

Janusz R. RAK
Galyna KALDA
Politechnika Rzeszowska
Łukasz ŻUREK
Biuro projektowe ProInst, Rzeszów

ZAGROŻENIE RADIACYJNE W POLSCE

Artykuł zawiera wyniki badań zanieczyszczenia radiacyjnego środowiska polskiego, a mianowicie zanieczyszczenia promieniotwórczego powietrza, wód podziemnych, wód powierzchniowych i gleby. Podano też wyniki pomiarów radioaktywności gleby różnych rejonów Polski.

1. Wstęp

Promieniowaniem nazywamy proces przenoszenia na odległość energii, która może być wysyłana pod postacią ciepła, światła, fal elektromagnetycznych oraz cząstek. „Niektóre rodzaje promieniowania, oddziałując na materię, powodują w wyniku przekazywania niesionej energii charakterystyczne zmiany stanu równowagi w materiale napromieniowanym, polegające na zjawiskach tak zwanej jonizacji lub wzbudzania atomów. Promieniowanie posiadające zdolność wywoływania takich zmian w materii nosi nazwę promieniowania jonizującego” [1].

Jonizacja jest to zjawisko, które polega na oderwaniu przynajmniej jednego elektronu od atomu. Skutkiem tego z pierwotnie obojętnego elektrycznie atomu powstaje po zadziałaniu promieniowania wolny jon ujemny (elektron) i dodatnio naładowana pozostałość, czyli atom pozbawiony jednego elementarnego ładunku ujemnego.

2. Źródła promieniowania jonizującego

Źródłem promieniowania jonizującego może być dowolna substancja lub urządzenie, które emituje takie promieniowanie. Ze względu na pochodzenie i charakter źródła można podzielić na:

- naturalne i sztuczne,
- zamknięte i otwarte.

Naturalnym źródłem promieniowania jonizującego są pierwiastki promieniotwórcze zawarte w skorupie ziemskiej, o długim okresie półrozpadu, rzędu

miliardów lat. Pierwiastki, które znajdują się obecnie lub znajdowały się kiedyś w skorupie ziemskiej i wnętrzu Ziemi, powstały bardzo dawno temu we wnętrzach gwiazd I generacji. Proces ciągłych rozpadów promieniotwórczych doprowadził do tego, że niektórych pierwiastków układu okresowego w naturalnym środowisku naszej planety już nie ma, dawno się rozpadły.

W litosferze naszej planety pozostało jeszcze kilkanaście pierwiastków promieniotwórczych. Jednak ze względu na długi czas półrozpadu, i w związku z tym mały stopień radioaktywności, tylko cztery z tych pierwiastków mają istotne znaczenie dla naszego środowiska naturalnego, a więc i dla nas.

W naturalnych przemianach jądrowych powstaje szereg izotopów, które w bardzo łatwy sposób się przemieszczają w najbliższe otoczenie człowieka. Do takich należą radon 222 o czasie półrozpadu 3,8 dnia oraz radon 220 – tzw. toron, o czasie półrozpadu 55 s. Są to gazy szlachetne. Trudno wchodzić w jakiegokolwiek reakcje chemiczne. Jednak gazy te łatwo migrują w glebie, łatwo przenikają do atmosfery i wód gruntowych, gdzie może następować ich kumulacja.

W Polsce średnie stężenie radonu w powietrzu atmosferycznym wynosi ok. 20 Bq/m³, natomiast w pomieszczeniach zamkniętych jego kumulacja może powodować wzrost stężenia do kilkuset Bq/m³. Przykładowo badania w Kotlinie Jeleniogórskiej wykazały stężenie w zakresie od 14,8 do 38 586 Bq/m³. Największe stężenie radonu występuje tam, gdzie podłoże zawiera dużo uranu. Obszarami o szczególnie dużych stężeniach radonu są Alpy, a w Polsce Sudety [5].

