

Mirosław WĄTROBA i Sławomir ZAJĄC

Liceum Ogólnokształcące im. Marii Skłodowskiej-Curie

w Czechowicach-Dziedzicach

Odpady przemysłowe jako źródła skażenia radioaktywnego

Streszczenie. Z badań przeprowadzonych w ostatnich latach wynika, że radioaktywne skażenie odpadów przemysłowych jest istotnym problemem, szczególnie na terenie Śląska. W pracy przedstawione zostały wyniki tych badań dotyczące woj. katowickiego oraz metody kontroli i ograniczania skażeń.

I. Wstęp

" Człowiek jest jedynym w swoim rodzaju zjawiskiem przyrody,
gdyż nie tylko żyje w teraźniejszości, lecz w swym ciele
i umyśle jest nosicielem przeszłości i twórcą przyszłości ".

R. Dubos "Człowiek, środowisko, adaptacja"

Dziś ludzkość coraz bardziej uświadamia sobie, że nie tylko wojna, ale i - co wydaje się być paradoksalne - pokojowy, lecz nieuporządkowany i wymykający się spod kontroli rozwój świata stanowi poważne niebezpieczeństwo dla naszej planety i jej mieszkańców. Papież Paweł VI w liście do Maurycego Stronga, sekretarza generalnego Konferencji Narodów Zjednoczonych w Sztokholmie, której tematem była sprawa zagrożenia naturalnego środowiska człowieka, pisał: "Jak można nie dostrzegać zakłóceń równowagi, spowodowa-

nych w biosferze przez bezładną eksploatację fizycznych zasobów planety, nawet w celu produkowania rzeczy użytecznych, przez trwonienie nieodnawialnych zasobów naturalnych, przez zniszczenie gleby, powietrza, wód i przestrzeni i wynikające z nich zagrożenie życia roślin i zwierząt? Wszystko to zuboża i niszczy środowisko człowieka w stopniu, który uważa się za zagrażający samemu jego istnieniu". Jak długo istnieje człowiek, tak dawno też istnieje wzajemne oddziaływanie na siebie człowieka i przyrody. Aktywność człowieka nie pozostała bez wpływu na systemy ekologiczne. Historia zmian ekologicznych jest jednak ciągle tak szczątkowa, że mało wiemy o tym, co się naprawdę zdarzyło i jakie były tego rezultaty. Ostatnie trzydziestolecie XX wieku przynosi wzrost zainteresowania problemami ekologicznymi. Obecnie ingerencja człowieka, wprowadzająca szkodliwe zmiany w środowisku, jest tak intensywna i powszechna, że powstał ogólnosiwiatowy kryzys ekologiczny. Jest to fakt, który staje się coraz bardziej oczywisty w świadomości współczesnego człowieka. Nie poprzestaje się jednak na samym tylko stwierdzeniu tego faktu, ale podejmuje się konkretne inicjatywy zmierzające do ochrony środowiska. Człowiek bowiem jest zdolny nie tylko niszczyć, ale posiada również umiejętność naprawy tego, co zniszczył. Zanieczyszczone powietrze staje się głównym zagrożeniem dla środowiska i w związku z tym sytuacja w tej dziedzinie jest poważna. Atmosfera zanieczyszczona jest ponad dopuszczalne normy. W Polsce przepisy dopuszczają średni roczny opad pyłu na obszarach specjalnie chronionych (uzdrowiska, parki narodowe) - 40 t/km². Niestety, w wielu miastach i regionach kraju ilości opadów pyłu dochodzą do 3 tys., a gdzieś tam do 10 tys. t/km² na rok. Sam tylko przemysł śląski wprowadza corocznie do atmosfery ponad milion ton pyłów i ponad 500 tys. ton gazów. Ogółem w Polsce ulatuje w powietrze 4 - 5 mln ton pyłów. Jeszcze poważniejsza sytuacja panuje w krajach o większym niż nasz potencjale przemysłowym. Połowa zatrucia atmosfery ziemskiej pochodzi ze Stanów Zjednoczonych. Stwierdzono, że atmosfera wielkiego miasta przemysłowego zawiera do 400 szkodliwych składników, wśród których 100 posiada właściwości rakotwórcze. Cząsteczki te wdychane z powietrzem przedostają się również do przewodu pokarmowego, a także mogą się przyczynić do powstania raka żołądka.

Jednym z rodzajów zanieczyszczenia jest radioaktywne skażenie środowiska. Pochodzi ono głównie z wybuchów jądrowych. Po każdorazowym wprowadzeniu do stratosfery resztek silnego wybuchu jądrowego następuje po pewnym czasie zwiększenie inten-

sywności opadu, które jest mniej więcej proporcjonalne do ilości tych resztek wprowadzonej do stratosfery. Gdy nie ma dalszych prób jądrowych, stratosfera powoli oczyszcza się i natężenie opadu spada. Najmocniej została zradioaktywizowana półkula północna. Jej globalna radioaktywizacja po dotychczasowych próbach atomowych przewyższa 20-krotnie skażenie pozostałych obszarów ziemi. W tych działaniach aż 2/5 ludzkości zostało zagrożone. Zagrożenie środowiska przez substancje radioaktywne będzie wzrastało w miarę coraz szerszego zastosowania energii jądrowej, zwłaszcza przy wybuchach jądrowych stosowanych do celów technicznych. Szczególne zaniepokojenie budzi oddziaływanie kryptonu-85 i trytu oraz strontu-90. Opadu radioaktywnego nie da się zlokalizować. Unoszone prądami powietrza materiały radioaktywne poprzez deszcze i śnieg sprowadzane są na ziemię. Tam zaś pobierane są z gleby przez rośliny i zjadane z kolei przez zwierzęta. Tak rośliny jadalne, jak i zwierzęta stanowią pożywienie dla człowieka. W ten sposób, poprzez łańcuch pokarmowy, szkodliwe pierwiastki promieniotwórcze dostają się do organizmów ludzkich, zwiększając ryzyko utraty zdrowia. Skutków opadów radioaktywnych nie tylko nie da się zlokalizować, ale trudno nawet przewidzieć, które rejony okażą się najbardziej zagrożone. Dlatego też utrudnione jest przeciwdziałanie zgubnym skutkom promieniowania. Promieniowanie jonizujące ma charakter mutagenny. Potwierdziły to liczne doświadczenia przeprowadzone na roślinach i zwierzętach. Na ich podstawie można przypuszczać, że już najmniejsza dawka promieniowania może wywołać mutacje przy bezpośrednim jego działaniu na komórki rozrodcze. Doświadczenia wykazały, że każda ekspozycja na działanie promieniowania, nawet słabszego, niesie z sobą ryzyko zmian genetycznych, a także choroby raka. Nie ma więc działania absolutnie nieszkodliwego. W tej sytuacji problem narażenia na promieniowanie przestaje być jedynie zagadnieniem naukowym, a staje się problemem moralnym. Warto tu przytoczyć słowa B. Commonera: "Nikt nie może zdecydować, opierając się na podstawach naukowych, ile dzieci można narazić na ryzyko raka, tarczycy czy defektów genetycznych spowodowanych przez opad po to, by umożliwić opracowanie nowej broni jądrowej, która stanowi jedynie krok w światowej katastrofy. Przestaje to być sprawą decyzji ekspertów, a staje się przedmiotem publicznego osądu, czyli kwestią polityczną i równocześnie moralną". My - autorzy pracy - żyjemy w mieście, w którym występują problemy odpadów radioaktywnych oraz ma miejsce degradacja środowiska. Ponieważ problem ten dotyka wszystkich mieszkańców naszego regionu, a w związku z tym i nas samych, posta-

nowiliśmy nie być obojętni wobec tych zagadnień. Mamy nadzieję, że praca ta zwiększy zainteresowanie ochroną środowiska, a konkretnie odpadami radioaktywnymi.

