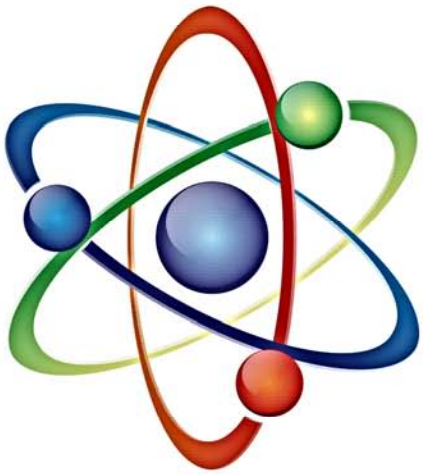
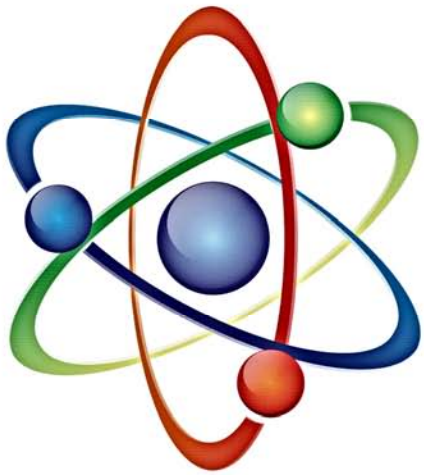
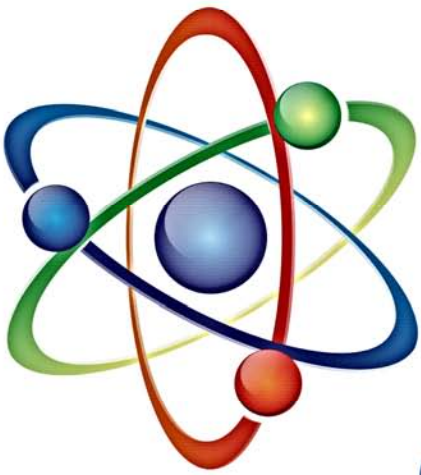
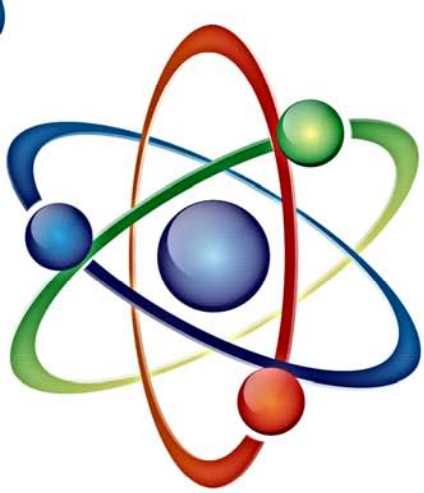
WOJEWÓDZKI INSPEKTORAT OCHRONY ŚRODOWISKA
W RZESZOWIE

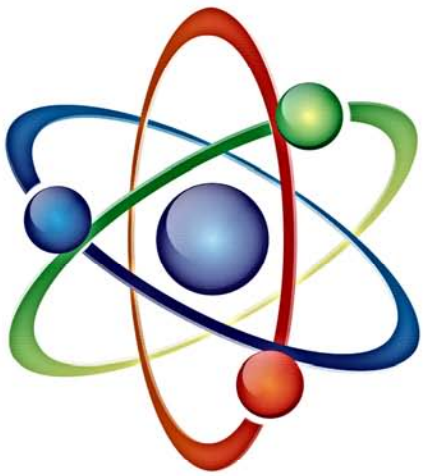






WYNIKI POMIARÓW MONITORINGU PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO NA PODSTAWIE BADAŃ PRZEPROWADZONYCH NA TERENIE WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO W LATACH 2014-2015





RZESZÓW, 2017 r.

