczych jest określenie występowania w powierzchniowej części środowiska geologicznego (skały, grunty, gleby, wody podziemne i powierzchniowe):

a) naturalnych radionuklidów uranu, toru, ich pochodnych (rad, radon), potasu (⁴⁰K),

b) radionuklidów sztucznych wprowadzonych do obiegu w środowisku przyrodniczym przez człowieka: próby z bronią jądrową, awaria elektrowni jądrowej w Czarnobylu, eksploatacja rud uranu w Sudetach,

c) ocena zagrożeń radioekologicznych z tytułu występowania w środowisku wymienionych radionuklidów.

W ramach tak zaplanowanego zakresu prac wykonano dotychczas:

— podstawowe zdjęcie gamma-spektrometryczne Polski w skali 1 : 750 000 pokazujące powierzchniowy rozkład uranu, toru, potasu, radioizotopów cezu oraz mocy całkowitej dawki promieniowania. Wyniki zdjęcia opublikowano w 1993–1995 r. (Strzelecki i in., 1993, 1994a, b, 1995a),

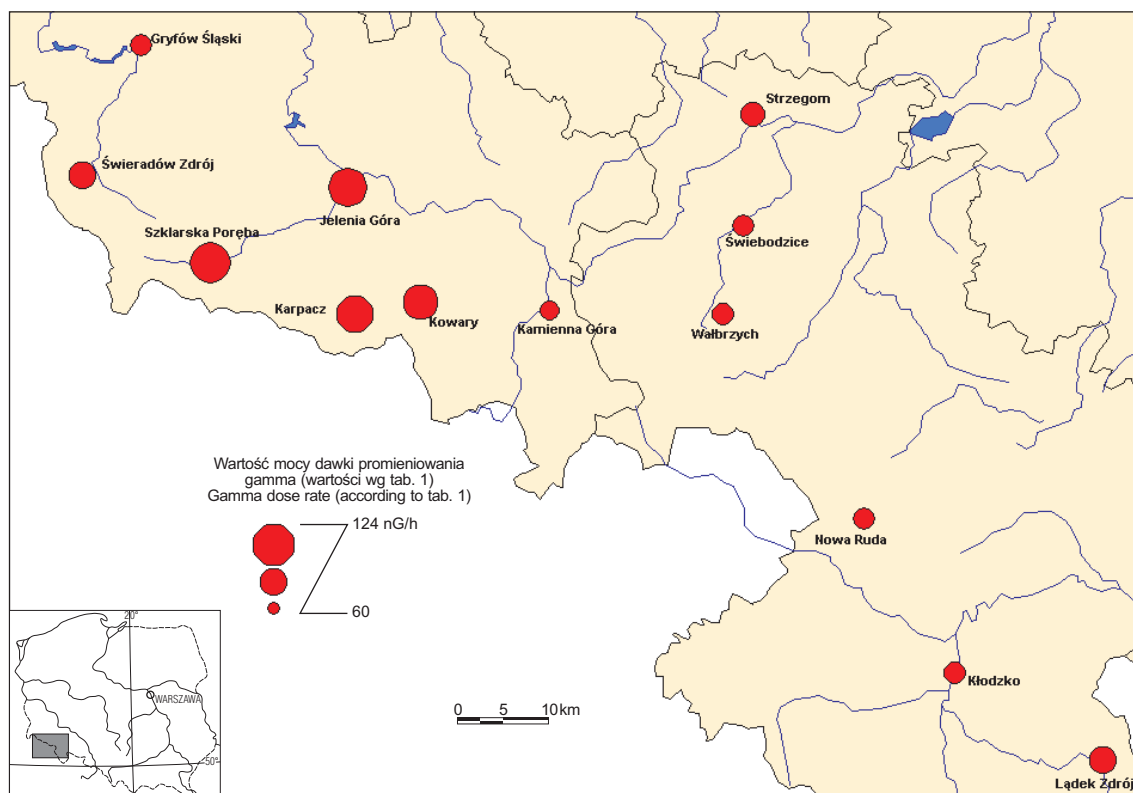
— szczegółowe prace kartograficzne w obszarach charakteryzujących się anomalnymi koncentracjami poczynobylskiego cezu >15 kBq/m². Prace te obejmujące powierzchniowo obszar ok. 30 000 km² zostały zakończone w 1995 r. (Strzelecki i in., 1995b),

— badania geochemiczne i biogeochemiczne radioizotopów cezu w obszarach o jego największych koncentracjach (opolskie, białostockie) (Strzelecki i in., 1995b)

— badania emanacji radonowych ze środowiska geologicznego na obszarze Sudetów i Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Wołkowicz i in., 1998).

Ocena przeprowadzona na podstawie pomiarów gamma-spektrometrycznych dla obszaru Polski (Strzelecki i in., 1993, 1994a) wykazała, że najwyższą wartością mocy dawki promieniowania gamma charakteryzuje się południowo-zachodnia część Polski, obejmująca Sudety oraz częściowo blok przedsudecki. Spowodowane jest to budową geologiczną tego obszaru. Na powierzchni występują tu formacje skalne zawierające podwyższoną zawartość pierwiastków promieniotwórczych, przede wszystkim uranu. Są to kwaśne skały magmowe i metamorficzne (granitoidy, gnejsy, porfiry, staropaleozoiczne łupki metamorficzne) oraz niektóre młodopaleozoiczne formacje osadowe. Na szczególną uwagę, ze względu na duży zasięg występowania oraz wysokie tło geochemiczne uranu, zasługują granity karkonoskie. W ich obrzeżeniu były eksploatowane aż do 1967 r. niewielkie złoża uranu. Pozo-

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa



Ryc. 1. Schematyczna mapa ilustrująca zróżnicowanie mocy dawki promieniowania gamma w badanych miastach dolnośląskich
Fig. 1. The schematic map of gamma dose rate in studied towns of Dolny Śląsk region

stałością po ich eksploatacji są liczne hałdy skał płonnych lub najuboższych rud, nie spełniających ówczesnych kryteriów eksploatacyjnych oraz znajdujący się w Kowarach osadnik odpadów powstałych po przeróbce rud. Obiekty te cieszą się dość dużym zainteresowaniem pod kątem oceny ich wpływu na środowisko naturalne i okoliczną ludność. Efektem są dość liczne prace publikowane (m. in. Piestrzyński i in., 1996; Ochman & Solecki, 1999) i anonsy prasowe. Należy jednak przy tym pamiętać, że skala górnictwa uranowego w Polsce była bez porównania mniejsza niż w krajach ościennych (Czechach i b. NRD), a co za tym idzie, problem potencjalnych zagrożeń jest marginalny i może mieć jedynie znaczenie lokalne.

Potencjalne zagrożenia radioekologiczne wynikają przede wszystkim z budowy geologicznej obszaru Sudetów i to było przyczyną podjęcia badań w rejonach zurbanizowanych Sudetów. Prace przeprowadzono w 14 największych ośrodkach miejskich i wybranych miejscowościach turystycznych (ryc. 1), położonych na obszarach charakteryzujących się wysokim tłem geochemicznym naturalnych radionuklidów. Oprócz naturalnych radionuklidów dodatkowo określono wielkość koncentracji poczynobylskiego izotopu cezu 137.

W miejscowościach tych wykonano w 1996 r. pomiary gamma-spektrometryczne według metodyki stosowanej przy wykonywaniu zdjęcia gamma-spektrometrycznego Polski. Pomiary wykonano w 2600 punktach zlokalizowanych w Wałbrzychu (900), Jeleniej Górze (430), Kowarach (200) i w pozostałych miejscowościach (od 60 do 140 punktów). Interpretację wyników prac pomiarowych przeprowadzono na tle budowy geologicznej. Wykonano cyfrowe wycinki map geologicznych w skali 1 : 25 000. Następnie każdemu punktowi pomiarowemu przyporządkowano typ litologiczny podłoża. Dla poszczegól-

nych typów litologicznych oraz miejscowości zostały obliczone podstawowe parametry statystyczne obejmujące koncentracje radionuklidów naturalnych, poczynobylskiego cezu 137, mocy całkowitej dawki promieniowania gamma oraz efektywnego równoważnika dawki pochłoniętej.

różła promieniowania jonizującego

Naturalne źródła promieniowania, typu alfa, beta i gamma, stanowią około 70%–80% efektywnego równoważnika dawki promieniowania otrzymywanej przez człowieka. Wartość dawki dla statystycznego mieszkańca Polski w 1998 r. wynosiła 3,3 mSv (Jagiłak i in., 1998), w tym 73,1% stanowiła dawka otrzymywana z naturalnych źródeł promieniowania, a 26,9% ze źródeł sztucznych, głównie z diagnostyki medycznej (Ochrona ..., 1999)

Najważniejszym naturalnym źródłem promieniowania jest radon i jego krótkożyciowe pochodne, radioizotopy polonu, bizmutu i ołowiu emitujące wysokoenergetyczne promieniowanie alfa. W Polsce stanowią one około 40% efektywnego równoważnika dawki: 1,2 mS/rok. W innych krajach udział radonu w efektywnym równoważniku dawki jest większy, a w krajach o budowie geologicznej charakteryzującej się obecnością przy powierzchni terenu formacji litologicznych o wysokim tle geochemicznym uranu, udział emisji radonu sięga nawet 75% wartości równoważnika dawki, w skali światowej udział radonu szacowany jest na 51%.

Promieniowanie gamma wywodzące się z obecnych w środowisku izotopów uranu, toru i radioaktywnego potasu stanowi ok. 15–20% dawki promieniowania, a ok. 10% jest związane z docierającym do nas promieniowaniem

kosmicznym, którego wielkość wzrasta z wysokością. Przeciętnie ulega ono podwojeniu co 2000 m.

Dodatkowe obciążenie promieniowaniem jonizującym mogą stwarzać awarie elektrowni atomowych oraz eksploatacja górnicza i przeróbka technologiczna rud uranu. Najlepszym przykładem jest katastrofa w elektrowni czarnobylskiej. W promieniu wieluset kilometrów od elektrowni skażone zostało początkowo powietrze, a następnie gleby i wody. Stopień wzrostu obciążenia mieszkańców jest uzależniony od regionalnych i lokalnych czynników atmosferycznych. W 1990 r. CLOR szacował, że udział skażeń poczarobylskich stanowił ok. 0,9% efektywnego równoważnika dawki statystycznego mieszkańca Polski (Jagiela i in., 1992), ale w regionie opolskim, gdzie skażenia są najwyższe można szacować, że udział ten był rzędu kilku procent.