2. Promieniotwórczość naturalna

Otoczający nas świat składa się z atomów, których właściwości chemiczne i fizyczne zależą od składu centralnej części atomu, zwanej jądrem atomowym. O przynależności atomu do określonego pierwiastka decyduje liczba protonów w jądrze - Z , zwana liczbą atomową. Łączna liczba protonów - Z i neutronów - N określa masę jądra i nazywa się liczbą masową - A . Zatem $A = Z + N$. Rodzaj atomów o danych Z i N nazywa się nuklidem. Nuklid oznacza się zwykle za pomocą symbolu chemicznego pierwiastka oraz liczby masowej. Nuklidy należące do tego samego pierwiastka, lecz różniące się liczbą neutronów nazywa się izotopami tego samego pierwiastka. Do podstawowych właściwości fizycznych nuklidu zalicza się jego trwałość. Izotopy nietrwałe podlegają samorzutnym przemianom, które nazywa się rozpadami promieniotwórczymi. Według ogólnie przyjętego poglądu, jądra atomowe zostały utworzone z "pyłu kosmicznego" protonów w wyniku złożonego procesu wywołanego przez oddziaływania grawitacyjne i przemiany jądrowe. Ocenia się, że stało się to przed około 15 miliardami lat. Powstały wtedy nuklidy trwałe i promieniotwórcze. Te ostatnie uległy rozpadom promieniotwórczym przekształcając się w nuklidy trwałe. Każdy z nuklidów charakteryzuje się określonym dla niego okresem połowicznego zaniku i w związku z tym do dnia dzisiejszego na Ziemi przetrwały w dostarczalnych ilościach tylko te nuklidy promieniotwórcze, których okresy połowicznego zaniku są tego samego rzędu lub dłuższe niż wiek Wszechświata, np. K-40, V-50, Nb-144, Ce-142, Th-232, Pt-192, U-238. W przyrodzie spotykamy także nuklidy o znacznie krótszym okresie połowicznego zaniku, jak np. izotop węgla C-14 (5730 lat), który tworzony jest ciągle z zawartego w otoczeniu azotu w wyniku reakcji jądrowych wywoływanych przez promieniowanie kosmiczne. Wśród wchodzących w skład Ziemi pierwiastków promieniotwórczych o długim okresie połowicznego zaniku występują w znacznych ilościach takie nuklidy, jak: izotop uranu U-238 i izotop toru Th-232. Produkty ich rozpadu nie są trwałe, tworzą cały ciąg nuklidów powstających w wyniku kolejnych przemian alfa i beta, kończący

się odpowiednimi trwałymi nuklidami ołowiu Pb-206 i Pb-208. Te łańcuchy kolejnych przemian promieniotwórczych tworzą tzw. szeregi promieniotwórcze nuklidów: szereg uranowy zapoczątkowany przez U-238 i szereg torowy zapoczątkowany przez Th-232. Pierwiastki promieniotwórcze tych szeregów można wykryć w glebie, ścianach budynków, powietrzu (gazowy radon), roślinach i produktach spożywczych, a także w organizmach żywych. Wysyłane przez nie promieniowanie alfa, beta i gamma stanowi naturalne promieniowanie, w którym żyjemy, lecz nie odczuwamy go za pomocą zmysłów. Występowanie promieniowania gamma jest najczęściej następstwem rozpadu alfa lub beta. Dzieje się tak wtedy, gdy przemiany te prowadzą nie do stanu podstawowego jądra (o najniższej możliwej energii), lecz do stanu wzbudzonego, czyli stanu o energii wyższej niż najmniejsza możliwa energia dla jąder danego nuklidu. Energia emitowanego kwantu gamma jest równa, w dobrym przybliżeniu, różnicy skwantowanych energii poziomów w jądrze, między którymi zachodzi przejście. Energie kwantów gamma emitowanych przez jądra danego nuklidu są więc ściśle określone i charakterystyczne dla danego nuklidu.

3. Radioizotopy

Radioizotopy są naturalnym składnikiem środowiska towarzyszącego człowiekowi od jego początku i jako takie powinny być akceptowane, a przede wszystkim winniśmy mieć o nich elementarną wiedzę, którą umożliwia współczesna nauka. Żenujący jest fakt, że ludzie często nie mając elementarnego pojęcia o określonym zagadnieniu (dotyczy to w szczególności radioizotopów i energetyki jądrowej) wypowiadają się publicznie i potrafią wpływać na podejmowane decyzje. Naturalnym kierunkiem procesów w przyrodzie jest przechodzenie układów od stanów o większej energii do stanów o niższej energii. Wydzielona energia w ostatecznym bilansie ma formę pospolicie określaną ciepłem. Do takich procesów należy rozpad jąder atomowych. Proces ten nie jest przypisany określonym pierwiastkom, lecz izotopom (dlatego mówi się o radioizotopach), z tym, że w przypadku najcięższych pierwiastków, np. polonu, radonu, radu, uranu, toru, wszystkie izotopy są nietrwałe (mówimy wtedy o radiopierwiastkach). Rozpad promieniotwórczy ma charakter przypadkowy, dający się opisywać pojęciami rachunku prawdopodobieństwa. Wielkością cha-

rakteryzującą szybkość rozpadów jest średni czas życia t izotopu z uwagi na rozpad. W odstępnie czasu Dt , małym względem t , ułamek jąder, które ulegną rozpadowi, wynosi Dt/t lub ogólniej, po czasie t ułamek jąder, które jeszcze nie rozpadły się, wynosi $e^{-t/t}$. Notowane czasy życia zawierają się w granicach od ułamków mikrosekund do 10¹⁸ lat. Zwazwszy, że czas istnienia naszej Metagalaktyki szacuje się na niecałe 10¹¹ lat, ilości radioizotopów o najdłuższym czasie życia praktycznie nie zmniejszyły się od początku swego powstania. Liczba rozpadów radioizotopu w jednostce czasu nazywa się radioaktywnością, jednostką jest bekerel (Bq) rozumiany jako jeden rozpad na sekundę. Radioaktywność 1 Bq jest bardzo małą radioaktywnością. Z przytoczonych wcześniej zależności wynika, że radioaktywność izotopu jest równa ilorazowi liczby jąder przez średni czas życia. W praktyce przyjęto charakteryzować szybkość rozpadu radioizotopu przez półokres rozpadu $T_{1/2} = \ln 2 \cdot t = 0,69 \cdot t$. Rozpady jąder zachodzą tylko na dwa sposoby: rozpady alfa i beta. W pierwszym przypadku jądro pozbywa się fragmentu nazywanego cząstką alfa, składającego się z dwu protonów i neutronów, będącego w istocie jądrem izotopu He-4. Przez rozpad alfa przekształcają się tylko izotopy ciężkie. Wydzielona w rozpadach energia zawierająca się w przedziale od 2,2 MeV do 11,5 MeV w około 98% jest unoszona przez cząstkę alfa, reszta to energia odrzutu nowego jądra. W przypadku rozpadu beta mamy do czynienia z bardziej złożoną przemianą jądrową, przebiegającą na trzy sposoby: beta minus, beta plus lub wychwyty. W rozpadzie beta minus jeden z neutronów przekształca się w proton i z jądra wylatuje elektron nazywany cząstką beta minus lub krótko cząstką beta i antyneutrino. W drugim przypadku proton przekształca się w neutron, antyelektron nazywany cząstką beta plus i neutrino. Po wychwycie jądro końcowe jest takie samo jak po rozpadzie beta plus, ale zamiast emisji cząstki beta plus zachodzi przechwycenie do jądra elektronu z powłok atomu. Energie rozpadów beta zawierające się w przedziale od kilkunastu keV do 5 MeV są unoszone w formie energii kinetycznej wylatujących cząstek. Cząstka beta unosi tylko część energii, resztę neutrino. Z dużym uproszczeniem można przyjmować średnią energię cząstek beta równą 1/3 energii rozpadu. Neutrino prawie nie oddziałują z atomami i praktycznie możemy przyjmować, że opuszczają Ziemię. W wielu przypadkach powstałe w wyniku rozpadu jądro jest w stanie wzbudzenia energetycznego i prawie natychmiast przechodzi do stanu podstawowego emitując jeden lub kilka kwantów promieniowania gamma. Z uwagi na dużą przenikliwość promieni gamma często to ostatnie promieniowanie, a nie pierwotne