Szczególny rodzaj zagrożenia wytwarzają reaktory jądrowe elektrowni atomowych w razie awarii oraz wybuchy nuklearne. Wnika to z możliwości rozprzestrzenienia się skażenia promieniotwórczego na duże obszary oraz jego działania przez długi czas. Tak było na przykład po serii próbnych wybuchów jądrowych w atmosferze w latach sześćdziesiątych lub awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu. Dawki pochłonięte przez ludzi wzrastały wówczas wielokrotnie.

Wyniki z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) ukazują średni roczny efektywny równoważnik dawki, otrzymany przez statystycznego mieszkańca Polski, który w 1998 r. wynosił 3,3 mSv. Udział poszczególnych źródeł promieniowania w podanej przez CLOR dawce pokazuje tab. 1. [5].

Tabela 1. Udział poszczególnych źródeł promieniowania

Źródła promieniowania		Udział, %
Naturalne	radon (²²² Rn)	40
	toron (²²⁰ Rn)	2,0
	promieniowanie gamma	13,8
	promieniowanie wewnętrzne	8,6
	promieniowanie kosmiczne	8,7
Sztuczne	diagnostyka medyczna	25,8
	awarie	0,4
	inne	0,7

Istotnym źródłem zagrożenia radiacyjnego jest przede wszystkim promieniowanie jonizujące pochodzące ze sztucznych źródeł, a więc radionuklidy, które znalazły się w środowisku na skutek działalności człowieka. Te radionuklidy przedostają się do środowiska w sposób niekontrolowany bądź kontrolowany. Niekontrolowane wyzwolenie się promieniowania radiacyjnego ma miejsce między innymi podczas przeprowadzania doświadczalnych wybuchów jądrowych bądź awarii obiektów jądrowych.

W sposób kontrolowany niewielkie ilości substancji promieniotwórczych uwalniane są podczas działalności elektrowni jądrowych czy zakładów przerobu zużytego paliwa jądrowego, przy czym uwolnienia z reaktorów jądrowych zawierają głównie promieniotwórcze gazy szlachetne, które ze względu na nieaktywność nie stanowią większego zagrożenia dla środowiska naturalnego.

W związku z powyższym potencjalne źródła zagrożenia radiacyjnego kraju stanowią obiekty jądrowe znajdujące się na jego terenie, elektrownie jądrowe krajów sąsiednich zlokalizowane w pobliżu granic Polski oraz obiekty związane z przetwarzaniem i składowaniem odpadów promieniotwórczych, a także wszyscy inni użytkownicy źródeł promieniowania jonizującego.

Polska nie posiada elektrowni jądrowych, ma natomiast w sąsiedztwie, w odległości do 310 km od swych granic, 10 czynnych elektrowni jądrowych, w tym 27 bloków – reaktorów energetycznych, o łącznej mocy ok. 18 tys. MWe, co odpowiada mocy cieplnej ok. 55 000 MWt.

Wymienione elektrownie jądrowe obejmują:

- 16 bloków z reaktorami WWER-440, każdy o mocy elektrycznej 440 MW
 - 4 bloki elektrowni Bohunica zlokalizowane na Słowacji, w tym dwa bloki typu WWER-440/230,
 - 2 bloki elektrowni Równe umieszczone na Ukrainie,
 - 4 bloki elektrowni Paks na Węgrzech,
 - 2 bloki elektrowni Mochovce oraz 4 bloki elektrowni Dukovany w Czechach,
- 6 bloków z reaktorami WWER 1000, każdy o mocy elektrycznej 1000 MW
 - 2 bloki elektrowni Chmielnicki,
 - 2 bloki elektrowni Równe na Ukrainie,
 - 2 bloki elektrowni Temelin w Czechach,
- 4 bloki z reaktorami BWR
 - 3 bloki elektrowni Oskarshamn zlokalizowane w Szwecji, o mocy elektrycznej 495, 625 i 1200 MW,
 - 1 blok elektrowni Krümmel w RFN o mocy elektrycznej 1315 MW,
- 1 blok z reaktorem RBMK
 - 1 blok elektrowni Ignalino na Litwie o mocy elektrycznej 1500 MW.

W 2005 roku wyłączono z eksploatacji jeden reaktor typu BWR w elektrowni Barsebeck w Szwecji.