W miejscach eksploatacji górnicznej złóż uranu może nastąpić wprowadzenie do środowiska odpadów o podwyższonej koncentracji radioizotopów i skażenie nimi wód powierzchniowych i podziemnych powodując lokalny wzrost wchłanianej dawki.

Pierwiastki promieniotwórcze w środowisku geologicznym

Radioizotopy powstające w trakcie przemian promieniotwórczych szeregów ^{238}U i ^{232}Th oraz izotop potasu ^{40}K decydują o geochemicznym obiegu izotopów promieniotwórczych w środowisku. W przedstawionym schemacie (ryc. 2) tylko niektóre z izotopów o długim okresie połowicznego zaniku uzyskują samodzielność geochemiczną, np. ^{230}Th i ^{226}Ra , pozostałe zachowują się biernie, np. izotopy ^{214}Pb , ^{210}Pb nie włączają się w obieg geochemiczny ołowiu lecz występują wspólnie z uranem. Zatem koncentracja wyjściowego izotopu uranu, jest decydująca dla występowania pozostałych izotopów szeregu.

Koncentracja uranu w środowisku geologicznym zależy od litologii i warunków geochemicznych, waha się od ułamków do setek gramów na tonę. Najwyższa przeciętna zawartość 3–5 ppm uranu jest notowana w kwaśnych skałach magmowych typu granitoidów. Znaną są liczne masywy granitoidowe wzbogacone w uran o wielokrotnie wyższej zawartości średniej dochodzącej do 20 ppm. W Europie wiele warwencyjskich masywów granitoidowych wykazuje tak wysoką zawartość uranu; w Polsce przykładem takiego masywu jest granitoidowy masyw Karkonoszy. W masywach tych jest znanych wiele złóż uranowych, które jeszcze w niedawnej przeszłości były przedmiotem eksploatacji górnicznej. Magmae skały zasadowe i ultrazasadowe, są zdecydowanie uboższe, zawierają zwykle poniżej 1 ppm uranu. Wśród skał osadowych najwyższą koncentracją uranu wyróżniają się skały ilaste — średnio 3,7 ppm. Ich odmiany bogate w substancję organiczną, tzw. łupki czarne, charakteryzują się wielokrotnie wyższą zawartością dochodzącą do 130 ppm. W Polsce tego typu łupki występują na powierzchni w Sudetach np. łupki walchiowe i antrakozjowe w depresji śródsuddeckiej i w Karpatach — łupki menilitowe. Zdecydowanie niższym tłem geochemicznym uranu, ok. 1 ppm, charakteryzują się skały węglanowe i piaszczyste, aczkolwiek w niektórych typach piaszczowców (serie tzw. *red beds*) obecne są bardzo bogate epigenetyczne koncentracje uranu, eksploatowane górnictwem w wielu krajach świata. Wysokim tłem geochemicznym uranu wyróżniają się fosforyty. Średnia zawartość uranu w importowanych do Polski fos-

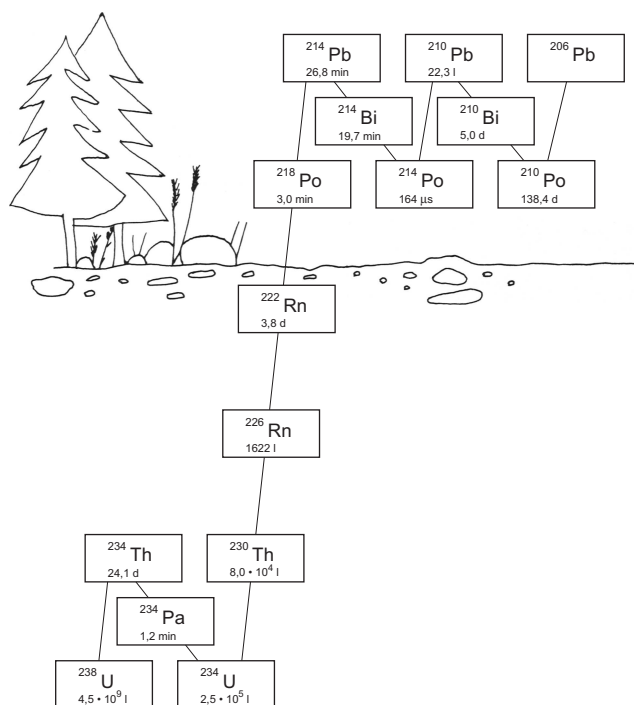
forytach marokańskich może sięgać 100 ppm. W skałach luźnych zawartość uranu zależy przede wszystkim od rodzaju skały macierzystej podłoża. W glinach morenowych w Szwecji, leżących bezpośrednio na podłożu granitowym, zawartość uranu wynosi ok. 3,5–6,5 ppm, podczas gdy w glinach morenowych w Polsce 2–3 ppm. W piaskach zawartość uranu jest zdecydowanie niższa, w piaskach eolicznych nie przekracza 1 ppm.

W środowisku powierzchniowym uran jest pierwiastkiem bardzo mobilnym geochemicznie. W warunkach utleniających jest łatwo ługowany ze skał i minerałów oraz transportowany w wodach podziemnych i powierzchniowych. W sprzyjających warunkach geochemicznych uran może być wiązany w glebach w procesie adsorpcji przez substancję organiczną, minerały ilaste, tlenki żelaza i manganu. Przykładem jest akumulacja uranu w torfach, która w torfowiskach Finlandii czy USA doprowadziła do powstania bardzo wysokich koncentracji uranu. W warunkach hipergenicznych następuje usamodzielnienie się izotopu ^{226}Ra . Jest on mniej mobilny niż izotopy uranu i w profilach glebowych często występuje nierównowaga pomiędzy uranem a radem. Rad często gromadzi się w utworach residualnych, z których uran jest odprowadzany. Zagadnienie to jest istotne przy szacowaniu wielkości emanacji radonowych z płytkiego środowiska geologicznego. Dlatego przy ocenie potencjału radonowego obszaru należy uwzględnić geochemię środowiska, a zwłaszcza właściwości fizyczne i chemiczne gleb, które mogą prowadzić do niskiego tła uranowego przy relatywnie wysokiej koncentracji radu, a co zatem idzie podwyższonego potencjału radonowego.

W wodach przeciętna zawartość uranu jest wielokrotnie niższa niż w skałach i gruntach — 0,003 ppm w wodzie morskiej i 0,001 ppm w wodach słodkich. W obszarach zbudowanych ze skał charakteryzujących się wysoką zawartością uranu, wody podziemne mogą zawierać znacznie wyższą koncentrację uranu. Przykłady takie są znane m.in. z obszaru Sudetów.

Promieniotwórczy izotop potasu ^{40}K jest jednym z trzech naturalnych izotopów potasu ziemskiego. Pozostałe dwa izotopy ^{39}K i ^{41}K nie ulegają przemianom promieniotwórczym. W ziemskim potasie izotop ^{39}K stanowi 93,22%, izotop ^{41}K stanowi 6,77%, a najistotniejszy z radiologicznego punktu widzenia izotop ^{40}K stanowi jedynie 0,0119%. Z uwagi na bardzo długi okres połowicznego rozpadu, stosunki ilościowe izotopów potasu można uznać za stałe. Z uwagi na swe właściwości chemiczne potas gromadzi się głównie w kwaśnych skałach magmowych — granitoidach, w których jego zawartość waha się w granicach 3–4%. W zasadowych skałach magmowych i większości skał osadowych zawartość potasu jest dużo niższa i nie przekracza 1–1,5%. W procesach hipergenicznych potas jest uwalniany z minerałów dość wolno, gdyż większość minerałów w których występuje, jest odporna na wietrzenie. Uwolniony, jest zatrzymywany przez minerały ilaste oraz rośliny, dla których jest pierwiastkiem niezbędnym w procesach życiowych. Koncentracja potasu w roślinach może osiągać 5% wagi suchej masy roślinnej, przy czym jest go więcej w roślinach trawiastych niż w drzewach. Obecny jest także w organizmach zwierzęcych, a w ciele ludzkim aktywność ^{40}K wynosi ok. 60 Bq/kg, co odpowiada zawartości potasu 0,2% (Kogan i in., 1971).

Działalność gospodarcza człowieka powoduje uruchomienie i powtórne wprowadzenie do środowiska geologicznego radioizotopów naturalnych, które koncentrują się



Ryc. 2. Schemat przemian promieniotwórczych szeregu urano-radowego (wg Pisspanena, 1991)

Fig. 2. Origin of ^{222}Rn in the decay series of ^{238}U (after Pisspanen, 1991)

w większości na powierzchni terenu. Wydobywanie górnictwa i przeróbka przemysłowa rud uranu powoduje powstawanie odpadów o wysokiej zawartości uranu, która może doprowadzić do skażenia wód podziemnych. Procesy technologiczne mogą powodować rekonzentrację uranu w utworach mających pierwotnie niską zawartość uranu. Przykładem jest węgiel kamienny. W procesach spalania w elektrowniach węglowych niewielka ilość uranu występująca w węglu (1–2 ppm) jest emitowana częściowo z pyłami, ale w większości koncentruje się w popiołach, w których zawartość uranu może dochodzić do kilkunastu ppm. W Polsce energetyka węglowa, przy spalaniu 80–85 mln t węgla, wprowadza do środowiska ok. 100 t uranu i 300 t toru rocznie. Wody podziemne w węglonośnych utworach karbońskich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wzbogacone są w rad. Zrzut wód kopalnianych do Wisły powoduje, że na długości dziesiątków kilometrów jest notowana w wodzie i w osadach tarasów rzecznych podwyższona promieniotwórczość.

Stosowanie w rolnictwie nawozów sztucznych, zwłaszcza fosforowych, powoduje również wprowadzanie do gleb uranu. W Niemczech ocenia się, że nawozy powodują wzrost średniej mocy dawki w powietrzu o ok. 0,2 pGy/s (0,05 nG/h) (Pfeister & Pauly, 1980).

Regulacje prawne w ochronie przed promieniowaniem jonizującym

Za ochronę i regulacje prawne w zakresie promieniowania jonizującego w Polsce odpowiada Państwowa Agencja Atomistyki.

Podstawową zasadą obowiązującą w ochronie radiologicznej jest zasada ALARA — *as low as reasonably achievable* — co oznacza dążność do minimalizacji otrzymywanych dawek.

W Polsce wielkość limitu efektywnego równoważnika dawki obejmującego zagrożenia całego ciała dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia zawodowego na promieniowanie jonizujące wynosi 50 mSv rocznie, a dla osób zamieszkałych lub przebywających w otoczeniu źródeł promieniowania oraz narażonych wskutek skażeń promieniotwórczych środowiska wynosi 1 mSv rocznie (Zarządzenie Prezesa PAA z dn. 31 marca 1988 r., Monitor Polski Nr 14 poz. 124). Limit dawki dla osób niepełnoletnich wynosi 0,1 podanych wyżej dawek. Nie obejmują one pochodzących od naturalnego tła promieniotwórczego i dawek medycznych.