odgrywa istotną rolę, np. znany sztuczny radioizotop Co-60 rozpada się przez beta minus do Ni-60 i ten emituje 2 kwanty gamma o energiach kolejno 1,17 i 1,33 MeV, które są wykorzystywane jako promieniowanie użyteczne tego radioizotopu. Energie kwantów promieniowania gamma (czasem też X) towarzyszącego rozpadom zawierają się w przedziale od kilku keV do 2,7 MeV. Towarzyszące nam w naturze radioizotopy albo istnieją dlatego, że w czasie istnienia Ziemi nie zdążyły się rozpaść, albo są na bieżąco wytwarzane. W sumie można się doliczyć około 70 radioizotopów, w tym 13 kosmogennych (produkowanych na bieżąco przez promieniowanie kosmiczne) i 20, których półokresy rozpadu są większe od 1012 lat (mają więc charakter tylko ciekawostek, ponieważ ich radioaktywność jest niezauważalna). Jądra powstałe w wyniku rozpadu toru i uranu są też radioaktywne i następane też; w ten sposób mamy do czynienia z całymi szeregami promieniotwórczymi. W skali Ziemi mamy do czynienia z równowagą promieniotwórczą w szeregach polegającą na tym, że szybkość przyrostu i rozpadu liczby jąder kolejnych członków szeregu jest taka sama, równa szybkości rozpadów radioizotopu pierwszego, czyli ich radioaktywności są sobie równe. Ponieważ w szeregach mamy do czynienia z różnymi pierwiastkami mającymi np. różne własności chemiczne, lokalnie takiej równowagi może nie być (szczególnie ważnym przypadkiem jest oddzielanie się radu od szeregu U-228 z powodu jego łatwiejszej rozpuszczalności w wodzie oraz radonu jako gazu szlachetnego łatwo dyfundującego). Dorosły człowiek zawiera około 12,5 kg węgla, więc radioaktywność C-14 w organizmie wynosi 3400 Bq, potasu - 140 g, stąd radioaktywność K-40 4000 Bq, radu - nie więcej niż 100 pg, co odpowiada radioaktywności 4 Bq, uranu 20 mg co odpowiada radioaktywności 0,6 Bq. Głównym rezultatem penetracji materii przez promieniowanie jądrowe jest jonizacja atomów (stąd nazwa promieniowanie jonizujące). W zależności od rodzaju atomów średnia energia tracona przez cząstkę na jedną jonizację zawiera się w przedziale od 25 keV do 35 keV. Cząstki alfa bardzo intensywnie oddziałują z atomami, dlatego gęstość jonizacji na drodze cząstki jest bardzo duża, a sama droga jest bardzo krótka. Drogi cząstek beta są dłuższe, ale też niewiele. Bardzo przenikliwe jest promieniowanie gamma.

4. Prawo o odpadach

Kiedy w drugiej połowie lat siedemdziesiątych przystępowano w Polsce do opracowywania ustawy o ochronie środowiska, twórcy kolejnych wersji projektu nie mieli wystarczająco jasnego wyobrażenia o wadze i skali problemów wiążących się z odpadami. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska uchwalona dnia 31 stycznia 1980 r. poświęciła zagadnieniom odpadów niewiele uwagi. Po nowelizacji przeprowadzonej 27 kwietnia 1989 roku dział dotyczący ochrony środowiska składa się z siedmiu artykułów regulujących:

- generalny obowiązek ochrony przed odpadami,
- bezwzględny zakaz importu odpadów,
- kierunki postępowania z odpadami, których nie można wykorzystać gospodarczo,
- najogólniejsze zasady postępowania z opakowaniami i innymi wyrobami, które wykorzystaniu lub zużyciu zagrażałyby środowisku,
- obowiązki organów samorządu terytorialnego w dziedzinie organizacji ochrony przed odpadami, zapewnienia porządku i czystości,
- sprawy utrzymania porządku i czystości w miastach, wsiach i na terenach nieruchomości,
- delegację dla Rady Ministrów zobowiązującą ją do wydania przepisów wykonawczych.

Należy zwrócić uwagę na ustawę z 10 kwietnia 1986 - Prawo atomowe oraz zarządzenie prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z 19 maja 1989 w sprawie zasad zaliczania odpadów oraz kwalifikowania i ewidencjonowania, a także warunków ich unieszkodliwiania, przechowywania i składowania regulujące zagadnienia odpadów promieniotwórczych.

5. Metody składowania odpadów

Podstawową metodą unieszkodliwiania odpadów jest ich składowanie na wysypiskach. Składowanie, tj. deponowanie w środowisku, powinno odbywać się w miejscu i w sposób wskazany przez administrację terenową, przy czym miejsce i sposób składowania powinny

gwarantować jak najmniejszy negatywny wpływ na wszystkie elementy środowiska, z uwzględnieniem późniejszej rekultywacji terenu. Największe zagrożenie dla środowiska stwarzają odpady niebezpieczne i szczególnie niebezpieczne. Składowanie odpadów niebezpiecznych powinno odbywać się przy zapewnieniu skutecznej ochrony wszystkich komponentów środowiska przed ich wpływem. Jako składowiska (metody deponowania) stosuje się: mogilniki, zbiorniki zamknięte, baseny, zbiorniki otwarte (boksy), składowiska podziemowe, nadziemowe i podziemne. Mogilniki to podziemne zbiorniki przeznaczone do deponowania odpadów niebezpiecznych w sposób uniemożliwiający bezpośredni kontakt ze środowiskiem. Wykonuje się je najczęściej dla najgroźniejszych odpadów toksycznych. Zbiorniki zamknięte służą do składowania odpadów niebezpiecznych, które muszą być całkowicie izolowane od środowiska. Stosowane są głównie do tymczasowego składowania odpadów, m.in. przed ich unieszkodliwianiem lub gospodarczym wykorzystaniem. Baseny - to zbiorniki otwarte, w których umieszcza się odpady płynne oraz półpłynne. Zbiorniki otwarte są przeznaczone najczęściej do składowania odpadów stałych. Składowiska podziemowe są usytuowane w naturalnych zagłębieniach terenu (np. wyrobiskach), natomiast na składowiskach nadziemowych odpady są umieszczane powyżej poziomu terenu pomiędzy sztucznie uformowanymi skarpami. Składowiska podziemne mogą być lokalizowane w nieczynnych wyrobiskach kopalni lub jaskiniach. Najkorzystniejsze warunki do lokalizacji tego rodzaju składowisk mają kopalnie soli oraz jaskinie. Przy tego typu składowaniu warunki hydrogeologiczne oraz wymagania techniczne i technologiczne muszą być tak dobrane, aby nie spowodować szkód w środowisku. Podsumowując należy zaznaczyć, że odpady szczególnie niebezpieczne i niebezpieczne powinny być składowane w sposób, który zapewnia całkowitą izolację od środowiska (dotyczy to odpadów I kategorii uciążliwości) lub częściową izolację (odnosi się to do odpadów II kategorii uciążliwości). Częściowa izolacja odnosi się do izolacji od podłoża, bez izolacji od atmosfery (dopuszczalne dla odpadów nie wydzielających pyłów, par i gazów szkodliwych). Pierwsze miejsce w "produkowaniu" tego typu odpadów zajmuje województwo szczecińskie, następnie katowickie i gdańskie.

6. Zanieczyszczenie powietrza radonem

Gleba, minerały, woda, gaz ziemny, powietrze atmosferyczne i materiały konstrukcyjne budynku pochodzenia mineralnego zawierają w śladowych ilościach ciała radioaktywne (radionuklidy). Radionuklidy emitują promieniowanie jonizujące w większości pochłaniane przez konstrukcję. Człowiek podlega więc napromieniowaniu od substancji radioaktywnych znajdujących się na zewnątrz jego organizmu (gleba, pomieszczenie) lub przedostających się do jego wnętrza (z powietrzem, żywnością, wodą). Ziemskie źródła promieniowania dają powyżej 5/6 rocznego efektywnego równoważnika dawki dla człowieka. Reszta pochodzi od promieniowania kosmicznego. Największe zagrożenie dla człowieka stanowią elementy radioaktywne, które są w stanie gazowym, ponieważ dyfundują przez przegrody i mieszają się z powietrzem wewnętrznym. Takim radionuklidem jest radon o liczbie atomowej 86, należący do grupy helowców w postaci trzech naturalnie występujących w przyrodzie izotopów, z których najgroźniejszy jest Rn-222, gdyż jego okres połowkowego rozpadu wynosi 3,8 doby. Radon Rn-222 powstaje w wielu przemianach promieniotwórczych uranu i toru, które to pierwiastki wchodzi w skład skał naturalnych i minerałów, a ich stężenie zmienia się w zależności od rodzaju tych skał i minerałów. Szczególnie wysoką aktywność promieniotwórczą wykazują takie materiały jak granit, łupki ilaste, fosforyty wydobywane do produkcji nawozów. Radon i inne radionuklidy mogą być także zawarte w węglu i skale płonnej. Ze względu na ciężar radonu największe stężenia występują w pomieszczeniach położonych na najniższych kondygnacjach budynków. Graniczną wielkość promieniowania dla osób przebywających w pomieszczeniach szacuje się na około 74 Bq/m^3 . W Polsce brak jest do tej pory oficjalnych normatywów z wyjątkiem wytycznych Agencji Atomistyki z dnia 31.03.1981 podających średnioroczną wartość promieniowania 100 Bq/m^3 , z zaleceniem stosowania tej wartości od 1995 r.