W związku z eksploatacją elektrowni jądrowych w najbliższym sąsiedztwie Polski, istotnym elementem wpływającym na bezpieczeństwo radiacyjne naszego kraju jest współpraca z dozorami jądrowymi krajów ościennych, realizowana na podstawie międzyrządowych, bilateralnych umów o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej i o współpracy w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. W ocenie skali występujących zdarzeń radiacyjnych partnerzy umów posługują się jednolitymi kryteriami określonymi przez tzw. system INES (*International Nuclear Event Scale*) opracowany przez MAEA.

Obecnie na świecie jest czynnych, podłączonych do sieci 438 reaktorów jądrowych, w tym najwięcej w Stanach Zjednoczonych Ameryki (103). Francja jest drugą potęgą jądrową w świecie pod względem produkcji energii atomowej. Dysponuje potencjałem 63 473 MWe zainstalowanej mocy w 59 czynnych reaktorach jądrowych. Energetyka jądrowa stanowi tu główne źródło wytwarzania energii elektrycznej, w 2006 r. jej udział wynosił 78%.

W budowie pozostaje 29 reaktorów, natomiast planowanych jest jeszcze 74. Świat nie ustaje w działaniach projektowych w tej dziedzinie. Oprócz istniejących bądź będących w trakcie budowy proponuje się powstanie jeszcze 188 reaktorów [2].

3. Skażenia promieniotwórcze środowiska w Polsce

3.1. Skażenia promieniotwórcze gleby

W Polsce zgodnie z artykułem 72. ustawy *Prawo atomowe* prowadzone są systematyczne pomiary sytuacji radiacyjnej kraju.

Radioaktywność gleby pochodząca od naturalnych i sztucznych izotopów promieniotwórczych wyznaczana jest na podstawie pomiarów zawartości poszczególnych izotopów promieniotwórczych w próbkach niekulturowanej gleby, pobieranych z warstwy o grubości do 10 cm oraz z warstwy o grubości do 25 cm.

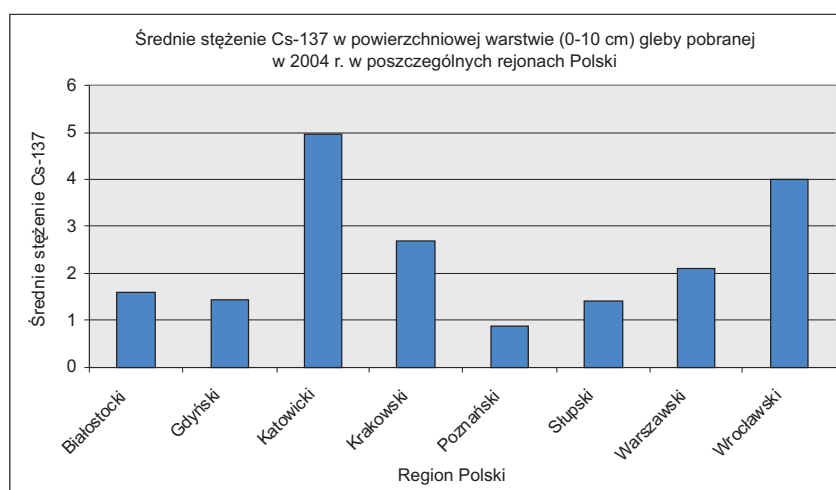
W roku 2004 pobrano próbki gleby z 264 stałych punktów kontrolnych rozmieszczonych na terenie kraju i rozpoczęto pomiary zawartości poszczególnych radionuklidów (w szczególności Cs-137) w tych próbkach. Pomiary wszystkich 264 próbek zakończono na początku 2006 r. Wyniki tych pomiarów, określających radioaktywność gleby w 2004 r., zostały zebrane w tab. 2.

Wyniki pomiarów wskazują, że stężenia izotopu Cs-137 w poszczególnych próbkach pobranych z dziesięciocentymetrowej warstwy gleby zawierały się w granicach od 0,11 do 23,68 kBq/m², natomiast średnie stężenie dla całego kraju wyniosło 2,54 kBq/m². Najwyższe poziomy stężenia cezu (Cs-137) zaobserwowano w rejonach Wrocławia i Katowic. Jest to spowodowane intensywnymi lokalnymi opadami deszczu występującymi na tych terenach w czasie awarii czarnobylskiej. Średnie zawartości izotopu Cs-137 w glebie w poszczególnych rejonach przedstawiono na rys. 1.