Podobne dawki projektowane są w Dyrektywie Unii Europejskiej, która przewiduje limit roczny dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie 50 mSv, ale maksymalnie 20 mSv rocznie dla średniej z pięciu kolejnych lat pracy. Dla pozostałych osób limit dawki wynosi 1 mSv rocznie (jako średnia dla pięciu lat).

W wielu krajach obowiązują także normy dopuszczające określone koncentracje poszczególnych radioizotopów naturalnych i sztucznych w wodach pitnych, materiałach budowlanych i pomieszczeniach mieszkalnych. Najbardziej powszechne są normy dotyczące stężeń radonu w pomieszczeniach budynków. W większości krajów UE limit dopuszczalnych stężeń radonu w atmosferze pomieszczeń mieści się pomiędzy 200–400 Bq/m³ powietrza (Akerblom, 1999). Uznając bezpośredni związek pomiędzy obecnością radonu w środowisku geologicznym a emanacjami do budynków Szwecja, Czechy i Słowacja wprowadziły normy dotyczące dopuszczalnych stężeń Rn w powietrzu glebowym. Uznano, że w zależności od właściwości fizycznych podłoża, określone stężenie Rn od 10 do 100 kBq/m³ może prowadzić do przekroczenia limitów stężeń w pomieszczeniach. Dlatego w Czechach i Słowacji na terenach uznanych przez służbę geologiczną za zagrożone obecnością radonu w podłożu, przed rozpoczęciem inwestycji budowlanej należy wykonać badania stężeń Rn w powietrzu glebowym. W Polsce obowiązują wartości limitów 200 Bq/m³ dla budynków oddanych do użytku po 01.01.1998 r. i 400 Bq/m³ dla budynków istniejących przed tą datą (Zarządzenie ..., 1995).

W Finlandii, Szwecji, Czechach i Słowacji ustanowione są normy określające dopuszczalne stężenie radonu w wodach pitnych. Przykładowo, w normie szwedzkiej dla ujęć publicznych graniczna wartość stężenia radonu wynosi 100 Bq/l. Taka wielkość stężenia spowoduje wzrost efektywnego równoważnika dawki w skali roku o 0,45 mSv. Łatwo zauważyć, że stężenie rzędu 1000 Bq/l spowoduje wzrost dawki o 4,5 mSv/rocznie, a więc wielokrotnie więcej niż limit dawki granicznej — 1 mSv/rocznie.

Wyniki prac

Wałbrzych — pracami pomiarowymi objęto obszar Wałbrzycha i okolic począwszy od Szczawienka i Lubiechowa na północy, po Kozice na wschodzie, Glinik i Kuźnice Świdnickie na południu i Boguszów–Gorce na zachodzie.

Budowa geologiczna obszaru miasta jest bardzo skomplikowana. Miasto położone jest na dwóch jednostkach strukturalnych. Od wschodu jest to gnejsowa kra Górowich, pozostałą część stanowi niecka wałbrzyska wypełniona utworami karbonu produktywnego z licznymi ciałami wulkanitów karbonu i permu oraz formacją wulkaniczna Gór Kamiennych, należąca do depresji śródsudec-

kiej. Dodatkowym elementem deformującym powierzchnię terenu są liczne hałdy powstałe w wyniku wielowiekowej eksploatacji górniczej, głównie węgla, na tym terenie. Utwory czwartorzędowe na obszarze Wałbrzycha mają podrzędne znaczenie. Ich występowanie ogranicza się do dolin rzecznych, w tym przede wszystkim do doliny Pełcznicy.

W okolicach Wałbrzycha znanych jest kilkanaście punktów mineralizacji uranowej oraz ciał okruszczonych uranem, historycznie nazywanych „złożami”. Występują one głównie w utworach górnokarbońskich depresji śródsudeckiej i gnejsach Gór Sowich („złoża” Dziećmorowice i Kozice). W rejonie Grzmiącej na S od granic Wałbrzycha znajduje się uranowe ciało rudne znane jako „złożo Grzmiąca”, jedno z większych wystąpień uranu w Sudetach. Nie było ono eksploatowane.

Pomierzona wielkość mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Wałbrzycha waha się w przedziale od 24,1 do 138,5 nGy/h. Średnia wartość wynosi 72,35 nGy/h. Najwyższa moc dawki, przekraczająca 100 nGy/h występuje w południowej części miasta i jest związane z elementami antropogenicznymi, tj. z dużymi hałdami odpadów mineralnych kopalni węgla kamiennego. Wartość tego samego rzędu występuje również na wschodnim krańcu obszaru badań, na gnejsach sowiogórskich, w miejscu występowania punktu mineralizacji uranowej w Kozicach. Wartość wynosząca ponad 90 nGy/h, występująca w południowo-zachodniej części miasta, wykazuje związek z ryolitami masywu Chełmca i Mniszka. Utwory klastyczne karbonu górnego charakteryzują się relatywnie niską wartością mocy dawki promieniowania gamma wahającą się w granicach 60–80 nGy/h. Najniższa wartość, poniżej 60 nGy/h występuje w północno-zachodniej części Wałbrzycha, na obszarze występowania glin deluwialnych i glin zwałowych.

Zawartość uranu w punktach pomiarowych z obszaru Wałbrzycha waha się od 0 do 11,5 ppm, przy średniej wynoszącej 2,96 ppm. Najwyższa zawartość została stwierdzona w okolicach punktu mineralizacji w Kozicach (wschodni kraniec miasta). Zawartość przekraczająca 3 ppm, czyli wartość uznawaną w literaturze światowej za istotną, ze względu na możliwość wzmożonej generacji radonu, występuje na dużych obszarach w południowej, wschodniej i południowo-zachodniej części miasta. W zarejestrowanym obrazie anomalii na uwagę zasługują duże hałdy powstałe wskutek eksploatacji węgla kamiennego. Zawierają one zróżnicowany materiał reprezentujący zmineralizowane pokłady węgla, łupki przywęglowe oraz kwaśne wulkanity przecinające klastyczne utwory karbonu produktywnego. Ryolity Mniszka również zaznaczają się w postaci dodatniej anomalii uranowej; podwyższona jest także zawartość uranu w osadach aluwialnych u podnóża Mniszka.

Zawartość toru waha się w granicach od 0,1 do 13,7 ppm, przy średniej wynoszącej 7,54 ppm. Najwyższa wartość, przekraczająca 9 ppm występuje w zasadzie jedynie w południowej części miasta, w obszarach występowania dużych, zwartych hałd. Pozostały obszar wychodni karbonu górnego i gnejsów sowiogórskich charakteryzuje zawartość wahająca się w przedziale 7–9 ppm. Osady czwartorzędowe oraz występujące na południowo-wschodnim krańcu miasta tufy ryolitowe mają niską zawartość toru, nie przekraczającą 6 ppm.

Zawartość potasu na terenie Wałbrzycha waha się w granicach od 0,2 do 3,5%, przy wartości średniej

wynoszącej 1,73%. Najwyższa zawartość, przekraczająca 3%, jest związana z ryolitami Mniszka. Wartość potasu do 3% występuje również w niewielkich obszarach w południowej części miasta i jest związana z dużymi hałdami. Zawartość potasu w granicach od 1,5 do 2,25% charakteryzuje zarówno większość wychodni utworów klastycznych karbonu, jak i glin zwałowych i deluwialnych czwartorzędu. Najniższe, zarejestrowano w północno-wschodniej części miasta, gdzie duży udział w budowie podłoża mają zlepieńce kwarcowe namuru.

Stężenie cezu poczynobylskiego na terenie Wałbrzycha waha się od 0 do 16,3 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 3,30 kBq/m². Należy stwierdzić, że nawet te najwyższe stwierdzone stężenie nie stanowi żadnego zagrożenia radioekologicznego.

Nowa Ruda — pracami objęto obszar miasta Nowa Ruda wraz ze znajdującym się w pobliżu górniczym osiedlem Słupiec.

Nowa Ruda jest położona na utworach karbonu górnego i permu dolnego depresji śródsudeckiej. Utwory karbonu to piaskowce, zlepieńce i mułowce z wkładkami łupków i węgla należące do westfalu i stefanu. Utwory te, budujące środkową część Nowej Rudy, okalają utwory dolnego permu złożone ze zlepieńców i piaskowców płytowych z przewartwieniami skał ilasto-łupkowych (łupków antrakozjowych). Ponadto, w południowo-wschodniej części obszaru występują gabra.

Na obszarze od Głuszycy do Nowej Rudy w utworach klastycznych górnego karbonu występuje wiele mniej lub bardziej stałych horyzontów wzbogaconych w uran. Mineralizacja występuje w łupkach ilastych, wkładkach węglowych, piaskowcach i zlepieńcach. Najwyższa zawartość sięga ok. 0,1% (Miecznik, 1990). Zmineralizowane warstwy występują od powierzchni terenu do głębokości kilkuset metrów. Tam, gdzie występują w strefie przypowierzchniowej dają intensywne anomalie promieniowania gamma i wzmożone emanacje radonowe, licznie występujące w rejonie Sierpnicy, Sokolca, Ludwikowic Kł., Jugowa i Drogosławia. Oprócz utworów górnego karbonu na tym obszarze wzbogacone w uran są łupki antrakozjowe, tworzące dwa wyraźne poziomy litologiczne o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów, zaliczane przez różnych autorów bądź to do górnego karbonu i dolnego permu bądź do dolnego permu.

Stwierdzona wartość mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Nowej Rudy i Słupca waha się od 21,4 do 128,6 nGy/h, przy wartości średniej wynoszącej 70,63 nGy/h. Najwyższa wartość, przekraczająca 100 nGy/h występuje w środkowej części Nowej Rudy i związane jest z klastycznymi utworami dolnego permu i górnego karbonu. Pozostała część Nowej Rudy charakteryzuje się wartością mocy dawki promieniowania gamma w granicach 60–80 nGy/h. Najniższe, rzędu 20 nGy/h, występujące na północnym i wschodnim krańcu miasta związane są z wychodniami skał zasadowych — gabra.

W rejonie Słupca wartość mocy dawki nie przekracza 80 nGy/h, a występujące w północno-wschodniej części diabazy sprawiają, że na obszarze tym wartość obniża się do 20 nGy/h. Na monotony charakter obrazu anomalii na obszarze Słupca mają niewątpliwie wpływ gliny deluwialne występujące na obszarze większej części miasta.