7. Radioaktywność w województwie katowickim

W Polsce najbardziej narażone na podwyższoną radioaktywność są rejony kopalń węgla kamiennego. Dotyczy to zarówno pracowników kopalń, w których stwierdza się

podwyższoną radioaktywność radu i jego produktów, jak też ogółu ludności z powodu podwyższonej radioaktywności składowanych popiołów i żużli. Według różnych pomiarów wykonanych przez grupę z GIG-u w Katowicach, wody pompowane z połowy kopalń Górnego Śląska mają radioaktywność radu przekraczającą 10 kBq/m³. Mierzone radioaktywności radu Ra-226 i Ra-228 w osadach w kopalniach dochodzą do 170 kBq/kg, a stężenia radonu kilkadziesiąt kBq/m³. Ocenia się, że rocznie wypompowuje się rad o łącznej radioaktywności 250 GBq. W większości przypadków ów rad wytrąca się w najbliższych ciekach (potoki). Mierzona radioaktywność ziemi z takich cieków zawiera się w przedziale od 0,2 do 31 kBq/kg. Drugim ważnym źródłem radioaktywności jest żużel powstający w wyniku spalania węgla w elektrociepłowniach. Przy omawianiu problemu radioaktywności skoncentrujemy się na zakładach zlokalizowanych na terenie Czechowic-Dziedzic. Z 9 największych zakładów przemysłowych 3 "produkuja" odpady radioaktywne. Są to: KWK Silesia, Śląskie Zakłady Rafineryjne i Elektrociepłownia EC-II Czechowice-Dziedzice. Jeżeli nasze dane dotyczące problemu radioaktywności w kopalniach są dość obszerne, to w pozostałych dwu przypadkach jest ich mniej z uwagi na niechęć w ujawnianiu tych danych.

W kotłowni Śląskich Zakładów Rafineryjnych spalany jest miał II A z KWK "Pokój", gdyż jest to węgiel lepszej jakości zawierający mniej substancji szkodliwych. W skład systemu odpylającego wchodzi baterie cyklonów znajdujące się przy każdym kotle, w skład których wchodzi cyklony. System ten zapewnia wysoką sprawność filtrowania pyłów (do 90%).

Tabela 1

Ilość węgla spalana w kotłowni
Śląskich Zakładów Rafineryjnych

Lp.	Ilość żużla w tys. ton	Rrok
1.	20	1991
2.	15	1992
3.	14,1	1993

Zgodnie z klasyfikacją według zarządzenia Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki, odpad jest niskoaktywny (około 13 Bq/kg). Badania wykonał Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach.

8. Stężenie pierwiastków naturalnie promieniotwórczych w odpadach paleniskowych z elektrociepłowni "Bielsko-Biała Północ" w Czechowicach-Dziedzicach

Stężenia pierwiastków promieniotwórczych w popiole lotnym:

	1987	1988
K-40	$932,15 \pm 167,79$	$680,06 \pm 215,1$
Ra-226	$98,83 \pm 32,62$	$146,1 \pm 30,88$
Th-228	$79,96 \pm 16,79$	$73,17 \pm 14,94$
f1	$0,86 \pm 0,2$	$0,88 \pm 0,2$
f2	98,84	146,14

Stężenia pierwiastków promieniotwórczych w żużlu:

	1987	1988
K-40	$847,94 \pm 164,11$	$627,42 \pm 167,1$
Ra-226	$73,07 \pm 32,15$	$91,46 \pm 27,53$
Th-228	$71,16 \pm 17,08$	$53,95 \pm 13,87$
f1	$0,73 \pm 0,2$	$0,64 \pm 0,17$
f2	73,07	91,46

Stężenia pierwiastków promieniotwórczych w węglu:

	1987	1988
K-40	$401,43 \pm 92,33$	$312,24 \pm 104,7$
Ra-226	$46,14 \pm 19,84$	$49,16 \pm 20,85$
Th-228	$26,58 \pm 9,83$	$28,88 \pm 10,47$
f1	$0,35 \pm 0,12$	$0,34 \pm 0,12$
f2	46,14	49,163

1. Stężenia podano w Bq/kg.

2. Dopuszczalne stężenie pierwiastków promieniotwórczych:

- aktywność sumaryczna pierwiastków promieniotwórczych wyrażona wzorem:

$$f1=0,00027 SK+0,0027 SRa+0,043 STh \ (\geq 1),$$

w którym SK, SRa, STh oznaczają wartości stężeń potasu K-40, Ra-226 i Th-228 wyrażone w Bq/kg ;

- stężenie radu: $f2=SRa \ (\geq 185)$ w Bq/kg.

9. Wyniki analizy promieniotwórczości wód

Tabela 2

Wyniki analizy promieniotwórczości wód

Miejsce pobrania	Data pobrania	Stężenie Ra-226	Stężenie Ra-228
Nadawa ze zbiornika Rontok Duży	93.04.02	0,665 ±0,073	0,13 ± 0,073
	94.04.05	1,348 ±0,127	1,11 ± 0,29
Zrzut wód słonych ze zbiornika Rontok Duży	93.04.02	1,121 ±0,116	0,91 ± 0,35
	94.04.05	1,075 ±0,104	0,94 ± 0,25
Rzeka Wisła przed zrzutem wód słonych	93.04.02	0,009 ±0,005	<0,05
	94.04.05	<0,002	<0,01
Rzeka Wisła za zrzutem wód słonych	93.04.02	0,055 ±0,01	<0,05
	94.04.05	<0,002	<0,01
Woda ze zrobów w pokł. 214/1-2 partia centralna	94.03.08	0,101 ±0,02	0,09 ± 0,07
Woda z wylotu rurociągu z poz.353m	94.03.08	16,489 ±1,414	13,65 ± 3,03
Woda z pompowni poz. 353m	94.03.08	17,124 ±1,467	15,05 ± 3,32
Woda zbiorcza z pompowni poz. VI	94.03.08	0,753 ±0,082	0,51 ± 0,18

Stężenia podano w Bq/kg.

10. Wyniki analizy promieniotwórczości próbek stałych (osadów)

W badanych próbkach kamienia stężenia naturalnych radionuklidów Ra-226 i Ra-228 mieszczą się w zakresach wartości średnio spotykanych w skorupie ziemskiej. Nie stwarzają zagrożenia radiologicznego dla stykających się z nimi ludzi i środowiska naturalnego. Mogą więc być lokowane na powierzchni. Stwierdzone zawartości naturalnych radionuklidów mieszczą się w zakresie charakterystycznych wielkości spotykanych w odpadach górniczych. Zgodnie z zaleceniami Głównego Instytutu Górnictwa, odpady, w których stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych nie przekraczają wartości 350 Bq/kg dla Ra-226 i 230 Bq/kg dla Ra-228 mogą być składowane na powierzchni oraz wykorzystane do robót inżynierskich. Materiały odpadowe, w których sumaryczne stężenie izotopów radu nie przekracza 10 kBq/kg, mogą być stosowane do podsadzki prowadzonej metodą na mokro oraz wypełniania starych zrobów. W przypadku przekroczenia tej wartości, wymagana jest opinia dla konkretnego procesu lokowania.