Opracowanie:

Ewa Kozak
Wydział Monitoringu Środowiska WIOŚ Rzeszów

Naczelnik Wydziału
Monitoringu Środowiska

mgr Renata Jaroń-Warszyńska

Akceptowała:

Renata Jaroń- Warszyńska
Naczelnik Wydziału Monitoringu Środowiska

Zatwierdził:

Podkarpacki Wojewódzki Inspektor
Ochrony Środowiska

Krystyna Sołek

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE 3

1. NARAŻENIE LUDNOŚCI NA PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE 4

2. MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO 6

3. POMIARY NA STACJACH WCZESNEGO WYKRYWANIA SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH INSTYTUTU METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ (IMGW) 7
   3.1. Promieniowanie gamma w powietrzu 7
   3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu 8
      3.2.1. Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitującego promieniowanie alfa 8
      3.2.2. Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa 9
      3.2.3. Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta 9
   3.3. Globalna aktywność beta opadu całkowitego atmosferycznego 9
      3.3.1. Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego 10
      3.3.2. Globalna aktywność beta wody opadowej 10
      3.3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego 10
   3.4. Stężenie promieniotwórcze cezu Cs-137 i cezu Cs-134 w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego 11
   3.5. Stężenie promieniotwórcze strontu Sr-90 w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego 11
   3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: radu Ra-226, berylu Be-7, aktynu Ac-228, potasu K-40 w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego 12

4. MONITORING PROMIENIOTWÓRCZOŚCI GLEBY 12
   4.1. Stężenia cezu Cs-137 w glebie 14
   4.2. Radionuklidy naturalne – stężenia w glebie 15

5. MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH 19

WNIOSKI 21

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE 22

SŁOWNIK UŻYTYCH POJĘĆ I TERMINÓW 22

WPROWADZENIE

Monitorowanie sytuacji radiacyjnej w Polsce polega na systematycznym prowadzeniu pomiarów mocy dawki promieniowania gamma w określonych lokalizacjach na terenie kraju oraz pomiarów zawartości izotopów promieniotwórczych w głównych komponentach środowiska i produktach spożywczych (w żywności). Zależnie od zakresu wykonywanych zadań można tu wyróżnić dwa rodzaje monitoringu:

- **ogólnokrajowy** – pozwalający na uzyskanie danych niezbędnych do oceny sytuacji radiacyjnej na obszarze całego kraju w warunkach normalnych oraz w sytuacjach zagrożenia radiacyjnego i na tej podstawie badanie długookresowych zmian sytuacji radiacyjnej środowiska, a także produktów żywnościowych;
- **lokalny** – pozwalający na uzyskanie danych z terenów, na których jest (lub była) prowadzona działalność mogąca powodować lokalne zwiększenie narażenia radiacyjnego ludności (dotyczy to ośrodka jądrowego w Świerku, składowiska odpadów promieniotwórczych w Różanie oraz terenów byłych zakładów wydobywczych i przeróbczych rud uranu w Kowarach).

Pomiary wykonywane w ramach monitoringu ogólnokrajowego oraz monitoringu lokalnego prowadzone są przez:

- **stacje pomiarowe,** tworzące system wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych;
- **placówki pomiarowe**, prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych materiałów środowiskowych i żywności;
- **służby jednostek eksploatujących obiekty jądrowe** oraz dozór jądrowy w odniesieniu do monitoringu lokalnego.

Koordynację pracy systemu stacji i placówek pomiarowych w 2015 r., jak w latach poprzednich, wykonywało, w imieniu Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki - Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR).

Kontrolowanie promieniowania jonizującego należy do zadań Państwowej Agencji Atomistyki (PAA). W jej strukturach na wypadek zdarzeń radiacyjnych działa całodobowo Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR), które ma też kontakt z międzynarodowymi systemami wczesnego powiadamiania (USIE - Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i ECURIE – unijnym systemem ostrzegania) oraz z krajowym systemem reagowania kryzysowego. CEZAR dysponuje systemami telemetrycznymi do zbierania danych, które pochodzą z krajowej sieci stacji wczesnego ostrzegania oraz wysokoczułych stacji monitoringu radiologicznego powietrza.

Monitoring skażeń promieniotwórczych w środowisku jest realizowany zgodnie z programem Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) i zaleceniami Komisji Europejskiej, zawartymi w rekomendacji z dnia 8 czerwca 2000 r. dotyczącej art. 35 i 36 Traktatu Euratomu.

Omówienie wyników badań promieniowania jonizującego prowadzonego w ramach PMŚ w latach 2012-2013 na terenie województwa zostało przedstawione w opracowaniu pt „Wyniki pomiarów monitoringu promieniowania jonizującego na podstawie badań przeprowadzonych na terenie województwa podkarpackiego w latach 2012 – 2013” i zamieszczone na stronie internetowej WIOŚ: www.wios.rzeszow.pl w zakładce Publikacje - Opracowania o stanie środowiska - WIOŚ Rzeszów.