Zawartość uranu na obszarze Nowej Rudy i Słupca waha się od 0,3 do 7,4 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 2,87 ppm. Najwyższa zawartość uranu, przekraczająca 4 ppm, występuje w środkowo-południowej części

Tab. 1. Zestawienie zawartości radionuklidów naturalnych (uranu, toru i potasu) i poczarnobylskiego cezu w badanych miastach Dolnego Śląska (usystematyzowano względem malejących średnich zawartości uranu)

	Zawartość											
	Uran ppm			Tor ppm			Potas %			Cez kBq/m ²		
	śred.	maks.	min.	śred.	maks.	min.	śred.	maks.	min.	śred.	maks.	min.
Szklarska Poręba	4,97	10,8	2,2	15,56	25,2	6,4	2,61	4,5	1,2	3,12	7,8	0
Jelenia Góra	4,34	9,3	1,5	13,29	25,2	6,5	2,95	4,7	1,5	3,04	8,3	0
Karpacz	4,11	7,3	1,7	17,85	22	6,5	2,59	3,8	1,5	4,84	11,9	0
Kowary	4,04	14,4	1,4	12,09	21	5,4	2,66	4,1	1,5	3,77	8,4	0,5
Świeradów	3,49	5,7	1,6	7,39	12,1	3,2	2,45	3,8	1,2	3,4	6,3	0,7
Strzegom	3,44	11,6	1,4	9,22	13,4	4,9	1,83	2,7	1,1	1,33	4,2	0
Świebodzice	3,02	5,1	1,5	7,89	11	5,2	1,62	2,6	0,9	1,3	3,3	0
Wałbrzych	2,96	11,5	0	7,54	13,7	0,1	1,73	3,5	0,2	3,3	16,3	0
Lubań	2,92	5,8	1	7,71	11,1	4,2	1,67	2,3	0,9	1,33	3,5	0
Nowa Ruda-Słupiec	2,87	7,4	0,3	8,27	15,1	3,5	1,57	2,7	0,5	1,81	6,4	0
Gryfów	2,67	5,2	0,8	8	14,1	4,1	1,73	2,9	1	1,55	4,6	0
Łądek Zdrój	2,64	5,2	0,9	8,35	12,8	3,9	2,11	3	1,2	17,37	88,8	2,1
Kłodzko	2,59	6,2	1	8,62	11,7	4,4	1,82	2,7	1,1	1,83	4,4	0

Nowej Rudy i jest związana z wychodniami niższej części dolnego permu. Utwory karbonu górnego w większości charakteryzują się zawartością 3–4 ppm.

Zawartość toru na obszarze Nowej Rudy i Słupca waha się od 3,5 do 15,1 ppm, przy średniej wynoszącej 8,27 ppm. Rozkładu toru jest podobny do uranu. W środkowo-południowej części Nowej Rudy występuje dość rozległa anomalia o wartości przekraczającej 10 ppm. Ma ona związek z utworami najwyższego karbonu i dolnego permu. Pozostała część obszaru, który budują osady karbonu i permu, cechuje się zawartością toru w granicach 7–10 ppm.

Zawartość potasu na obszarze Nowej Rudy i Słupca waha się od 0,5 do 2,7%, przy wartości średniej wynoszącej 1,57%. Na większości obszaru zawartość potasu waha się w granicach 1,5–2,0%. We wschodniej części Nowej Rudy oraz w północno-wschodniej części Słupca, w obszarach występowania gabr i diabazów, zawartość potasu obniża się do wartości poniżej 0,75%.

Stężenie cezu poczarnobylskiego na obszarze Nowej Rudy i Słupca jest bardzo niskie i waha się od 0 do 6,4 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 1,81 kBq/m².

Kamienna Góra — pracami objęto obszar od Ptaszkowa na północy po Sadową Górę na południu. Pod względem geologicznym Kamienna Góra jest zlokalizowana w północno-zachodniej części depresji śródsudeckiej. Miasto jest położone w dolinie Bobru i jego dopływu Zadrnej. Osiove partie dolin wypełniają osady piaszczysto-żwirowe o miąższości sięgającej odpowiednio 7 m i 2 m. Zachodnie części obydwu dolin budują gliny zwałowe stadiału maksymalnego zlodowacenia środkowopolskiego. Ich miąższość wynosi kilka metrów, sporadycznie osiągając 10 m. Podłożem dla osadów czwartorzędowych są utwory karbonu dolnego (wizenu), w mniejszym stopniu karbonu górnego (namuru). Są to utwory gruboklastyczne: zlepińce i piaskowce z przewarstwieniami mułowców.

W rejonie Kamiennej Góry są znane dwa punkty mineralizacji uranowej związane z utworami górnokarbońskimi.

Pomierzona wartość mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Kamiennej Góry waha się od 35,2 do

90,7 nGy/h, przy wartości średniej wynoszącej 61,91 nGy/h. Nieco wyższa dawka, wynosząca ponad 60 nGy/h, jest związana z utworami czwartorzędowymi, zwłaszcza doliny Zadrnej. Utwory karbonu dolnego, przeważnie gruboklastyczne, cechują się niższymi wartościami mocy dawki, mieszczącymi się w granicach 40–60 nGy/h.

Zawartość uranu w rejonie Kamiennej Góry wynosi od 0,8 do 4,3 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 2,3 ppm. Wartość przekraczająca 3 ppm jest związana wyłącznie z osadami rzecznoymi, zwłaszcza Zadrnej.

Zawartość toru na terenie Kamiennej Góry waha się od 3,4 do 11,6 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 7,38 ppm, natomiast zawartość potasu wynosi od 0,8 do 2,5%, przy średniej wynoszącej 1,46%.

Stężenie cezu na obszarze Kamiennej Góry jest niskie i wynosi od 0 do 4,1 kBq/m², przy średniej wynoszącej 1,37 kBq/m².

Jelenia Góra — pracami pomiarowymi objęto cały obszar miasta począwszy od Maciejowej, poprzez Cieplice Zdrój do Sobieszowa. Obszar zwartej zabudowy położony jest w dolinach rzek Bóbr i Kamiennej. Miasto prawie w całości leży w strefie wychodni granitów karkonoskich. Jedynie północno-zachodnia część miasta w części jest położona na gnejsach izerskich, wykształconych w postaci gnejsów drobnolaminowanych lub słojuowo-oczkowych z dwulizycznykowymi granitami równoziarnistymi. Granity karkonoskie — budujące pozostałą część badanego obszaru — to w większości granity porfirowate z soczewkami granitów równoziarnistych. Przeważnie przykryte są rzecznoymi osadami czwartorzędowymi Kamiennej i Bobru oraz ich licznych dopływów. Są to zwykle piaski i żwiry wodnolodowcowe oraz piaski i żwiry tarasów rzecznych. Miąższość osadów czwartorzędowych wynosi maksymalnie do 20 m, przy średniej miąższości wynoszącej ok. 8 m. W wielu miejscach, zwłaszcza po wschodniej stronie Kamiennej, znajdują się wychodnie granitów, na których bezpośrednio są posadowione zabudowania.

Granitowy masyw Karkonoszy charakteryzuje się podwyższoną zawartością uranu. Najbardziej uranonośne są granity równoziarniste Głównego Grzbietu, gdzie zawar-

tość uranu waha się w granicach 8–11 ppm (Jeliński, 1965). Granity porfirowate Pogórza Karkonoskiego są uboższe i zawierają przeciętnie ok. 4 ppm uranu. We wschodniej części masywu Karkonoszy najbardziej uranonośne są granity równoziarniste i aplogranity Rudaw Janowickich, gdzie zawartość uranu sięga do 18 ppm. W obszarze tym zaznacza się obecność dwóch „kopuł” wzbogacenia w uran. Jedną z nich obejmuje Rudawy Janowickie i wschodnią część Kotliny Jeleniogórskiej, druga obejmuje Wzgórza Łomnickie.

W rejonie Jeleniej Góry w granitach jest znane uranowe ciało rudne („złoże Majewo”) oraz dwa punkty mineralizacji uranowej. Ponadto w strefie kontaktu granitów z gnejsami izerskimi znajduje się strefa okruszczowana uranem, która była przedmiotem eksploatacji górniczej w latach 50. (tzw. „złoże Wojcieszycy”).

Pomierzona wielkość mocy dawki promieniowania gamma na terenie Jeleniej Góry waha się od 57,4 do 179,7 nGy/h, przy wartości średniej wynoszącej 117,95 nGy/h. Północna część miasta, znajdująca się w obszarze doliny Bobru, charakteryzuje się wartością mocy dawki do 100 nGy/h, a związane to jest z większą miąższością osadów rzecznych w dolinie Bobru oraz silniejszym utlenieniem granitów tego obszaru i wyługowaniem uranu. Obszar miasta zlokalizowany na południe od doliny Bobru prawie w całości charakteryzuje się wartością mocy dawki promieniowania gamma przekraczającą 100 nGy/h. W zwartych obszarach zbudowanych z granitów karkonoskich pojawiają się rozległe maksima przekraczające 150 nGy/h. W obrębie środkowej i południowej części obszaru badań w rejonie Czarnego i Sobieszowa znajdują się niewielkie obszary pokryte osadami czwartorzędowymi, na których moc dawki spada poniżej 100 nGy/h.

Zawartość uranu na obszarze Jeleniej Góry waha się w granicach od 1,5 do 9,3 ppm przy zawartości średniej wynoszącej 4,34 ppm. Zawartość poniżej 3 ppm, w większych skupieniach występuje jedynie na północ od Bobru, na bardzo ograniczonych obszarach na północ od Sobieszowa oraz w okolicy Czarnego. Na pozostałym obszarze zawartość uranu waha się od 3 do 5 ppm, a w rejonie Cieplic Zdroju pojawiają się strefy wysokich koncentracji — rzędu 8 ppm. Rozległe anomalie z zawartością 7 ppm, występują w środkowej części Jeleniej Góry.

Zawartość toru na obszarze Jeleniej Góry waha się od 6,5 do 25,2 ppm, przy średniej wynoszącej 13,29 ppm. Najniższa zawartość występuje w północnej części obszaru i jest związana z rozległą doliną Bobru. Wychodnie granitów charakteryzują się zawartością toru wahającą się w granicach 14–18 ppm.

Zawartość potasu na obszarze Jeleniej Góry waha się w granicach od 1,5 do 4,7%, przy średniej wynoszącej 2,95%. Niska zawartość, wynosząca przeważnie poniżej 2,75% występuje w dolinie Bobru. Zdecydowanie wyższa zawartość potasu charakteryzuje obszary wychodni granitów.