Średnie stężenia izotopów radu (Ra-226), aktynu (Ac-228) oraz potasu (K-40) w Polsce w 2004 r. wynosiły odpowiednio 25,0, 23,4 oraz 408 Bq/kg.

Tabela 2. Wyniki pomiarów określających radioaktywność gleby w 2004 r. w Polsce, na podstawie [4]

Lp.	Rejon	Średnie stężenie Cs-137 kBq/m ²	Zakres stężeń kBq/m ²
1	Białostocki	1,59	0,39-2,64
2	Gdyński	1,44	0,46-3,60
3	Katowicki	4,95	1,19-21,24
4	Krakowski	2,69	0,11-15,00
5	Poznański	0,88	0,42-1,49
6	Śląski	1,39	0,75-2,73
7	Warszawski	2,10	0,53-10,52
8	Wrocławski	4,02	0,53-23,68



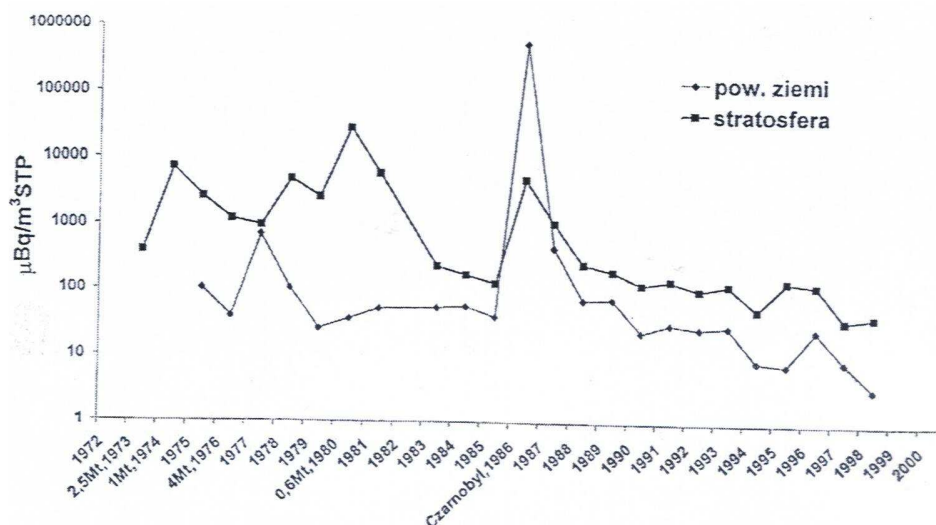
Rys. 1. Średnie zawartości Cs-137 w glebie w poszczególnych rejonach Polski

3.2. Promieniotwórcze zanieczyszczenia powietrza

Jedną z największych dawek promieniowania otrzymuje się od radionuklidów dostających się do środowiska przez rozpraszanie w atmosferze. Dlatego porównanie strumieni energii jonizującej do atmosfery jest dobrą podstawą oceny zagrożenia radiacyjnego różnych źródeł promieniowania.

Do troposfery pyły ze stratosferycznego magazynu przedostają się głównie przez przerwy w tropopauzie, występujące w pobliżu stratosferycznych prądów strumieniowych. Największe przenikanie pyłów do troposfery występuje w okresie wiosennym. W troposferze średni czas przebywania pyłów wynosi

tylko ok. 1 miesiąca, ponieważ są one szybko usuwane przez deszcze, śnieg i pionowe prądy powietrzne. Zmiany stężeń promieniotwórczego cezu w powietrzu stratosfery i przy powierzchni Ziemi w Polsce przedstawione są na rys. 2.