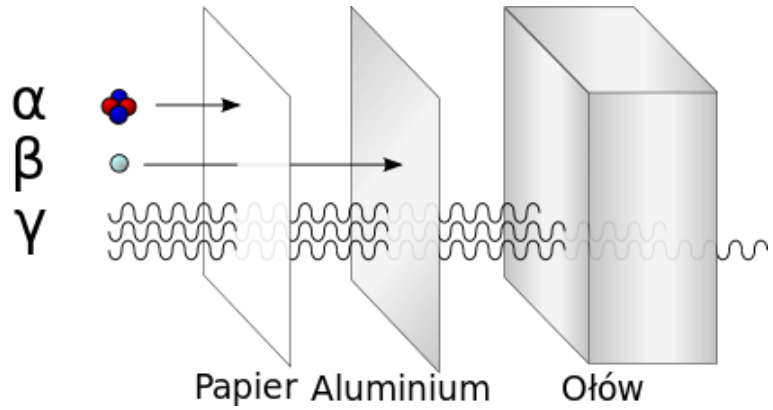
Niniejsze pracowanie stanowi kontynuację prezentowania kolejnych wyników badań monitoringowych promieniowania jonizującego, prowadzonych na terenie województwa z uwzględnieniem obszaru całego kraju.

1. NARAŻENIE LUDNOŚCI NA PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

Promieniowanie jonizujące jest to ten rodzaj promieniowania, który przenikając przez materię powoduje powstawanie w niej ładunków elektrycznych czyli jonizację. Promieniowaniem jonizującym jest np.:

- **α** (alfa) - promieniowanie korpuskularne, składające się z cząstek α będących jądrami helu (składającymi się z dwóch protonów i dwóch neutronów),
- **β** (beta) - promieniowanie korpuskularne, składające się z elektronów swobodnych, tj. nie związanych z atomami,
- γ (gamma) - fala elektromagnetyczna.

Wymienione rodzaje promieniowania w różny sposób przenikają przez materię:



Rys.1.1. Przenikliwość promieniowania jonizującego [5]

Gdy promieniowanie jonizujące przechodzi przez ośrodek materialny, może ono tracić część swej energii, wybić elektron z orbity atomowej. W wyniku tego powstanie swobodny elektron (cząstka o ładunku ujemnym), a pozostała część atomu, pozbawiona elektronu, będzie miała ładunek dodatni - zostanie utworzony jon dodatni. Stąd pochodzi nazwa **„promieniowanie jonizujące”**. Jony powstające w żywej tkance mogą spowodować jej uszkodzenie.

Energie cząstek α (alfa), pochodzących z rozpadów promieniotwórczych znanych radionuklidów sztucznych i naturalnych, nie przekraczają 12 MeV (megaelektronowoltów), a ich średnia energia wynosi ok. 8 MeV. Cząstka alfa o takiej średniej energii przebędzie w powietrzu (gęstość ok. 0,0013 g/cm^3) 6,9 cm, podczas gdy w aluminium (gęstość 2,7 g/cm^3) zaledwie 0,0045 cm. W wodzie, papierze czy tkance ludzkiej, dla których gęstość wynosi ok. 1,0 g/cm^3, droga, na której zostaje utracona cała pierwotna energia cząstek alfa jest rzędu 0,01 cm. Cząstki alfa nie przejdą więc przez kartkę papieru o przeciętnej grubości. Tak krótka droga cząstek alfa w materii powoduje, że mogą one stać się groźne dla organizmu żywego jedynie wtedy, gdy dostaną się do jego wnętrza. To naskórek chroni nas przed „wtargnięciem” cząstek alfa z zewnątrz.

Maksymalne **energie cząstek β (beta),** czyli elektronów, pochodzących z rozpadów promieniotwórczych sięgają 14 MeV, energie średnie nie przekraczają zaś 0,8 MeV. Zasięg cząstek beta w materii jest znacznie dłuższy niż droga cząstek alfa. Preparaty wysyłające cząstki beta będą więc groźne dla organizmu, gdy zostaną wchłonięte drogą pokarmową lub poprzez inhalację. Cząstki β - w przeciwieństwie do cząstek alfa - mogą przeniknąć przez ludzką skórę, której przeciętna grubość waha się od 0,2 mm do 0,5 mm.