Tabela 3

Wyniki analizy promieniotwórczości próbek stałych (osadów)

Miejsce pobrania	Data pobrania	Stężenie Ra-226	Stężenie Ra-228	Stężenie K-40
Kamień ze zwałowiska w Kaniowie	91. 08. 28	47	42	605
	93. 06. 03	68 ± 7	61 ± 7	750 ± 99
Kamień ze zwałowiska powierzchniowego w Rudołowicach	91. 08. 28	81	71	709
	93. 06. 03	54 ± 6	45 ± 5	684 ± 99
Kamień dołowy	91. 08. 28	53	47	670
Kamień z zakładu przerobczego	91. 08. 28	52	48	534
Składowisko pow. Kaniów	92. 06. 10	74 ± 7	60 ± 6	619 ± 78
Składowisko pow. Rudołowice	92. 06. 11	55 ± 5	41 ± 5	453 ± 650

cd. tabeli 3

Kamień, składowisko pow. w Rudołowicach	94. 05. 27	68 ± 5	58 ± 10	716 ± 99
Skała płona, roboty inż. Kaniów	94. 05. 28	71 ± 5	64 ± 5	657 ± 97
Odpad mułowy z osadnika mułów popłuczkowych	94. 08. 03	32 ± 4	22 ± 4	153 ± 25
Osad z osadnika mułów popłuczkowych	93. 06. 02	33 ± 4	27 ± 4	233 ± 46
Wartości średnie dla skorupy ziemskiej		25	25	380
Zakres		0 - 100	0 - 100	99 - 740

Stężenia podano w Bq/kg.

11. Wyniki badań stężenia pierwiastków naturalnie promieniotwórczych węgla KWK "Silesia"

Tabela 4

Wyniki badań stężenia pierwiastków naturalnie promieniotwórczych węgla KWK "Silesia"

Miesiąc	Węgiel KWK "Silesia"	Popiół lotny	Żużel
I	f1 0,23±0,08	1,06±0,13	0,94±0,14
	f2 40,77	160,72	133,18
V	f1 0,27±0,07	0,96±0,14	0,79±0,12
	f2 34,77	120,86	113,95
VII	f1 0,2±0,07	1,13±0,17	0,85±0,18
	f2 12,46	140,64	93,7
VIII	f1 0,27±0,07	0,98±0,13	0,73±0,12
	f2 27,27	126,22	100,09
IX	f1 0,29±0,08	0,92±0,13	0,83±0,14
	f2 47,63	101,46	81,04
XI	f1 0,24±0,07	0,95±0,14	0,84±0,14
	f2 25,75	103,91	104,13

Badania wykonał "Energopomiar" z Gliwic w roku 1992.

12. Kontrola i ograniczanie promieniotwórczych skażeń środowiska powodowanych przez kopalnie

Stone wody występujące w kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku często zawierają naturalne izotopy promieniotwórcze, a przede wszystkim izotopy radu. W takich wodach odkryto podwyższone stężenia Ra-226, Ra-228, Ra-224. Stężenia Ra-226 w wodach doptywających do wyrobisk podziemnych mogą sięgać nawet 390 kBq/m^3 , podczas gdy stężenia tego izotopu w wodach powierzchniowych zazwyczaj nie przekraczają $0,1 \text{ kBq/m}^3$. Tak wysokie stężenia radu występujące w polskich kopalniach są rzadko spotykane w przyrodzie, jednakże wody ze zbliżonymi stężeniami radu znaleziono w Iranie, Australii, Ukrainie i w Niemczech. Czasem radonośne wody kopalniane zawierają również jony baru, których stężenie może sięgać $1,5 \text{ kg/m}^3$. Wody zawierające zarówno rad, jak i bar zostały nazwane wodami radowymi typu A. Drugi typ wód radowych, dla odróżnienia, nazwany typem B, nie zawiera jonów baru a zawiera jony siarczanowe SO_4^{2-} . Obecność baru w wodach odgrywa kluczową rolę w zachowaniu się radu. Z wód typu A (zawierających bar) rad prędzej czy później ulegnie współstrąceniu wraz z barem po zmieszaniu się tych wód z wodami siarczanowymi, które są bardzo pospolite w przyrodzie. Stężenie Ra-226 w tworzących się w taki sposób osadach może sięgać 400 kBq/kg , podczas gdy średnie stężenie tego izotopu w glebie wynosi około 25 Bq/kg . Wytrącanie się promieniotwórczych osadów może zachodzić nie tylko pod ziemią, ale także na powierzchni w osadnikach, rurociągach, małych ciekach powierzchniowych. Dlatego też mogą one powodować skażenia promieniotwórcze środowiska naturalnego. Mogą też powodować trudności techniczne w eksploatacji rurociągów i kolektorów wód słonych. Na Górnym Śląsku występują dwa główne źródła promieniotwórczych skażeń środowiska naturalnego – radonośne wody odprowadzane z kopalń węgla kamiennego oraz promieniotwórcze odpady stałe lokowane na hałdach. Kontrola obu tych źródeł skażeń jest potrzebna dla oszacowania dawek, jakie mogą otrzymywać mieszkańcy skażonych terenów. System kontroli skażeń środowiska wokół kopalń został opracowany i wdrożony w 1988 roku do stosowania we wszystkich kopalniach węgla kamiennego w Polsce. Elementami systemu są:

- kontrola stężeń izotopów radu w wodach odprowadzanych przez kopalnie węgla, w osadnikach na powierzchni, w rzekach powyżej i poniżej miejsc zrzutów wód kopalnianych

a także w studniach będących w zasięgu oddziaływania wód słonych z osadników i skażonych rzek;

- kontrola stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych w próbkach osadów z osadników wód słonych, w osadach dennych z cieków powierzchniowych, w odpadach lokowanych na hałdach, a także w glebach na terenach przylegających do skażonych cieków i rzek.

Dodatkowo wykonywane są pomiary mocy dawki promieniowania gamma, dawek otrzymanywanych przez mieszkańców skażonych terenów, stężeń radonu i jego produktów rozpadu na otwartym powietrzu i mieszkaniach w sąsiedztwie terenów o podwyższonej promieniotwórczości naturalnej. Wysokie stężenia radu w słonych wodach kopalnianych powodują czasem specyficzne problemy związane z transportem tych wód rurociągami, promieniotwórczymi skażeniami powierzchni, skażeniami gleby i roślinności, podwyższonymi stężeniami radonu i jego produktów rozpadu w powietrzu, a także zwiększoną mocą dawki promieniowania gamma, i co za tym idzie, dodatkowymi dawkami promieniowania otrzymanymi przez mieszkańców skażonych terenów. Także promieniotwórcze osady dołowe (powstające przede wszystkim w chodnikach wodnych) lokowane na powierzchni mogą powodować skażenia powierzchni. Stąd też jakiegokolwiek akcje zapobiegania skażeniom poprzez lokowanie promieniotwórczych osadów w wyeksploatowanych wyrobiskach górniczych lub oczyszczanie wód z radu są bardzo istotne z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego. W niektórych polskich kopalniach występują dopływy radonośnych wód typu A oraz dopływy wód zawierających jony siarczanowe. W wyniku mieszania się takich wód następuje współstrącanie radu i baru w postaci siarczanów. Mieszanie tych wód w wyeksploatowanych zrobach zostało wykorzystane do oczyszczania słonych wód z radu i baru w kilku kopalniach węgla. Wytrącanie się i sedymentacja osadów występuje w zrobach bez możliwości kontaktu pracowników z wysoko promieniotwórczymi osadami. Jednocześnie kopalń z Rybnickiego Okręgu Węglowego odprowadza swoje słone wody za pomocą systemu rurociągów (znanego pod nazwą Kolektora OLZA) do rzeki Leśnicy. W kolektorze następowało w przeszłości mieszanie wód radowych typu A z wodami siarczanowymi. Spowodowało to bardzo szybkie zarastanie kolektora na niektórych odcinkach. Oszacowano, że całkowita masa zebranych w kolektorze osadów wynosi około 20 000 ton o całkowitej aktywności Ra-226 około 500 GBq. Spowodowało to poważne uszkodzenia i częste awarie kolektora. Aby ochronić środowisko naturalne, górników oraz instalacje techniczne