Stężenie cezu na obszarze aglomeracji jeleniogórskiej jest bardzo niskie i waha się od 0 do 8,1 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 3,04 kBq/m².

Kowary — pracami objęto całą dolinę Jedlicy, wzdłuż której grupuje się miejska zabudowa Kowar, po rejon Bukowca na północy, Wojkowa na wschodzie, Podgórze na południu oraz Ścięgien i Krzaczyzny na zachodzie. Obszar ten w przeważającej części jest położony na granitach karkonoskich, przy czym osiowa jego część, charakteryzująca się zwartą zabudową, zlokalizowana jest na osadach czwartorzędowych o miąższości kilku metrów przykry-

wających granity. Osady czwartorzędowe to paleoceńskie piaski i żwiry tarasów Jedlicy o miąższości 9–12 m oraz holocenijskie osady rzeczne. Granity karkonoskie w rejonie Kowar reprezentowane są przede wszystkim przez skały gruboziarniste, porfirowate, z soczewkami granitów biotytowych, syenitów, niekiedy również lamprofirów. Południowa część Kowar–Podgórze — leży już na obszarze Rudaw Janowickich, zbudowanych ze skał metamorficznych osłony Karkonoszy. Występują tu różne odmiany gnejsów: skaleniowe, oczkowe, drobnowarstewkowe, miejscami granitognejsy. Na kontakcie skał osłony z granitami występują soczewy skał wapienno-krzemianowych (skarnów). Na południe od gnejsów występują łupki łuszczycowe z soczewkami amfibolitów, łupków kwarcowo-łuszczycowych i fyllity, a na południowo-wschód od Przełęczy Kowarskiej występują ordowicko-sylurskie utwory serii Niedamirowa.

W rejonie Kowar znajdowały się największe polskie złoża uranu, które były eksploatowane w latach 1948–1958 i wydobyto z nich ok. 300 t uranu. Były to złoża „Wolność”, „Podgórze” oraz mniejsze „Liczyrzepa” i „Wiktorja”. Rudy uranowe lokalizują się w strefie kontaktu tektonicznego granitów ze skałami osłony metamorficznej.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma na terenie Kowar waha się w zakresie od 67,2 do 176,6 nGy/h, przy średniej wynoszącej 108,48 nGy/h. Najwyższa dawka, przekraczająca 130 nGy/h, w zwartej masie występuje w północnej części miasta, na znacznych obszarach w części środkowej oraz w postaci intensywnych anomalii w jego części zachodniej i południowej. Związane są one przede wszystkim z tymi obszarami, gdzie granity karkonoskie występują bezpośrednio na powierzchni. Anomalia występująca w południowej części miasta, w rejonie Podgórze, związana jest z gnejsami kowarskimi, w obrębie których znajduje się wiele punktów mineralizacji uranowej. Obecnie znajdują się tam liczne ślady po eksploatacji i przeróbce rud uranowych.

Zawartość uranu na obszarze Kowar waha się od 1,4 do 14,4 ppm, przy średniej wynoszącej 4,04 ppm. W obrazie przestrzennym zaznacza się bardzo intensywna anomalia, o zawartości przekraczającej 14 ppm, w południowej części miasta, w Podgórzu, gdzie występują liczne przejawy mineralizacji uranowej oraz pozostałości hałd po eksploatacji uranu. Zawartość w granicach 4–7 ppm występuje od Podgórze wzdłuż doliny Jedlicy i częściowo może to być związana z ługowaniem uranu z hałd w Podgórzu i rozproszaniem go wzdłuż cieku. Wartość przekraczająca 4 ppm występuje w środkowej części miasta w dolinie Jedlicy, w północnej części miasta, gdzie bezpośrednie podłoże stanowią granity oraz w zachodniej części miasta (w Krzaczyźnie), gdzie również na powierzchni występują granity.

Zawartość toru na obszarze Kowar waha się od 5,4 do 21 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 12,09 ppm. Zwarte obszary o zawartości toru, przekraczającej 14 ppm są związane z wychodniami granitów, które obejmują prawie całą północną i zachodnią część miasta. Zawartość potasu w Kowarach waha się w przedziale od 1,5 do 4,1%, przy wartości średniej wynoszącej 2,66%. W zasadzie wszystkie wychodnie granitów i większość wychodni gnejsów charakteryzuje się zawartością K powyżej 2,5%, z licznymi anomaliami powyżej 3,25%. Niższa zawartość występuje w południowo-wschodniej części i jest związana z łupkami krystalicznymi osłony Karkonoszy oraz ze skarnami występującymi na kontakcie granitów z gnejsami.

Tab. 2. Zestawienie wartości mocy dawki promieniowania gamma w badanych miastach Dolnego Śląska i przeliczonych wartości efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej (usystematyzowano względem malejących średnich wartości mocy dawki promieniowania gamma)

Miasto	Liczba pomiarów	Wartość mocy dawki promieniowania gamma nGy/h			Efektywny równoważnik dawki wchłoniętej mSv/rok		
		śred.	maks.	min.	śred.	maks.	min.
Szklarska Poręba	120	124,78	191,0	73,6	0,76	1,16	0,45
Jelenia Góra	430	117,95	179,7	57,4	0,72	1,10	0,35
Karpacz	140	114,43	170,0	62,6	0,70	1,04	0,38
Kowary	200	108,48	176,6	67,2	0,66	1,08	0,41
Lądek Zdrój	100	89,38	133,6	67,0	0,55	0,82	0,41
Świeradów Zdrój	70	86,01	118,0	52,6	0,52	0,72	0,32
Strzegom	100	80,83	127,7	59,2	0,49	0,78	0,36
Kłodzko	100	73,61	103,9	47,6	0,45	0,63	0,29
Wałbrzych	900	72,35	138,5	24,1	0,44	0,84	0,15
Gryfów	100	70,64	108,7	43,1	0,43	0,66	0,26
Nowa Ruda-Słupiec	120	70,63	128,6	21,4	0,43	0,78	0,13
Świebodzice	60	70,56	98,7	47,2	0,43	0,60	0,29
Lubań	80	70,22	98,8	46,1	0,43	0,60	0,28

Stężenie cezu na obszarze Kowar jest niskie i waha się w przedziale od 0,5 do 8,4 kBq/m², przy średniej wynoszącej 3,77 kBq/m².

Karpacz — pracami objęto teren od Brzezia Karkonoskiego na północy po Wilczą Porębę na południu i od Ściegien na wschodzie po Karpacz Górny na zachodzie. Karpacz prawie w całości jest położony na granitach karkonoskich. Są to granity gruboziarniste, porfirowate, przecinane nielicznymi utworami żyłowymi: aplitami i lamprofirami.

W okolicach Karpacza jest znany punkt mineralizacji uranowej w strefie kontaktu granitu z osłoną metamorficzną.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Karpacza waha się od 62,6 do 170 nGy/h, przy wartości średniej wynoszącej 114,43 nGy/h. Wysoka wartość mocy dawki, przekraczające 100 nGy/h występuje prawie na całej części środkowej i zachodniej miasta, położonej bezpośrednio na granitach karkonoskich. Na obszarze tym zaznacza się obecność wielu pól, w których moc dawki przekracza 130 nGy/h (np. Wilcza Poręba). Wschodnia część miasta położona na osadach czwartorzędowych charakteryzuje się niższą wartością mocy dawki promieniowania gamma, wahającą się w granicach 70–90 nGy/h.

Zawartość uranu na obszarze Karpacza waha się w przedziale od 1,7 do 7,3 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 4,11 ppm. Zawartość powyżej 3 ppm występuje praktycznie na całym obszarze, gdzie powierzchnia terenu jest zbudowana z granitów karkonoskich.

Zawartość toru na obszarze Karpacza wynosi od 6,5 do 22 ppm, średnio 17,85 ppm. Cała środkowa i zachodnia część miasta charakteryzuje się zawartością toru powyżej 11 ppm, przy czym większość tego obszaru cechuje wartość powyżej 14 ppm.

Zawartość potasu w Karpaczu waha się w przedziale od 1,5 do 3,8%, przy średniej wynoszącej 2,59%. Rozkład

przestrzenny zawartości potasu jest zbliżony do rozkładu uranu i toru.

Stężenie cezu na obszarze Karpacza waha się w granicach od 0 do 11,9 kBq/m², przy średniej wynoszącej 4,84 kBq/m².

Szklarska Poręba — pracami objęto Szklarską Porębę Dolną, Średnią i Górną. Badany obszar w całości jest zlokalizowany na granitach karkonoskich. Są to granity gruboziarniste, porfirowate, niekiedy drobnoziarniste, porfirowate. Granity są rozcinane wąskimi dolinami strumieni, przeważnie o założeniach tektonicznych. Wypełniają je niewielkiej miąższości osady czwartorzędowe złożone z materiału lokalnego.

Wzdłuż północnego kontaktu granitu z metamorfikiem izerskim występuje kilka punktów z okruszczeniem uranowo-torowym i jeden punkt mineralizacji torowej.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Szklarskiej Poręby waha się w granicach od 73,6 do 191 nGy/h, przy wartości średniej wynoszącej 124,78 nGy/h. Poza niewielkimi obszarami związanymi z dolinami wypełnionymi czwartorzędem, gdzie moc dawki spada poniżej 100 nGy/h, cały pozostały obszar zbudowany z granitów karkonoskich cechuje wysoka wartość mocy dawki, a jej zróżnicowanie warunkują zmienności w stopniu zwietrzenia skał.

Spektrometrycznie zmierzona zawartość uranu na obszarze Szklarskiej Poręby waha się od 2,2 do 10,8 ppm, przy wartości średniej 4,97 ppm. Praktycznie cały obszar Szklarskiej Poręby charakteryzuje się zawartością uranu przekraczającą 3 ppm. Intensywna anomalia uranowa, sięgająca 10 ppm występuje w środkowo-wschodniej części miasta.

Zawartość toru na obszarze Szklarskiej Poręby wynosi od 6,4 do 25,2 ppm, średnio 15,56 ppm. Rozkład przestrzenny toru podobny jest do rozkładu uranu.

Zawartość potasu waha się w granicach od 1,2 do 4,5%, przy wartości średniej wynoszącej 2,61%.

Stężenie cezu na obszarze Szklarskiej Poręby waha się w przedziale od 0 do 7,8 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 3,12 kBq/m².

Świeradów Zdrój — pracami objęto obszar od Orłowic w północnej części obszaru przez całą zurbanizowaną dolinę Kwisy w kierunku Szklarskiej Poręby na południu. Badany obszar jest położony w całości na północnej osłonie metamorficznej masywu karkonoskiego. W okolicach uzdrowiska nie stwierdzono mineralizacji uranowej, natomiast eksploatowane wody mineralne należą do radoczynnych szczaw (Przylibski, 1998).