Najbardziej przenikliwym promieniowaniem jonizującym jest **promieniowanie γ (gamma),** czyli promieniowanie elektromagnetyczne o energii większej od energii promieni rentgenowskich. Procesy fizyczne, zachodzące przy przechodzeniu promieniowania gamma przez materię, powodują

głównie zmianę jego intensywności. Chociaż maksymalne energie kwantów gamma emitowanych w rozpadach znanych, naturalnych i sztucznych radionuklidów nie przekraczają 6 MeV (są one więc niższe niż energie omówionych wyżej cząstek alfa i beta), to jednak o ich przenikliwości może świadczyć fakt, że płytka z ołowiu o grubości 0,8 cm pochłania zaledwie połowę promieniowania gamma o energii 1 MeV. Ten sam efekt wymaga 10 cm wody i 4 cm betonu. Warstwa ołowiu o grubości 10 cm przepuści ok. 0,02 % strumienia promieniowania gamma o energii 1 MeV. Taką grubość ołowiu można zastąpić przez ok. 40 cm betonu lub ok. 100 cm wody. Możemy więc wykorzystywać te materiały w celu osłonięcia się przed promieniowaniem gamma, które łatwo przenika przez nasze ciało, a jeśli niesie znaczną energię, to może wpłynąć na stan wszystkich naszych narządów wewnętrznych.

Narażenie statystycznego mieszkańca kraju na promieniowanie jonizujące, wyrażone jest jako dawka skuteczna (efektywna) i obejmuje sumę dawek pochodzących od naturalnych źródeł promieniowania i od źródeł sztucznych, tj. wytworzonych przez człowieka.

Pierwszą grupę źródeł narażenia stanowi przede wszystkim promieniowanie jonizujące emitowane przez radionuklidy będące naturalnymi składnikami wszystkich elementów środowiska oraz promieniowanie kosmiczne.

Do drugiej grupy zalicza się wszystkie - wykorzystywane w wielu dziedzinach działalności gospodarczej, naukowej oraz medycynie - sztuczne źródła promieniowania, takie jak promieniotwórcze izotopy pierwiastków i urządzenia wytwarzające promieniowanie, m.in. aparaty rentgenowskie, akceleratory, reaktory jądrowe i inne urządzenia radiacyjne. Narażenie radiacyjne człowieka nie może być całkowicie wyeliminowane, a jedynie ograniczone, nie mamy bowiem wpływu na poziom promieniowania kosmicznego czy zawartość naturalnych radionuklidów w skorupie ziemskiej, istniejących od miliardów lat. Wspomnianemu ograniczaniu podlega natomiast narażenie wywołane sztucznymi źródłami promieniowania jonizującego i ograniczenie to określane jest przez tzw. dawki graniczne (limity), których przestrzeganie - zgodnie z dotychczasową wiedzą - pozwala uniknąć szkodliwych skutków zdrowotnych. Należy przy tym zaznaczyć, że limity te nie obejmują narażenia na promieniowanie naturalne. W szczególności nie obejmują one narażenia od radonu w budynkach mieszkalnych, od naturalnych radionuklidów promieniotwórczych wchodzących w skład ciała ludzkiego, od promieniowania kosmicznego na poziomie ziemi, jak również narażenia nad powierzchnią ziemi od nuklidów znajdujących się w nienaruszonej skorupie ziemskiej. Limity nie obejmują także dawek otrzymanych przez pacjentów w wyniku stosowania promieniowania w celach medycznych oraz dawek otrzymanych przez człowieka podczas zdarzeń radiacyjnych, czyli w warunkach, w których źródło promieniowania nie jest pod kontrolą. Limity narażenia dla osób z ogółu ludności uwzględniają napromieniowanie zewnętrzne oraz napromieniowanie wewnętrzne powodowane radionuklidami, które dostają się do organizmu człowieka drogą pokarmową lub oddechową, i określane są, podobnie jak dla narażenia zawodowego, jako:

- **dawka skuteczna**, obrazująca narażenie całego ciała,
- **dawka równoważna**, wyrażająca narażenie poszczególnych organów i tkanek ciała.