przed działaniem promieniotwórczych osadów, opracowana została i wdrożona w pełnej skali technicznej w dwóch kopalniach metoda oczyszczania wód typu A z radu i baru. Metoda ta pozwala na oczyszczanie wód radowych w przypadku, kiedy w kopalni nie występują naturalne wody siarczanowe w wystarczających ilościach. Proces oczyszczania odbywa się pod ziemią, w wyeksploatowanych wyrobiskach, gdzie pozostają tworzące się promieniotwórcze osady. Ponieważ oczyszczanie prowadzi się za pomocą odpadów pochodzących z przemysłu nawozów sztucznych, koszt oczyszczania jest bardzo niski. Dodatkowym czynnikiem pozytywnym jest pozostawianie osadów promieniotwórczych pod ziemią - tak opracowana technologia oczyszczania jest bardzo efektywna zarówno z punktu widzenia ekologii jak i ekonomii. Wynikiem zastosowania metody oczyszczania jest bardzo znaczące obniżenie ilości radu i baru odprowadzanych na powierzchnię. Kopalnia „Krupiński” odprowadza około 6000 m³ wód słonych dziennie. Przed zastosowaniem oczyszczania wód stężenie Ra-226 wynosiło około 17 kBq/m³, a obecnie spadło poniżej 0,3 kBq/m³. Z kolei w KWK "1-Maja" stężenie Ra-226 spadło z około 12 kBq/m³ do wartości poniżej 0,7 kBq/m³ przy odprowadzaniu 2000 m³ wody na dobę. Tym samym kopalnie wypełniły wymagania Wydziału Ekologii Urzędu Wojewódzkiego w Katowicach, aby obniżyć stężenia radu w wodach zrzutowych poniżej poziomu dopuszczalnego dla ciekłych odpadów promieniotwórczych. Poziom ten został ustalony w Zarządzeniu Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki jako 0,7 kBq/m³. W sumie oczyszczanie wód w obu kopalniach spowodowało obniżenie ilości radu odprowadzanego na powierzchnię o około 130 MBq dziennie i baru o około 3000 kilogramów dziennie. Problem oczyszczania wód radowych typu B nie jest, niestety, taki prosty. Wody te zawierają rad i jony siarczanowe, a nie zawierają jonów baru. Podobny problem występujący w zakładach przeróbki uranowej rozwiązuje się zazwyczaj poprzez dodawanie chlorku barowego. Związek ten jest, niestety, dosyć drogi, a ilości wód oczyszczanych nie są tak ogromne, jak w kopalniach węgla. Dla trzech najważniejszych kopalń na Górnym Śląsku całkowita ilość wody, jaka powinna być oczyszczana, to około 75000 m³ dziennie zawierającej 350 MBq Ra-226 i co najmniej tyle samo Ra-228. Testy laboratoryjne nad oczyszczaniem wód typu B rozpoczęto w Laboratorium Radiometrii GIG w 1991 roku. Kilkanaście różnych sorbentów zostało przebadanych i dla dwóch z nich otrzymano bardzo zachęcające wyniki. W dalszych badaniach zajęto się wyłącznie tymi sorbentami, wykonano krzywe wydajności oczyszczania w zależności od

ilości użytego sorbentu ze szczególnym uwzględnieniem wpływu czasu kontaktu. Na początku roku 1993 rozpoczęto przygotowania do testów na instalacji modelowej pod ziemią. Instalacja taka została przygotowana w KWK "Piast", a natężenie przepływu wody wynosi $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$. Kilkanaście różnych eksperymentów zostało już wykonanych na tej instalacji z bardzo obiecującymi rezultatami. Wyniki i doświadczenia zostaną wykorzystane przez KWK "Piast" do oczyszczania wód pod ziemią na dużą skalę (co najmniej $8-10 \text{ m}^3/\text{min}$). W przeszłości niektóre z kopalń węgla lokowały powstające pod ziemią (przede wszystkim w chodnikach wodnych) promieniotwórcze osady na hałdach, gdzie mieszały się one z innymi odpadami kopalnianymi. Obecnie takie praktyki są zakazane i promieniotwórcze osady są lokowane pod ziemią. Taki tryb postępowania przyjęto m.in. w KWK "Wesoła", KWK "Jankowice" oraz w innych kopalniach.

13. Możliwość wykorzystania zrobów kopalnianych dla oczyszczania się wód z radu i baru na przykładzie KWK "Silesia" w Czechowicach-Dziedzicach

Z karbonu w kopalniach węgla na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego często wypływają solanki zawierające wysokie stężenia izotopów radu sięgające nawet do około 400 Bq/l Ra-226, jak również jonów baru do około 2 g/l . Wody te odprowadzane przez kopalnie do środowiska powodują zanieczyszczenie osadników, potoków i rzek Śląska. Taka sytuacja występuje m.in. na kopalni "Silesia". Na podstawie dotychczasowych badań stwierdzono, że z utworów karbońskich tej kopalni wypływają solanki zawierające ponad 40 Bq/l izotopu Ra-226, a jednocześnie do 250 mg/l jonów baru. Wody te kierowane są do zbiornika Rontok, a następnie do rzeki Wisły skazając osady denne zbiornika oraz osady i wody Wisły. Zanieczyszczenie osadów dennych Wisły jest wysokie i sięga w przypadku radioaktywnego izotopu Ra-226 290 Bq/kg . Bardzo ważne jest więc wyeliminowanie zrzucania radu i toksycznego baru do środowiska zbiornika Rontok i rzeki Wisły.

Wody z kopalni "Silesia" mogą być oczyszczane z radu i baru metodami polegającymi na wytrącaniu tych pierwiastków w postaci trudno rozpuszczalnego osadu siarczanów. Jedną z metod to strącenie radu i baru poprzez wymieszanie wód zawierających rad i bar z wodami zawierającymi siarczany. Drugą to dozowanie do wód siarczanów w postaci np.

fosfogipsów. Na kopalni "Silesia", jak dotychczas, nie stwierdzono dopływów wód zawierających siarczany. Jedynie wody infiltrujące wzdłuż szybów z nadkładu zawierające do 30 mg/l jonów siarczanowych mogą wytrącić i wytrącają pewne ilości radu i baru z wód, ale nie jest to zjawisko znaczące. Dozowanie do wód związków chemicznych jest sposobem skutecznym, ale wymaga dodatkowych inwestycji i wprowadza do wód składniki chemiczne, które mogą być toksyczne dla środowiska.

13.1. Skład chemiczny i izotopowy wód KWK "Silesia"

Kopalnia Silesia eksploatuje węgiel w warstwach łaziskich i orzeskich na trzech poziomach: I, IV, VI. Badania składu chemicznego wód dopływających do wyrobisk górniczych na tych poziomach przeprowadzone w latach 1986 - 1993 wykazały, że z utworów karbońskich wypływają solanki typu Na-Cl o zawartości chlorków od 18 do około 56g/l. Solanki te nie zawierają praktycznie jonów siarczanowych (<10 mg/l), a jednocześnie zawierają jony baru o stężeniu od 30 do 250 mg/l i jony strontu od 40 do 140 mg/l. Stężenie izotopu Ra-226 waha się od 8 Bq/l do 45 Bq/l. Generalnie wraz ze wzrostem głębokości rosną stężenia chlorków w solankach, a wraz z nimi wzrasta stężenie jonów baru, strontu i radu. Solanki dopływające z górotworu karbońskiego na poziomie I o zawartości chlorków około 20 g/l są wyraźnie wzbogacone w azotyny (do 15-20 mg/l) i azotany (do 30-35 mg/l), a jednocześnie zawierają niskie stężenia jodu (do 5-6 mg/l). Natomiast solanki poziomów IV i VI zawierające od 35-56 g/l chlorków są wyraźnie wzbogacone w jod (20-25 mg/l), a uboższe w azotyny (do 1 mg/l) i azotany (do 5 mg/l). Wody z poziomu I w porównaniu z wodami z poziomów IV i VI oprócz składu chemicznego różnią się wyraźnie składem izotopowym. Na poziomie I dopływają wody o O (gdzie O to izotop tlenu) około 7,5% i D (deuter) około 53%. Wody z poziomu IV, których skład izotopowy wyrażony przez O od 2,7% do 4,3% i D od 29% do 36% są infiltrującymi gorącego klimatu. Skład izotopowy jednej zbadanej wody poniżej poziomu IV (O 2%, D 23,5%) wskazuje, że może to być stara paleoinfiltracyjna woda znana z otworów wiertniczych w Goczałkowicach Zdroju mieszczących się w pobliżu obszaru górniczego kopalni. Widoczne więc jest, że na poszczególnych poziomach wydobywczyczych wypływają wody o odmiennych składach chemicznych związanych z różną ich genezą.