Wielkość mocy dawki promieniowania gamma na terenie Świeradowa Zdroju waha się od 52,6 do 118 nGy/h, przy średniej wynoszącej 86,01 nGy/h. Wartości powyżej 100 nGy/h reprezentują niewielkie obszary w różnych częściach miasta. Związane są one z osadami czwartorzędowymi doliny Kwisy w pobliżu wychodni granitoidów. Obszary zbudowane z gnejsów, które dominują w budowie geologicznej Świeradowa, charakteryzują się wartością mocy dawki w granicach 80–100 nGy/h. Najniższa wartość, spadająca niekiedy poniżej 60 nGy/h, występuje w zachodniej części Świeradowa.

Zawartość uranu na obszarze Świeradowa Zdroju waha się w od 1,6 do 5,7 ppm, przy średniej wynoszącej 3,49 ppm. Najwyższa, przekraczająca 4 ppm, występuje w środkowo-wschodniej części Świeradowa oraz w części zachodniej. Związane są one bądź to bezpośrednio z granitami rumburskimi lub z osadami czwartorzędowymi występującymi w pobliżu wychodni tychże granitów. Gnejsy izerskie, a także pozostałe utwory czwartorzędowe charakteryzują się zawartością uranu wahającą się pomiędzy 3 a 4 ppm.

Zawartość toru na obszarze Świeradowa Zdroju waha się w od 3,2 do 12,1 ppm, przy średniej wynoszącej 7,39 ppm. Na większości obszaru zawartość toru waha się w granicach 7–9 ppm.

Zawartość potasu na obszarze Świeradowa Zdroju waha się od 1,2 do 3,8%, przy wartości średniej wynoszącej 2,45%. Najwyższa zawartość potasu, przekracza 3,25%, jest związana z wychodniami granitoidów.

Zawartość cezu na obszarze Świeradowa Zdroju są bardzo niskie i wahają się w granicach od 0,7 do 6,3 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 3,4 kBq/m².

Gryfów Śląski — pracami objęto obszar od wzgórza Szostek i Godziszawia na północy do Nowej Wsi Gryfowskiej na południu. W budowie geologicznej powierzchniowej części tego obszaru dominują utwory czwartorzędowe wykształcone w postaci glin zwałowych oraz piasków i żwirów wodnolodowcowych zlodowacenia środkowopolskiego. Ich miąższość wynosi z reguły kilka-, kilkanaście metrów, w podłożu występują gnejsy bloku karkonosko-izerskiego. Są to gnejsy oczkowe i słojuwe, partiami przechodzące w granitognejsy. Utwory krystaliczne występują na powierzchni terenu w południowo-zachodniej części badanego obszaru (rejon Jeziora Złotnickiego) oraz na południowo-wschód od Gryfowa.

W pobliżu Gryfowa (5 km na SE) jest zlokalizowane największe z eksploatowanych w przeszłości w Polsce złóż uranu. Skałami, w których występuje mineralizacja uranowa są gnejsy pasemkowe, granitognejsy oraz łupki kwarcowo-chlorytowe (Jaskólski, 1967). Złoże w Radoniowie było eksploatowane do 1963 r. Wydobyto łącznie 214 t uranu, w złożu pozostała jeszcze pewna ilość zasobów, szacowana na 345 t (Wołkowicz & Strzelecki, 1993).

Wartość mocy dawki promieniowania gamma na terenie Gryfowa Śląskiego jest niska i waha się w przedziale od 43,1 do 108,7 nGy/h, przy średniej wynoszącej 70,64 nGy/h. Wartość mocy powyżej 100 nGy/h występuje w środkowo-zachodniej części badanego obszaru i jest związana z wychodniami gnejsów oczkowych. Na pozostałym obszarze, gdzie powierzchnia terenu jest zdominowana przez osady czwartorzędu, nie przekracza wartości 80 nGy/h, a lokalnie spada poniżej 60 nGy/h (w północnej części miasta).

Zawartość uranu na obszarze Gryfowa Śl. waha się od 0,8 do 5,2 ppm, przy średniej wynoszącej 2,67 ppm. Wartość przekraczająca 4 ppm występuje w środkowo-zachodniej części miasta, gdzie w podłożu występują gnejsy i granitognejsy. Pozostały obszar, przykryty osadami czwartorzędowymi, głównie piaskami i żwirami tarasów rzecznych oraz glinami zwałowymi, charakteryzują wartości nie przekraczające 3 ppm, często spadające poniżej 2 ppm.

Zawartość toru na obszarze Gryfowa Śl. waha się od 4,1 do 14,1 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 8 ppm. Rozkład zawartości toru jest zbliżony do rozkładu uranu.

Zawartość potasu na obszarze Gryfowa Śląskiego waha się od 1,0 do 2,9%, przy zawartości średniej

wynoszącej 1,73%. Najwyższa zawartość, w przedziale od 2,25 do ponad 2,75%, występuje w środkowo-zachodniej części miasta i jest związana z wychodniami gnejsów.

Stężenie cezu na obszarze Gryfowa Śląskiego jest bardzo niskie i waha się od 0 do 4,6 kBq/m², przy średniej wynoszącej 1,55 kBq/m².

Strzegom — pracami objęto środkową część Strzegomia, Międzyrzecze i Grabinę. Badany obszar przecinany jest z północnego-wschodu na południowy-zachód przez dolinę Strzegomki i Młynnej Wypełniają je holocenijskie mady, żwiry i piaski rzeczne o miąższości do ok. 3 m. Na skłonach doliny występują kilkumetrowej miąższości gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego oraz piaski i żwiry tarasów kemowych.

Północno-zachodnia część Strzegomia jest położona na wychodniach masywu granitowego, który w tej części budują średnioziarniste granity biotytowe, miejscami przechodzące w granodioryty. W masywie strzegomskim nie stwierdzono przejawów mineralizacji uranowej.

Moc dawki promieniowania gamma na obszarze Strzegomia waha się od 59,2 do 127,7 nGy/h, przy średniej wynoszącej 80,83 nGy/h. Najwyższe wartości występują w środkowo-wschodniej części miasta. Znajdują się tam dość rozległe anomalie o wartościach przekraczających 100 nGy/h związane z glinami zwałowymi oraz z osadami rzecznoymi Strzegomki. Anomalie te okalają strefy o wartościach od 80 do 100 nGy/h obejmujące większość wychodni granitów strzegomskich, częściowo również glin zwałowych. Na pozostałym obszarze wartość mocy dawki promieniowania gamma waha się w przedziale 60–80 nGy/h.

Zawartość uranu w rejonie Strzegomia wynosi od 1,4 do 11,6 ppm, średnio 3,44 ppm. Na uwagę zasługuje rozległa anomalia znajdująca się w południowo-wschodniej części Strzegomia, która w zasadniczej swojej części jest związana z osadami Strzegomki. Anomalia ta pojawia się w miejscu, gdzie dolina rzeczna ulega znacznemu rozszerzeniu. Jej geneza jest związana z sorpcją uranu na barierze geochemicznej, jaką stanowią namuły rzeczne. Źródłem uranu są najprawdopodobniej pobliskie granity. Pozostały obszar charakteryzuje zawartość uranu przeważnie wahająca się w granicach 2–3 ppm.

Zawartość toru na obszarze Strzegomia waha się od 4,9 do 13,4 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 9,22 ppm. Zawartość powyżej 9 ppm jest związana z wychodniami granitów strzegomskich i rozwiniętych na nich glinach deualnych.

Zawartość potasu na obszarze Strzegomia waha się w granicach od 1,1 do 2,7%, przy wartości średniej wynoszącej 1,83%. Wartość powyżej 2% jest związana z wychodniami granitów strzegomskich oraz ich najbliższym otoczeniem.

Stężenie cezu na obszarze Strzegomia jest bardzo niskie, waha się w od 0 do 4,2 kBq/m², przy średniej wynoszącej 1,33 kBq/m². Jest to jedno z najczystszych, pod tym względem, miast dolnośląskich.

Lubań Śląski — pracami objęto całe miasto łącznie z peryferiami. Środkową częścią badanego obszaru stanowi dolina Kwisy z licznymi meandrami i starorzeczami. Wypełniają ją piaski i żwiry tarasów rzecznych oraz holocenijskie piaski i namuły. W południowo-zachodniej części obszaru występują gliny zwałowe zlodowacenia środkowopolskiego. Podłożo osadów czwartorzędowych stanowią zaliczane do ordowiku fyllity z wkładkami łupków szarogłazowych,

przechodzące w stropie w sylurskie graptolitowe łupki ilaste z litydami i kwarcyty.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma na obszarze Lubania Śląskiego waha się od 46,1 do 98,8 nGy/h, przy średniej wynoszącej 70,22 nGy/h. Obraz przestrzenny anomalii jest mało urozmaicony.

Zawartość uranu na obszarze Lubania Śl. wynosi od 1,0 do 5,8 ppm, średnio 2,92 ppm. Pas wyższej zawartości, wynoszącej powyżej 3 ppm uranu, maksymalnie przekraczającej 5 ppm, jest związany z holoceniowymi osadami Kwisy. Ponadto, w zachodniej części miasta występuje jeszcze jeden obszar o zawartości uranu przekraczającej 3 ppm, który najprawdopodobniej jest związany z wychodniami sylurskich łupków graptolitowych.

Zawartość toru na obszarze Lubania Śl. jest niska i waha się od 4,2 do 11,1 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 7,71 ppm. Obraz kartograficzny anomalii jest mało zróżnicowany i niezbyt czytelny jeśli idzie o związek z litologią podłoża.

Zawartość potasu na obszarze Lubania Śl. wynosi od 0,9 do 2,3%, średnio 1,67%.

Na obszarze Lubania Śl. stężenie cezu waha się w granicach od 0 do 3,5 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 1,36 kBq/m².

Świebodzice — pracami objęto dolinę rzeki Pełcznicy od Cierni na wschodzie do Pełcznicy na zachodzie oraz cały obszar Świebodzic o zwartej zabudowie.