Podstawowym krajowym aktem normatywnym ustanawiającym powyższe limity jest rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (6). Dokument ten stanowi m.in., że dla osób z ogółu ludności dawka graniczna (powodowana przez sztuczne źródła promieniowania jonizującego), wyrażona jako dawka skuteczna (efektywna), wynosi 1 mSv w ciągu roku kalendarzowego. Dawka ta może być w danym roku kalendarzowym przekroczona pod warunkiem, że w ciągu kolejnych pięciu lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy 5 mSv. Ocenia się, że roczna całkowita dawka skuteczna promieniowania jonizującego otrzymywana przez statystycznego mieszkańca Polski od naturalnych

i sztucznych źródeł promieniowania jonizującego (w tym od źródeł promieniowania stosowanych w diagnostyce medycznej) wynosiła w 2015 r. średnio 3,31 mSv, tj. utrzymywała się na poziomie z ostatnich kilku lat.

Narażenie statystycznego mieszkańca Polski w 2015 r. od źródeł promieniowania stosowanych w celach medycznych, głównie w diagnostyce medycznej obejmującej badania rentgenowskie oraz badania in vitro (tj. podawanie pacjentom preparatów promieniotwórczych), szacuje się na 0,860 mSv. Na dawkę tę składają się przede wszystkim dawki otrzymywane przy badaniach, w których stosowano tomografię komputerową (0,33 mSv) oraz radiografię konwencjonalną i fluoroskopię (0,38 mSv). Przy innych badaniach diagnostycznych dawki te są znacznie mniejsze. W badaniach mammograficznych średnia roczna dawka skuteczna przypadająca na statystycznego mieszkańca naszego kraju wynosi 0,02 mSv, przy stosowaniu kardiologicznych procedur zabiegowych 0,08 mSv, natomiast w medycynie nuklearnej 0,05 mSv. Średnia dawka skuteczna przypadająca na jedno badanie rentgenowskie wynosi 1,2 mSv, a dla najczęściej wykonywanych badań wartości te kształtują się następująco: zdjęcia klatki piersiowej – ok. 0,11 mSv, zdjęcia kręgosłupa i prześwietlenia płuc odpowiednio od 3,0 mSv do 4,3 mSv.

Prezes Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) sprawuje nadzoru nad wykonywaniem działalności związanej z narażeniem na promieniowanie jonizujące :

- udziela zezwoleń i podejmuje inne decyzje w sprawach związanych z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną poprzedzone analizą oraz oceną dokumentacji przedkładanej przez użytkowników źródeł promieniowania jonizującego,
- przygotowuje i przeprowadza kontrolę jednostek organizacyjnych wykonujących działalność związaną z narażeniem,
- prowadzi ewidencję tych jednostek.

Liczba zarejestrowanych jednostek organizacyjnych prowadzących działalność (jedną lub więcej) związaną z narażeniem na promieniowanie jonizujące, podlegających zgodnie z ustawą – Prawo atomowe nadzorowi Prezesa PAA, wynosiła 3839 (stan na 31 grudnia 2015 r.).

2. MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Zapisy art. 26 ustawy Prawo ochrony środowiska (2001) włączają w zakres Państwowego Monitoringu Środowiska informacje dotyczące promieniowania jonizującego. Podsystem monitoringu promieniowania jonizującego obejmuje następujące zadania:

- badania zawartości sztucznych izotopów α - oraz β - promieniotwórczych w powietrzu,
- badania stężenia cezu Cs -137 w powietrzu, wodzie i glebie,
- badania stężeń wybranych radionuklidów (cezu, strontu i plutonu) w śródlądowych wodach powierzchniowych i osadach dennych.

Program pomiarowy podsystemu monitoringu promieniowania jonizującego jest realizowany wyłącznie na poziomie krajowym przez wyspecjalizowane jednostki na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. W latach 2014-2015 w ramach zamówień publicznych realizowano następujące zadania:

- wykonywanie pomiarów w 9 stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW,
- monitoring stężenia Cs -137 w glebie (fakultatywnie - naturalnych izotopów promieniotwórczych),
- monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych.

Na 9 stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych nadzorowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), w 2015 r. prowadzone były pomiary mocy

dawki promieniowania gamma na wysokości 1m od podłoża, średnich dobowych aktywności aerozoli powietrza, aktywności beta opadu całkowitego, aktywności Cs -137 i wybranych naturalnych radioizotopów gamma promieniotwórczych oraz aktywności strontu Sr-90 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

Monitoring stężenia Cs -137 w glebie prowadzony jest w 2-letnim cyklu pomiarowym. Pobór prób wykonywany jest w 254 punktach o stałych lokalizacjach na obszarze całego kraju. Próbki gleb są pobrane z warstwy powierzchniowej o grubości 10 cm oraz dodatkowo pobieranych jest 10 próbek z warstwy o grubości 25cm.