13.2. Zjawisko oczyszczania się wód w zrobach poeksploatacyjnych

Badania składu chemicznego i izotopowego poszczególnych wód wypływających w wyrobiskach górniczych kopalni nie wykazały praktycznie zmian w latach 1986 - 1993. Pomimo tego w 1993 roku w czasie badań promieniotwórczości wód z różnych regionów i poziomów kopalni (wschodni, zachodni, centralny) na drodze ich przepływu do pompowni stwierdzono, że w niektórych wodach stężenie izotopu Ra-226 uległo drastycznemu obniżeniu. Szczegółowa analiza miejsc poboru prób wykazała, że wody, w których nastąpiło obniżenie stężenia radu przepłynęły przez zroby poeksploatacyjne. Badania składu chemicznego tych wód wykazały, że oprócz obniżenia stężenia radu do wartości około 0,8 Bq/l, po przepłynięciu przez zroby poeksploatacyjne, następuje również: obniżenie stężenia jonów baru do poniżej 10 mg/l, kilkukrotne obniżenie zawartości zawiesiny, wzrost stężenia jonów siarczanowych do 270 mg/l. W zrobach poeksploatacyjnych kopalni "Silesia" występuje więc zjawisko oczyszczania się wód z izotopów radu, jonów baru oraz zawiesiny. Szczegółowa analiza wszystkich wód przepływających przez zroby na terenie kopalni wykazała, że aktualnie zjawisko to występuje we wszystkich zrobach na poziomie IV i częściowo na poziomie VI. Zroby poeksploatacyjne na poziomie I aktualnie nie oczyszczają wód z radu i baru. Skład chemiczny i izotopowy wód przepływających przez zroby na poziomie I nie ulega zmianie. Znajduje to odbicie w wodach zbiorczych z poszczególnych poziomów kopalni. W związku z procesem oczyszczania się wód w zrobach, aktualnie wody zbiorcze z poziomów IV i VI, które odprowadzane są wspólnie na powierzchnię, zawierają jedynie 1,4 Bq/l izotopu Ra-226 oraz około 20 mg/l jonów baru i około 50 mg/l jonów siarczanowych. Natomiast w wodach zbiorczych z poziomu I stężenie izotopu Ra-226 jest nadal wysokie i wynosi około 4 Bq/l, pomimo że wody te zmieszane są z wodami pochodzącymi z infiltracji z nadkładu (miocenu).

13.3. Przyczyny zjawiska oczyszczania się wód

Zjawisko oczyszczania się wód z radu i baru związane jest z procesem powstawania siarczanów w wodach w czasie ich przepływu przez zroby poeksploatacyjne. Powstanie siarczanów jest wynikiem utleniania siarki lub siarczków. Reakcja ta może być związana z materiałem skalnym wypełniającym zroby, jak również z samymi wodami. Skały węgło-

we, wypełniające zroby zawierają związki siarki, które występują w postaci związków nieorganicznych (np. piryt), jak również i organicznych. Obecność tlenu, dwutlenku węgla, jak również wody może spowodować rozkład tych związków, czego jednym z efektów końcowych jest obecność siarczanów w wodach. Jednocześnie obecność siarczanów w wodach może być wynikiem reakcji utleniania związków siarczkowych zawartych w samych wodach wypływających z górotworu. W procesach utleniania zachodzących w zrobach dużą rolę mogą odgrywać bakterie lub związki organiczne. Pewną rolę może również odgrywać mieszanie się w zrobach wód różnych typów genetycznych. Wyjaśnienie procesów oczyszczania się wód wymaga dalszych badań.

13. 4. Wnioski

Promieniotwórcze skażenia środowiska naturalnego powodowane przez przemysł węglowy są głównie efektem odprowadzania promieniotwórczych wód radowych na powierzchnię. Dodatkowym źródłem skażeń jest lokowanie na powierzchni stałych odpadów z podwyższoną zawartością naturalnych izotopów promieniotwórczych. System kontroli skażeń środowiska naturalnego został opracowany i wdrożony we wszystkich kopalniach węgla w Polsce od roku 1988. System ten pozwala na otrzymywanie wartościowych informacji o źródłach skażeń dla oceny narażenia radiacyjnego mieszkańców skażonych terenów. Metoda oczyszczania wód radowych typu A została wdrożona w dwóch kopalniach węgla. W wyniku tego osiągnięto znaczne obniżenie stężenia radu w wodach odprowadzanych na powierzchnię - poniżej dopuszczalnego poziomu ($0,7 \text{ kBq/m}^3$). Przeprowadzono laboratoryjne testy i badania na instalacji modelowej mające na celu opracowanie metody oczyszczania wód radowych typu B. Bardzo obiecujące rezultaty z dotychczasowych badań pozwalają mieć nadzieję na wdrożenie tej metody w pełnej skali technicznej. Zalecenie lokowania pod ziemią promieniotwórczych odpadów stałych powstających w kopalniach węgla jest dodatkowym czynnikiem ograniczającym skażenia powierzchni.

14. Zakończenie

Udowodniliśmy w naszej pracy, że na obszarze województwa katowickiego istnieje problem odpadów radioaktywnych, przede wszystkim z powodu dużej koncentracji kopalń węgla kamiennego. Jednocześnie dane dotyczące stężeń pierwiastków promieniotwórczych dowodzą, że również inne zakłady, jak np. elektrociepłownie mają znaczny udział w zanieczyszczaniu środowiska. Wydział ochrony środowiska Śląskich Zakładów Rafineryjnych początkowo twierdził, że zakład ten nie „produkuje” żadnych odpadów radioaktywnych. Jednakże po kilku minutach rozmowy i po udostępnieniu nam niewielkiej ilości danych okazało się, że odpady zakładu są niskoaktywne. Jest więc zasadnicza różnica pomiędzy stwierdzeniem „odpad nie jest radioaktywny” a stwierdzeniem „odpad jest niskoaktywny”. Mamy nadzieję, że zainteresowanie ekologią będzie wzrastało i każdy człowiek chociaż w niewielkim stopniu przyczyni się do ochrony życia na Ziemi.

15. Słowniczek

1. **AKTYWNOŚĆ** - pojęcie określające podstawową cechę substancji promieniotwórczej, tj. liczbę przemian promieniotwórczych występujących średnio w jednostce czasu, czyli szybkość rozpadu. Jednostką aktywności jest BEKEREL równy jednemu rozpadowi promieniotwórczemu w ciągu sekundy (1Bq) - jest to bardzo mała jednostka aktywności, np. aktywność naturalnych substancji promieniotwórczych obecnych w organizmie każdego człowieka odpowiada 3 - 5 tysiącom bekereli (3 - 5 kBq). Dawniej stosowaną jednostką był 1 curie odpowiadający aktywności mniej więcej 1g radu. 1 curie równa się 37 miliardom bekereli (1Ci = 37 GBq). W jednostkach aktywności określa się tylko wielkość źródła promieniotwórczego - pośrednio liczbę promieniotwórczych atomów. Ilość emitowanego promieniowania jest ściśle proporcjonalna do aktywności.
2. **DAWKA** - spowodowana padającym promieniowaniem jonizującym, pod ogólnym określeniem dawki rozumiemy energię promieniowania, która została pochłonięta przez daną materię lub ludzkie ciało. Ilość tej energii odnosimy do masy ciała, a więc do każdego napromieniowanego grama określonej tkanki lub narządu. Rozróżnia się szereg

szczególowych określeń dawki, np. dawka pochłonięta, ekspozycyjna, efektywna, indywidualna, graniczna, robocza. Najbardziej uniwersalną jednostką dawki jest SIWERT.