Świebodzice są położone na obszarze dwóch jednostek strukturalnych: Sudetów i bloku przedsudeckiego. Południowo-zachodnia część miasta zlokalizowana na utworach paleozoicznych (kambr-karbon), oddzielona jest sudeckim uskokiem brzeżnym od północno-wschodniej części miasta położonej na miąższych osadach trzeciorzędu i czwartorzędu zalegających na paleozoicznym podłożu.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma na terenie Świebodzic wynosi od 47,2 do 98,7 nGy/h, średnio 70,56 nGy/h. Obraz kartograficzny anomalii jest bardzo monotony. W środkowej części miasta zaznacza się rozległa i mało kontrastowa strefa o wartościach powyżej 80 nGy/h. Związana jest ona z glinami zwałowymi zlodowacenia środkowopolskiego. Cały pozostały obszar, charakteryzuje się wartością promieniowania gamma wahającą się od 60 do 80 nGy/h.

Zawartość uranu na obszarze Świebodzic waha się od 1,5 do 5,1 ppm, przy średniej wynoszącej 3,02 ppm. W środkowej części miasta występują obszary o zawartości powyżej 4 ppm, które są związane z glinami zwałowymi, na pograniczu z szarogłazami dewonu górnego jednostki Świebodzic. Okala je rozległa strefa o przebiegu równoleżnikowym, w której zawartość uranu waha się w przedziale 3–4 ppm.

Zawartość toru na obszarze Świebodzic waha się od 5,2 do 11 ppm przy wartości średniej wynoszącej 7,82 ppm. Całą środkową i zachodnią część miasta charakteryzuje zawartość toru powyżej 7 ppm z rozległymi i mało kontrastowymi obszarami o zawartości przekraczającej 9 ppm. Odpowiada to obszarom występowania utworów staropaleozoicznych oraz glin zwałowych. Niższa wartość występują na południowo-wschodnim krańcu miasta oraz w części północno-wschodniej. Odpowiadają one zwirom i piaskom rzeczonym holocenu oraz łupkom chlorytowym i serycytowym kambru.

Zawartość potasu na obszarze Świebodzic waha się od 0,9 do 2,6%, przy średniej wynoszącej 1,62%. Obraz ano-

malii jest mało zróżnicowany, większość obszaru charakteryzuje się zawartością od 1,5 do 2%. Lokalnie występują strefy o zawartości niższej niż 1,5%, które są związane głównie z łupkami chlorytowymi i serycytowymi kambru oraz holoceniowymi osadami Pełcznicy.

Stężenie cezu na obszarze Świebodzic jest bardzo niskie, waha się w granicach od 0 do 3,3 kBq/m², przy średniej wynoszącej 1,3 kBq/m².

Łądek Zdrój — pracami objęto obszar od Lutyni i Radochowa na północy i wschodzie po Stojków na południu.

Północno-wschodni kraniec miasta jest położony na utworach krystalicznych serii strońskiej synkliny Orłowca. Skąły te reprezentowane są przez łupki łuszczkowe, sfeldspatyzowane, często zgnejsowane, z soczewkami wapieni krystalicznych i łupków kwarcytowych. Na południe od serii strońskiej, wzdłuż tektonicznego kontaktu, występują gnejsy gierałtowskie, reprezentowane przez gnejsy oligoklazowo-biotytowe miejscami oczkowe. Na gnejsach jest położona większa część Łądka Zdroju. Zachodnia część miasta leży na leptynitach i ich zwietrzelinach, a na północnym jego krańcu występuje komin trzeciorzędowych bazaltów nefelinowych.

Wąskie doliny rzeczne, z których największe znaczenie ma dolina Białej Łądeckiej, są wypełnione żwirami i piaskami o miąższości do 2,5 metra.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma w Łądku Zdroju waha się od 67 do 133,6 nGy/h, przy wartości średniej wynoszącej 89,48 nGy/h. W rozkładzie przestrzennym anomalii zaznacza się wyraźnie strefa o przebiegu NW–SE, o wartościach powyżej 90 nGy/h, z kilkoma anomaliami przekraczającymi 110 nGy/h. Na pozostałej części obszaru dominują wartości 80–90 nGy/h. Na obrzeżach miasta zaznaczają się wartości poniżej 80 nGy/h. Rozkład wartości mocy dawki promieniowania gamma nie wykazuje wyraźnego związku i litologią podłoża, jest bowiem poważnie zaburzony przez obecność poczarnobyłskiego cezu.

Zawartość uranu na obszarze Łądka Zdroju waha się od 0,9 do 5,2 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 2,64 ppm. Strefa podwyższonej zawartości uranu, sięgającej 5 ppm, występuje w zachodniej części miasta położonej na glinach zwietrzelinowych (rozwinętych na gnejsach i łupkach łuszczkowych) oraz na glinach lessopodobnych.

Zawartość toru na obszarze Łądka Zdroju waha się od 3,9–12,8 ppm, przy średniej wynoszącej 8,35 ppm. Strefy podwyższonej koncentracji toru, przekraczającej 10 ppm, występują w środkowo-wschodniej części miasta oraz na jego południowo-zachodnich peryferiach. Są one związane z gnejsami.

Zawartość potasu na obszarze Łądka Zdroju waha się od 1,2 do 3,0%, przy średniej wynoszącej 2,11%. Strefa podwyższonej zawartości potasu, o wartości przekraczającej 2,25% występuje w środkowo-wschodniej części miasta, położonej w polu występowania gnejsów słojo-oczkowych i łupków dwułuszczkowych.

Stężenie cezu poczarnobyłskiego w Łądku Zdroju waha się w od 2,1 do 88,8 kBq/m², przy średniej wynoszącej 17,37 kBq/m². Pomiar 88,8 kBq/m² jest wynikiem pojedynczym i znacznie odbiegającym od pozostałych rezultatów, z grupy których kolejne najwyższe pomiary nie przekraczają 40 kBq/m².

Stwierdzone relatywnie wysokie stężenie cezu w Łądku Zdroju stanowi kontynuację tzw. anomalii opol-

skiej, która na obszarze Polski sięga aż po Kotlinę Kłodzką. Wartości jakie występują w Łądku Zdroju są niższe niż na Opolszczyźnie, lecz stwierdzenie pojedynczego wysokiego punktu anomalnego świadczy o tym, że na obszarze tym mogą występować obszarowo niewielkie (dziesiątki m² powierzchni), lecz intensywne anomalie. Z radiologicznego punktu widzenia nie stwarzają one zagrożeń.

Kłodzko — pracami objęto obszar od Goszyc i Ustroń na północy do Nowego Świata na południu. Środkową część tego obszaru zajmują paleozoiczne (sylur–dewon) fyllity i łupki chlorytowe z ciałami ryolitów. Na obszarze pomiędzy doliną potoku Jaszówka a Nysą Kłodzką występują również ciała ryolitowe, a w południowej części obszaru proterozoiczno-staropaleozoiczne amfibolity. Pozostałą część powierzchni terenu przykrywają utwory czwartorzędowe. Mają one miąższość do kilkunastu metrów, przy czym we wschodniej części obszaru jest mniejsza.

Wartość mocy dawki promieniowania gamma w Kłodzku waha się od 47,6 do 103,9 nGy/h, przy średniej wynoszącej 73,61 nGy/h. Obraz kartograficzny jest bardzo monotony; prawie całe miasto charakteryzuje się wartościami mocy dawki mieszczącymi się w przedziale 60–80 nGy/h. Jedynie w środkowej części Kłodzka występuje dość rozległa strefa nieco wyższej wartości, z maksimum przekraczającym 100 nGy/h. Związana jest ona z wychodniami utworów syluru i dewonu (łupki chlorytowe, fyllity, gnejsy).

Zawartość uranu w Kłodzku waha się od 1,0 do 6,2 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 2,59 ppm. W środkowej części miasta, na wychodniach utworów syluru i dewonu zaznacza się dość rozległa anomalia o wartości powyżej 3 ppm z maksimum przekraczającym 5 ppm. Ponadto niewielkie obszary o zawartości uranu przekraczającej 3 ppm występują na południowo-wschodnim i północno-wschodnim krańcu miasta.

Zawartość toru waha się od 4,4 do 11,7 ppm, przy wartości średniej wynoszącej 8,62 ppm. Zawartość powyżej 9 ppm tworzy dość rozległe pola, słabo kontrastowe i są związane przede wszystkim z glinami pylastymi lessopodobnymi i glinami zwałowymi.

Zawartość potasu waha się od 1,1 do 2,7%, przy średniej wynoszącej 1,82%. W środkowo-południowej części miasta znajduje się dość rozległy obszar o zawartości przekraczającej 2%.

Stężenie cezu jest bardzo niskie, waha się od 0 do 4,4 kBq/m², przy wartości średniej wynoszącej 1,83 kBq/m².

Podsumowanie

Obszar Sudetów, stanowiący część Masywu Czeskiego, charakteryzuje budowa geologiczną sprzyjającą występowaniu mineralizacji i złóż pierwiastków promieniotwórczych. Występowaniem podwyższonych zawartości uranu charakteryzują się waryscyjskie masywy granitoidowe, ich metamorficzne osłony o wieku często trudnym do ustalenia, staropaleozoiczne osady słabo zmetamorfizowane oraz młodopaleozoiczne formacje osadowe. W utworach zmetamorfizowanych występują niewielkie złoża uranu, które były przedmiotem eksploatacji w latach 1947–1967. Łącznie wydobyto z nich ok. 900 t uranu (Wołkowicz & Strzelecki, 1993). W przeciwieństwie do zachodniej części Masywu Czeskiego utwory kredowe i trzeciorzędowe Sudetów nie zawierają podwyższonej zawartości uranu. A trzeba pamiętać, że złoża uranu w utworach kredy w rejo-

nie Hamru, Czeskiej Lipy i Drezna należą do największych na kontynencie europejskim. Poważny potencjał złóżowy reprezentują także dolnopaleozoiczne łupki czarne, które w dawnym NRD przez przeszło 40 lat były przedmiotem eksploatacji górniczej uranu (złoże Ronneburg w Turyni). Łącznie w byłym NRD wyeksploatowano ponad 251 tys. t uranu, co stawia ten kraj na 3 miejscu na świecie pod względem ilości wyeksploatowanego metalu (Barthel, 1993). W Sudetach mineralizacja podobnego typu, ale nie mająca wartości przemysłowej, znana jest z dolnosylurskich łupków Gór Kaczawskich.

Badania rozkładu pierwiastków promieniotwórczych oraz mocy dawki promieniowania wykonane dla 14 miejscowości dolnośląskich wykazały, że zróżnicowanie przestrzenne związane jest z budową geologiczną płytkiego podłoża. Jedynie w przypadku Łądku Zdroju zanotowano anomalne koncentracje cezu, które istotnie wpływają na moc dawki promieniowania. Średnia koncentracja cezu w Łądku Zdroju wynosi 17,4 kBq/m² (tab. 1). Obszar Łądku Zdroju stanowi część południowo-zachodnią anomalii cezowej „Opola” (Strzelecki i in., 1994b), a stwierdzona zawartość średnia jest porównywalna ze średnią dla całego obszaru anomalii (16,7 kBq/m²) (Strzelecki i in., 1994b). Natomiast zaskakująco wysoka — 88,8 kBq/m² — jest koncentracja maksymalna cezu. Na szczęście zanotowana została tylko w jednym punkcie pomiarowym.