Program pomiarowy skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych obejmuje monitorowanie środowiska wodnego pod względem zawartości najważniejszych radionuklidów. Dla rzek i jezior - pomiar stężeń cezu Cs-137 i strontu Sr-90 oraz dla osadów dennych stężeń Cs-137 i izotopów plutonu: Pu-238, Pu - 239, Pu-240. Pobór próbek wody i osadów dennych obejmuje rzeki: Wisłę, Odrę, Bug, Narew i Wartę oraz wody i osady denne z sześciu wybranych jezior na terenie Polski: Wielkie Partęczyny, Drawsko, Wadąg, Rogóźno, Niesłysz, Wigry. Próbki pobierane są dwa razy w roku - w okresie wiosennym i jesiennym.

Wyniki pomiarów i informacje uzyskane w ramach realizacji wyżej wymienionych zadań Główny Inspektor Ochrony Środowiska przekazywał Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki.

3. POMIARY NA STACJACH WCZESNEGO WYKRYWANIA SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH INSTYTUTU METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ (IMGW)

Sieć Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych obejmuje 9 stacji pomiarowych: w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie/Poznaniu**, Lesku**, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

Sieć ta jest częścią systemu oceny sytuacji radiacyjnej kraju, koordynowanego przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

Program pomiarowy dla sieci stacji wykrywania skażeń promieniotwórczych przewiduje następujące pomiary:

- ciągły pomiar mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu na wysokości 1m od podłoża z rejestracją wartości średnich godzinnych i dobowych;
- ciągły pomiar radioaktywności próbek aerozoli powietrza na 7 stacjach sieci, uzgodnionych między stronami, z rejestracją wartości średnich godzinnych i dobowych aktywności emiterów alfa i beta promieniotwórczych oraz aktywności sztucznych emiterów beta promieniotwórczych w aerozolach powietrza;
- pomiary globalnej aktywności beta próbek dobowych i miesięcznych opadu całkowitego w sieci 9 stacji;
- spektrometryczne pomiary aktywności cezu Cs-137 i wybranych naturalnych izotopów gamma-promieniotwórczych w próbkach zbiorczych miesięcznego opadu całkowitego;
- radiochemiczne oznaczanie strontu Sr-90 w próbkach zbiorczych miesięcznego opadu całkowitego.

Sieć stacji IMGW realizuje powyższy program pomiarowy we wszystkie dni tygodnia, łącznie z dniami wolnymi od pracy. Pomiary badanych wielkości są wykonywane zgodnie z metodyką zatwierdzoną przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

3.1. Promieniowanie gamma w powietrzu

Moc dawki promieniowania gamma definiujemy jako ilość energii promieniowania jonizującego przekazana jednostce masy w jednostce czasu. Poziom promieniowania gamma związany

z obecnością izotopów emitujących ten rodzaj promieniowania jonizującego w jednostce czasu określany jest za pomocą mocy dawki.

W 2015 r. wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były w reżimie dobowym na 9 stacjach IMGW-PIB: Warszawa, Gdynia, Mikołajki, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Legnica, Włodawa, Zakopane, **Lesko**. Otrzymane wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od najniższej średniej miesięcznej wartości 71,3 nGy/h uzyskanej w listopadzie na stacji Warszawa do maksymalnej zarejestrowanej w sierpniu w Zakopanem-126,5 nGy/h.

Zbliżone średnie miesięczne uzyskane z wartości dobowych odnotowano odpowiednio na stacjach: Warszawa i Świnoujście (ok. 75 nGy/h), Gdynia i Gorzów Wielkopolski (ok. 86 nGy/h) oraz Mikołajki, Legnica i **Lesko** (ok. 100 nGy/h).

Najniższe średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w skali roku charakteryzowały okolice Warszawy, gdzie średnia roczna dobowa uzyskana ze wszystkich miesięcy wyniosła 75,2 nGy/h. W Mikołajkach oraz w południowej części Polski (Zakopane, **Lesko**) gdzie zazwyczaj występuje podwyższony poziom promieniowania, średnie roczne dobowe czyli średnie z 365 dni dla każdej stacji były na poziomie 101,7; 115,7; 104,4 nGy/h. Biorąc pod uwagę wyniki średnich wartości obliczonych dla poszczególnych miesięcy ze wszystkich stacji, wahały się one w granicy od 86,1 nGy/h do 94,7 nGy/h.