Rys. 2. Zmiany stężeń promieniotwórczego cezu w powietrzu stratosfery i przy powierzchni Ziemi w Polsce

Wypadek w Czarnobylu na krótki czas podniósł zawartość radionuklidów w powietrzu nad Polską. W pierwszym dniu po dotarciu nad Polskę radioaktywnej chmury z Czarnobyla, tj. 28 kwietnia 1986 r., zawartość radionuklidów w powietrzu w Warszawie wzrosła setki tysięcy razy, a następnie gwałtownie się obniżyła w dniu 1 maja [3].

3.3. Skażenie wód powierzchniowych, podziemnych i oceanów

W Polsce od kilku lat prowadzi się monitoring wód i osadów dennych. W roku 2006 oprócz zawartości cezu – 137, przeprowadzono zgodnie z rekomendacją Unii Europejskiej pomiary zawartości strontu – 90. Wyniki badań przedstawione zostały w tab. 3.

Tabela 3. Pomiary zawartości strontu – 90 i cezu – 137 w poszczególnych rzekach [4]

Rzeki	Cs-137		Sr-90	
	zakres	średnio	zakres	średnio
Wisła, Bug i Narew	1,4 – 3,1	2,4	3,5 – 6,3	4,5
Odra i Warta	2,0 – 4,5	3,3	3,1 – 5,4	4,3

Stężenia izotopu cezu w próbkach wód otwartych pobranych w 2006 r. z dodatkowych punktów kontrolnych położonych w pobliżu ośrodka jądrowego w Świerku i KSOP w Różanie wynosiły:

- rzeka Świder (poniżej i powyżej ośrodka): od 0,8 do 1,0 Bq/m³ (średnio 0,9 Bq/m³),
- wody z oczyszczalni ścieków w Otwocku odprowadzane do Wisły: od 6,8 do 10,7 Bq/m³ (średnio 8,7 Bq/m³),
- rzeka Wisła (Warszawa): 2,4 Bq/m³,
- rzeka Narew (poniżej i powyżej składowiska): od 1,6 do 2,3 Bq/m³ (średnio 1,9 Bq/m³).

Radioaktywność wód przybrzeżnych południowej strefy Bałtyku w 2006 r. kontrolowana była przez pomiary zawartości izotopu Cs-137, Ra-226 oraz izotopu K-40. Średnie stężenia izotopów tych pierwiastków utrzymują się na poziomie ok. 45,9 Bq/m³ dla cezu, 3,4 Bq/m³ dla radu, 2435 Bq/m³ dla potasu.

4. Podsumowanie

Przestrzeganie przepisów przez pracowników ma kluczowe znaczenie dla ochrony ich zdrowia i życia. Należy przy tym pamiętać, że odpady promieniotwórcze są bardzo niebezpieczne. Nawet małe dawki napromieniowania organizmu, lecz rozłożone w czasie, stanowią zagrożenie dla zdrowia. Osoby mające do czynienia z materiałami radioaktywnymi powinny podlegać swoistej samokontroli. Należy organizować szkolenia na temat bezpieczeństwa pracy ze źródłami promieniowania jonizującego. Mieszkańcy i pracownicy powinni znać trzy podstawowe zasady ochrony radiologicznej:

- im krótszy czas przebywania w pobliżu źródła promieniowania, tym mniejsza dawka,
- im dalej od źródła promieniowania, tym bezpieczniej,
- osłona osłabia promieniowanie.

Literatura

1. Derecki J.: *Promieniowanie jonizujące*. PWN, Warszawa 1975.
2. <http://www.atomowe.pl>.
3. Jagielak J., Biernacka M., Grabowski D., Henschke J.: *Zmiany sytuacji radiologicznej środowiska Polski w okresie 10 lat po awarii w Czarnobylu*, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1996.
4. Raport: *Działalność prezesa państwowej agencji atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2006 roku*. Warszawa 2007.
5. Śliwińska E.: *Środowisko fizyczne człowieka*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

RADIOACTIVE CONTAMINATION IN POLAND

S u m m a r y

The paper researches radioactive contamination in Poland of different types of a ground in different regions of the country, air, underground waters, rivers and seas. It resulted in assessment of radioactive contamination and introducing methods to reduce such contamination.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w październiku 2009 r.