Najwyższa średnia moc dawki promieniowania zanotowana została w miastach położonych na granicy karkonoskim (tab. 2). W Szklarskiej Porębie osiąga ona wartość 124,78 nG/h przy maksymalnej wynoszącej 191 nG/h. Podobnie wysokie wartości — 108,48 nG/h zanotowano w Kowarach, które położone są w strefie kontaktu granitów karkonoskich ze skałami osłony. Natężenia powyżej 160 nG/h, powodujące przekroczenie wielkości dawki efektywnej 1 mSv/rocznie, występują tylko sporadycznie w kilku badanych miastach (Szklarskiej Porębie, Jeleniej Górze, Karpaczu i Kowarach). Wartości te zbliżone są do cytowanych dla czeskiej części Karkonoszy, które wynoszą 75–125 nG/h (Manova & Matolin, 1995).

Wysoka moc dawki jest związana przede wszystkim z obecnością uranu (koncentracje >4 ppm) i toru (>12 ppm) — tab. 1. Względnie wysokie koncentracje uranu w granicie, brak słabo przepuszczalnych utworów w nadkładzie, głębokie zwietrzenie granitu i obecność stref uskokowych powoduje, że Szklarska Poręba, Karpacz, Jelenia Góra i Kowary są zagrożone wysokim ryzykiem radonowym. Hipotezę tą potwierdzają wyniki wstępnych pomiarów stężeń radonu w powietrzu glebowym. Wysokie stężenia w mediach skalnych mogą także stwarzać ryzyko obecności w wodach gruntowych koncentracji uranu i radu i w konsekwencji radonu, w stężeniach zagrażających konsumentom.

W pozostałych badanych miastach średnie stężenie mocy dawki promieniowania gamma nie przekracza 90 nG/h, ale stwierdzona koncentracja uranu i warunki geologiczne mogą stwarzać wysokie i średnie ryzyko radonowe w niektórych częściach miast. Dotyczy to przede wszystkim Strzegomia, Świeradowa Zdroju i Wałbrzycha. W tym ostatnim problem stanowią hałdy odpadów z kopalń węgla kamiennego, z których część wykazuje zdecydowanie podwyższoną promieniotwórczość. Hałdy te są rekultywowane przede wszystkim przez zalesianie. Należy ograniczać ich zagospodarowanie jako działek pracowniczych lub terenów budowy domków rekreacyjnych. W takim przy-

padku należy wcześniej przeprowadzić szczegółowe badania ryzyka radonowego.

Aby we właściwy sposób ocenić rezultaty uzyskane na obszarze miast dolnośląskich należy je odnieść do danych z innych obszarów. W statystyce przyjmuje się średnie wartości efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej, będącej prostym odzwierciedleniem rejestrowanej w niniejszych badaniach średniej wartości mocy dawki promieniowania gamma (tab. 2). Średnia moc dawki promieniowania gamma dla Polski, obliczona na podstawie wyników prac przeprowadzonych w latach 1992–1993 (Strzelecki i in., 1993) wynosi 34,2 nGy/h, co odpowiada wartości 0,21 mSv/rocznie efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej. Według danych CLOR wartość średniej mocy dawki w Polsce obliczona na podstawie danych z 1998 roku jest wyższa i wynosi 47,4 nGy/h, (Ochrona ..., 1999). Różnica pomiędzy wartościami obliczonymi przez PIG i CLOR wynika najprawdopodobniej stąd, że lokalizacja punktów pomiarowych CLOR jest nierównomierna, a największe ich zagęszczenie występuje w Polsce południowej (Karpatach i Sudetach), gdzie wartości mocy dawki są wyższe niż w pozostałych częściach Polski.

Porównując powyższe dane należy stwierdzić, że najniższe wyniki uzyskane w badanych miastach Dolnego Śląska są prawie dwukrotnie wyższe niż średnie dla Polski, a najwyższe (Szklarska Poręba) stanowią prawie czterokrotność średnich dla Polski. Podobnie przedstawia się porównanie zawartości uranu w Polsce i w badanych miastach. Średnia dla Polski wynosi 1,36 ppm (Strzelecki i in., 1994) wobec 2,3 ppm w Kamiennej Górze (najniższa średnia zawartość uranu w badanych miastach) i 4,97 ppm w Szklarskiej Porębie (najwyższa średnia zawartość uranu w badanych miastach) (tab. 1). Jeśli dodamy do tego obecność licznych uskoków w Sudetach i brak na powierzchni terenu osadów mogących izolować powierzchnię terenu od emanacji radonowych (glin zwałowych, ilów), to dochodzimy do wniosku, że potencjał radiologiczny Sudetów jest nieporównywalnie większy niż innych obszarów Polski, zwłaszcza tych, które pokryte są osadami glacialnymi o znacznej miąższości.

Uzyskane rezultaty można porównywać z danymi czeskimi obliczonymi dla Masywu Czeskiego. Średnia moc dawki promieniowania dla obszaru położonego w granicach Czech wynosi 65,6 nGy/h, co odpowiada wartości 0,40 mSv/rok efektywnego równoważnika dawki wchłoniętej. Są to wartości tego samego rzędu, jakie uzyskano w badanych miastach. Reasumując należy stwierdzić, że wielkości promieniowania gamma określone dla miast dolnośląskich nie stwarzają zagrożenia radiologicznego, natomiast wysokie tło uranowe może być przyczyną powstawania intensywnych emanacji radonowych, których skutki radioekologiczne są wielokrotnie istotniejsze niż promieniowanie gamma.

Literatura

AKERBLOM G. 1999 — Radon legislation and National Guidelines. Swedish Radiation Protection Institute.
BARTHEL F.H. 1993 — Die Urangewinnung auf dem Gebiet der ehemaligen DDR von 1945 bis 1990. Geol. Jb., A142: 335–346.

JAGIELAK J., BIERNACKA M., HENSCHKE J., SOSIŃSKA A., BARANOWSKI M. & JANKOWSKI R. 1992 — Radiologiczny atlas Polski. CLOR-PAA.

JAGIELAK J., BIERNACKA M., HENSCHKE J., SOSIŃSKA A., BARANOWSKI M. & JANKOWSKI R. 1998 — Radiologiczny atlas Polski. CLOR-PAA.

JASKÓLSKI S. 1967 — Polimentaliczna mineralizacja tlenko-wo-siarczkowa w granitognejsach Gór Izerskich (Dolny Śląsk) i jej pochodzenie. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 43.

JELIŃSKI O. 1965 — Geochemia uranu w granitowym masywie Karonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitowych Dolnego Śląska. Biul. Inst. Geol., 193: 5–110.

KOGAN R.M., NAZAROV I.M. & FRIDMAN SH. D. 1971 — Gamma spectrometry of natural environments and formations. Israel Programme for Scientific Translations.

MANOVA M. & MATOLIN M. 1995 — Radiometric map of Czech Republic 1 : 500 000. CGU. Praha.

OCHMAN A.A. & SOLECKI A.T. 1999 — Antropogeniczne zmiany mocy dawki promieniowania gamma w rejonie pouranowych instalacji przerobczych w Kowarach. Prz. Geol., 47: 764–770.

Ochrona Środowiska, 1999 — GUS. Warszawa.

MIECZNIK J.B. 1990 — Koncentracje uranu w utworach karbonu górno i permu w depresji śródsudeckiej. Biul. Państw. Inst. Geol., 64: 61–95.

PFEISTER H. & PAULY H. 1980 — External radiation exposure due to natural radionuclides in phosphate fertilizers in the Federal Republic of Germany. In Seminar on the radiological burden of man from natural radioactivity in the countries of the European Communities. CEC Report V/2408/80: 447–467.

PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., MIELNICZUK W., CHRUSCIEL E. & JODBOWSKI P. 1996 — Effect of uranium mining on the contamination in some areas in Poland. Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in central and eastern Europe. Proc. IAEA Vienna: 193–216.

PISSPANEN R. 1991 — Current problems of environmental geochemistry. [In:] Pulkinen E. (ed.), Environmental geochemistry in northern Europe. Spec. Pap., 9: 277.

PRZYLIBSKI T.A. 1998 — Zmiany stężenia radonu w podziemnych wodach leczniczych Świeradowa Zdroju (Sudety). Prz. Geol., 46: 365–370.

STRZELECKI R. & WOŁKOWICZ S. 1998 — Biochemia radioizotopów cezu w obszarach anomalnych koncentracji w woj. opolskim i częstochowskim — zagrożenia radiacyjne ludności. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 242/99.

STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J. & LEWANDOWSKI P. 1993 — Mapy radioekologiczne Polski. Część I: Mapa mocy dawki promieniowania gamma w Polsce: Mapa stężeń cezu w Polsce. Skala 1 : 750 000. Państw. Inst. Geol.

STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J. & LEWANDOWSKI P. 1994a — Mapy radioekologiczne Polski. Część II: Mapy koncentracji uranu, toru i potasu w Polsce. Państw. Inst. Geol. STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S. & LEWANDOWSKI P. 1994b — Koncentracje cezu w Polsce. Prz. Geol., 42: 3–8.

STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J. & LEWANDOWSKI P. 1995a — Use of gamma-ray spectrometric survey for radioecological mapping in Poland. [W:] IAEA-TECDOC-827. Vienna.

STRZELECKI R., WOŁKOWICZ S., SZEWCZYK J. & LEWANDOWSKI P. 1995b — Badania anomalii cezu w wybranych rejonach Polski. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 3198/96.

WOŁKOWICZ S., MAMONT-CIEŚLA K., STRZELECKI R., KUSYK M. & WOŁKOWICZ W. 1998 — Ocena wpływu środowiska geologicznego oraz technologii stosowanych w budownictwie na poziom stężeń radonu w budynkach na obszarze Sudetów i GZW. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 1907/99.

WOŁKOWICZ S. & STRZELECKI R. 1993 — Prawda i mity o złożach uranu w Polsce. III Konf. Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi. CPPGSMiE PAN. Zakopane: 19-1–9.

Zarządzenie Prezesa PAA z dnia 31.03.1988, Monitor Polski Nr 14 poz. 124.

Zarządzenie Prezesa PAA z dnia 07.07. 1998. Monitor Polski nr 35 poz. 419.