3. **IZOTOP PROMIENIOTWÓRCZY** - atomy określonego pierwiastka występują nieraz w różnych odmianach mając taką samą liczbę atomową, ale inną masę jądra, spowodowaną inną liczbą neutronów. Wszystkie zachowują jednak identyczne właściwości chemiczne tj. mogą wchodzić w takie same związki, reagować tak samo z innymi substancjami, tak samo przemieszczać się np. w roślinach lub organizmie ludzkim. Mówimy wówczas o różnych izotopach tego samego pierwiastka. Niektóre z nich są promieniotwórcze, czyli emitują promieniowanie "na zewnątrz". Każdy izotop promieniotwórczy wysyła ściśle określone promieniowanie, przy czym może to być promieniowanie alfa, beta i gamma. Na ogół występują dwa rodzaje promieniowania razem. Olbrzymie ilości naturalnych izotopów promieniotwórczych są rozproszone wszędzie w przyrodzie, z tym, że ich stężenia, tj. aktywności przypadające na kilogram np. gleby są znikome. Izotopy sztuczne otrzymuje się przez tzw. aktywację - najczęściej strumieniem neutronów w reaktorze. Każdy izotop promieniotwórczy (inna nazwa: RADIOIZOTOP lub niezupełnie prawidłowa: radionuklid) charakteryzuje się własnym "czasem życia", czyli okresem półrozpadu.
4. **ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE** - są to już nieużyteczne źródła promieniotwórcze, które mogą wykazywać jeszcze pełną aktywność, ale i będące już w częściowym zaniku, jak również różnego rodzaju materiały skażone substancjami promieniotwórczymi np. lignina, bandaż, blacha, ścieki i wiele innych. Czyli postać może być stała, ciekła i także, gazowa (według definicji w Prawie atomowym odpady promieniotwórcze oznaczają "przedmioty lub materiały stałe, ciekłe lub gazowe zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami powyżej ustalonego poziomu, których dalsze wykorzystywanie jest niecelowe lub niemożliwe"). Spotyka się odpady niskoaktywne, średnio- i wysokoaktywne, różniące się między sobą stwarzanym zagrożeniem miliony a nawet miliardy razy. Odpady wysokoaktywne pochodzą praktycznie jedynie z przerobionego, wypalonego paliwa reaktorowego (nie można ich jednak nazywać odpadami jądrowymi). Odpady nieraz przechowuje się w pobliżu miejsca ich powstawania dla wstępnego "schładzania", czyli oczekując na samoistne zmniejszenie się ich aktywności do poziomu pozwalającego na łatwiejszy transport i składowanie. Odpady o dłuższych o-

kresach półrozpadu składa się odpowiednio utrwalone w specjalnie zabezpieczonym miejscu: w składnicy odpadów promieniotwórczych. Pod określonymi warunkami m.in. związanymi z rodzajem wykorzystania, dopuszcza się obecność pewnych znikomych ilości substancji promieniotwórczych w zwykłych odpadach tzw. przemysłowych.

5. **OKRES PÓLROZPADU** - wielkość charakteryzująca substancje promieniotwórcze definiowana jako czas, w którym aktywność danego izotopu promieniotwórczego zmaleje do połowy. Okresy półrozpadu mogą wynosić zależnie od izotopu: od ułamków sekundy do tysięcy lat. Nie mamy żadnego wpływu na zmianę tej wartości.
6. **PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE** - promieniowanie, które w trakcie przenikania w głąb materii przekazuje tejże materii część lub całość niesionej przez siebie energii, dzieje się to głównie poprzez jonizację atomów. Podstawowymi rodzajami promieniowania są: promieniowanie alfa α (o bardzo krótkim zasięgu w powietrzu; groźne w przypadku skażeń wewnętrznych), beta β (zasięg maksymalnie do 10 m w powietrzu; jako osłona wystarcza warstwa plastyku około 10 mm), gamma γ (zależnie od energii najbardziej przenikliwie; jako osłony stosuje się ołów lub grube warstwy ciężkich materiałów), pochodzące z izotopów promieniotwórczych oraz neutrony. Promieniowanie wytwarzane w różnego rodzaju urządzeniach jak akceleratory lub inne generatory, jest najczęściej promieniowaniem rentgenowskim. Do promieniowania jonizującego nie zalicza się fal radiowych, promieniowania radarowego i nadfioletowego.
7. **PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ (inaczej RADIOAKTYWNOŚĆ)** - właściwość pewnych pierwiastków polegająca na zdolności emitowania przez nie promieniowania alfa, beta, gamma na skutek rozpadu promieniotwórczego. Występują różne reakcje jądrowe, ale są one praktycznie zawsze związane z emisją, tj. wysłaniem ściśle określonej ilości energii w postaci promieniowania α , β , γ albo kombinacji tych rodzajów promieniowania. Cechą jednoznacznie odróżniającą każdy z promieniotwórczych izotopów jest nie tylko energia promieniowania, ale i szybkość, z jaką następuje w czasie zanik aktywności zbioru atomów danego izotopu. "Radioaktywny" oznacza materiał, substancję, w której zachodzą przemiany jądrowe; substancję, która jest promieniotwórcza. Obecność dużych ilości substancji promieniotwórczych w jakimś niepożądanym miejscu np. na powierzchni stołu w laboratorium, podłodze, ścianie, na jakimś terenie określa się jako

- skażenie promieniotwórcze. Może ono powstać przy pracy z tzw. otwartymi źródłami promieniotwórczymi, a na większych obszarach jako skutek opadu radioaktywnego.
8. SEDYMENTACJA - osiadanie cząstek rozproszonej fazy w polu grawitacyjnym, wywołane różnicą gęstości tej fazy i ośrodka dyspersyjnego.
 9. SORBENT - ciało porowate zdolne do sorpcji; przykładem sorbentu może być wiele rodzajów specjalnie preparowanego węgla aktywnego.
 10. SUBSTANCJA PROMIENIOTWÓRCZA - materiał zawierający izotopy promieniotwórcze lub pierwiastki promieniotwórcze, ale mogą to być również np. odpady promieniotwórcze, w których nieraz tylko niewielka część materiału jest promieniotwórcza. Spośród pierwiastków nie mających izotopów stabilnych, czyli spośród pierwiastków promieniotwórczych, często spotykanych właśnie w różnych substancjach promieniotwórczych można wymienić: rad (charakteryzujący się znaczną toksycnością ogólną i pochodny względem niego radon, gaz szlachetny występujący w niektórych kopalniach), uran (pierwiastek mało promieniotwórczy ale dość toksyczny), pluton (o znacznej szkodliwości radiacyjnej, ale nie tak bardzo toksyczny jak się powszechnie sądzi), ameryk (znajdujący zastosowanie w mikroskopijnych ilościach nawet w przedmiotach tzw. powszechnego użytku). Znaczną radiotoksycnością charakteryzują się natomiast izotopy: stront-90, nieco mniejszą cez-137 i cez-134 oraz tylko niewiele mniejszą potas-40 - izotop naturalny powszechnie obecny w przyrodzie, chociaż w znikomych stężeniach.
 11. TŁO PROMIENIOWANIA (inaczej nazywane promieniowaniem naturalnym) - obejmuje udział promieniowania kosmicznego, promieniowania naturalnych izotopów z otoczenia (gleba, mury, powietrze) oraz jeżeli uwzględniamy napromieniowywanie samych siebie - również promieniowanie izotopów naturalnych znajdujących się wewnątrz organizmu. Wartości liczbowe składowych tła promieniowania mogą być bardzo zróżnicowane np. tło promieniowania gamma różni się parokrotnie w poszczególnych rejonach Polski, natomiast stężenie radonu-222 w powietrzu przestrzeni otwartej nawet 10 razy w zależności od miejsca i warunków pogodowych, a jeszcze większe zróżnicowanie obserwuje się w odniesieniu do stężeń naturalnego potasu promieniotwórczego K-40 w żywności, np. od 0,05 Bq/kg w cukrze do 350 Bq/kg w fasoli przy około 50 Bq/l w mleku.

12. **ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA** - ogólne określenie używane w sytuacji, kiedy chcemy powiedzieć, że w określonym miejscu powstaje promieniowanie, lub z określonego miejsca pochodzi. Może dotyczyć promieniowania wytwarzanego w jakiejś aparaturze np. aparat rentgenowski, ale i promieniowania pochodzącego z substancji promieniotwórczej. Szczególnym przypadkiem źródła promieniotwórczego jest tzw. źródło zamknięte. Jest to substancja promieniotwórcza tak zamknięta w szczelnej i trwałej obudowie, że nie może się z niej w żaden sposób wydostać. Przez jej ścianki przenika jednak promieniowanie. Ze źródła otwartego substancja promieniotwórcza może uwalniać się i rozprzyszczać, a więc może powodować skażenia. Wielkość źródła promieniotwórczego określamy zazwyczaj w jednostkach aktywności, tj. w bekerelach.

Literatura

1. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna - biuletyn informacyjny Państwowego Inspektoratu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej, nr 15/93, Słowniczek encyklopedyczny wybranych terminów radiologicznych.
2. Pokojowe zastosowanie energii jądrowej - poradnik ochrony radiologicznej z Biblioteki Postępów Techniki Jądrowej; Warszawa 1977.
3. "Archiwum Ochrony Środowiska", 1993, nr 1-2.
4. "Ochrona powietrza", 1993, nr 4, 5, 6, 1994, nr 2, 5.
5. "Ekopartner", 1992, nr 4, 6.