W 2015 r. średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma ze wszystkich stacji-91,5 nGy/h była bardzo zbliżona do wartości odnotowanej w roku 2014 (92,0 nGy/h).

3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

Pochodzenie promieniotwórczości jest związane z oddziaływaniem promieni kosmicznych na jądra atomów gazów w atmosferze oraz z radioizotopami znajdującymi się w skorupie ziemskiej. W wyniku oddziaływania promieni kosmicznych na obecne radioizotopy oraz jądra atmosferycznego azotu, tlenu i argonu powstają nowe izotopy radioaktywne.

Skały skorupy ziemskiej zawierają radiopierwiastki stanowiące trzy tzw. rodziny promieniotwórcze, w których zachodzą szeregi przemian jądrowych jednych atomów w inne. W czasie tych przemian w środkowej części każdego szeregu powstaje radionuklid, który w warunkach atmosferycznych ma postać gazu. Gazami tymi są rad, tor i aktynon należące do grupy gazów szlachetnych. Dzięki postaci gazowej pierwiastki te przedostają się poprzez pory z powierzchni ziemi do atmosfery. Dodatkowo każdy rejon ma inny poziom promieniowania naturalnego z powodu właśnie różnic geologicznych i związanej z tym różnej zawartości izotopów naturalnych w środowisku. I tak np. na terenach górzystych obserwujemy zwiększone naturalne promieniowanie gamma z racji skalnego podłoża oraz otoczenia. Zmienność obserwowanych parametrów pomiarowych zależy również od warunków meteorologicznych.

W 2015 r. na 7 stacjach badawczych w próbkach aerozoli zostały wykonane pomiary poziomu radioaktywności związane z obecnością izotopów pochodzenia naturalnego i sztucznego, emitujących promieniowanie alfa oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta.

3.2.1. Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa

Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych w 2015 r. zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie. Minimalną średnią miesięczną wartością 1,2 Bq/m^3 charakteryzowały się aerozole zbierane w styczniu i marcu na stacji Świnoujście, gdzie najwyższa uzyskana wartość odnotowana dla tej miejscowości w październiku, wynosiła 8,1 Bq/m^3. Najwyższe średnie miesięczne stężenie izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa (26,8 Bq/m^3)

odnotowano w lutym na stacji Zakopane oraz w następnej kolejności w październiku w Mikołajkach (14,8 Bq/m^3), a w grudniu w Legnicy (14,4 Bq/m^3). Wartości średnich rocznych dobowych czyli średnich z 365 dni dla każdej stacji mieściły się w zakresie od 3,3 Bq /m^3 (Świnoujście) do 12,6 Bq/m^3 (Zakopane).

Analizując wszystkie wyniki otrzymane na 7 stacjach stwierdzono, że zdecydowana większość minimalnych stężeń pojawia się w pierwszej połowie roku, zaś maksymalne średnie wartości przypadają na okres jesienno-zimowy.

Średnie wartości stężeń wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z danych uzyskanych na 7 badanych stacjach zmieniały się od wartości 3,7 Bq/m^3 charakteryzującej próbki w kwietniu do wartości obliczonej z danych uzyskanych w październiku-10,1 Bq/m^3.

Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach ***na stacji Lesko*** *występowały w zakresie 3,8-10,7 Bq/m^3, średnia roczna dobowa wyniosła 7,7 Bq/m^3.*

3.2.2. Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa

Na wszystkich stacjach, gdzie prowadzone były pomiary stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa (z wyjątkiem Świnoujścia i Włodawy), odnotowano miesięczne wartości minimalne pozostające powyżej limitów detekcji. Mieściły się one w przedziale od 0,001 Bq/m^3 do 0,011 Bq/m^3. Maksymalna średnia miesięczna wartość (0,599 Bq/m^3) wystąpiła na stacji Zakopane, stosunkowo wysokie wartości pojawiły się w Mikołajkach (0,277 Bq/m^3) i Legnicy (0,243 Bq/m^3), gdzie odnotowano najwyższe średnie wartości dobowe w skali roku.

Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolach ***na stacji Lesko*** *występowały w zakresie 0,001 Bq/m^3-0,031 Bq/m^3 (średnia roczna dobowa 0,015 Bq/m^3).*

3.2.3. Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta

Średnie wartości stężeń izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta na stacji Włodawa, w miesiącach od stycznia do marca pozostawały poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. W pozostałych przypadkach wyniki mieściły się w zakresie od 0,001 Bq/m^3 - średniej miesięcznej zanotowanej we wrześniu na stacji **Lesko** do maksymalnej średniej charakterystycznej dla Zakopanego w lipcu 2015 r.-1,310 Bq/m^3 .

Najwyższe średnie wartości roczne obliczone na podstawie średnich uzyskanych dla wszystkich miesięcy zarejestrowano na stacjach: Zakopane (0,442 Bq/m^3) oraz Gorzów Wlkp. (0,377 Bq/m^3).

Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach ***na stacji Lesko*** *występowały w granicach od 0,001 Bq/m^3 we wrześniu do 0,278 Bq/m^3 w lipcu, a średnia roczna dobowa to 0,130 Bq/m^3.*

3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego

Całkowity opad atmosferyczny (ang. fallout) to całkowity opad mokry i suchy, zawierający cząstki i pyły docierające do powierzchni ziemi z atmosfery, w którym zawieszone są izotopy promieniotwórcze. Globalna aktywność beta opadu całkowitego wynika z obecności izotopów emitujących promieniowanie beta w opadzie atmosferycznym.

3.3.1. Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego

W 2015 r. maksymalne wartości dobowe zmieniały się w dość szerokim zakresie od 3,0 Bq/m^2 na stacjach Gdynia i Świnoujście do ***19,0 Bq/m^2-wartości, która charakteryzowała poziom radioaktywności w Lesku.***

Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera, a średnia suma dobowa dla całego roku (312,8 Bq/m^2) była nieznacznie niższa niż średnia z 2014 r. (315,6 Bq/m^2).

Porównanie średnich wartości rocznych, wyznaczanych na podstawie danych dobowych w 2015 roku wykazało, że najniższy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta (0,3 Bq/m^2) występował w okolicach Świnoujścia i Gdyni, co prawdopodobnie ma związek z częstymi i bardziej intensywnymi wiatrami w strefie nadmorskiej.

Średnia wartość roczna dla wszystkich stacji w 2015 r. (0,9 Bq/m^2) była taka sama jak w roku 2014.

3.3.2. Globalna aktywność beta wody opadowej

Globalną aktywność beta wody opadowej określa się jako aktywność izotopów emitujących promieniowanie beta w całkowitym opadzie dobowym odniesioną do objętości wody opadowej.
Globalna aktywność beta wody opadowej obliczana jest na podstawie aktywności beta dobowych próbek opadu całkowitego tylko wtedy, gdy wysokość opadu danego dnia jest równa lub przekracza 1mm.

W 2015 r. na stacji Świnoujście maksymalna wartość dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej nie przekraczała 1000 mBq/l (817,0 mBq/l). W przypadku pozostałych stacji dobowe wartości maksymalne były znacznie wyższe, dla porównania w Warszawie w lutym wyniosła aż 4168 mBq/l - podczas gdy w ubiegłym roku na tej samej stacji uzyskano wartość prawie o połowę niższą - 2164,0 mBq/l. Minimalne dobowe wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od zaledwie 2 mBq/l w Świnoujściu do 111 mBq/l w Warszawie. Na tych samych stacjach pomiarowych zarejestrowano skrajne średnie wyznaczone dla poszczególnych miesięcy.

W 2015 r. nie stwierdzono znaczących różnic pomiędzy średnimi wartościami aktywności beta wyznaczonymi dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji. Porównując dane z zeszłego roku, średnia roczna na stacjach pomiarowych w 2014 r. była o 39,0 mBq/l niższa niż tegoroczna.

*Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2015 r. **dla stacji Lesko** występowały w granicach od 168 mBq/l w październiku do 621 mBq/l w grudniu, a średnia roczna to 300 mBq/l.*

3.3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego

Całkowita aktywność promieniowania beta w opadzie miesięcznym związana jest, podobnie jak ma to miejsce w przypadku całkowitej aktywności opadu dobowego, z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w próbkach opadu zbieranych w reżimie miesięcznym.

W 2015 r. aktywności promieniowania beta w miesięcznym opadzie atmosferycznym oscylowały w szerokim zakresie od 2 Bq/m^2 do 19 Bq/m^2. Maksymalną wartość w skali roku zarejestrowano w styczniu na stacji Warszawa (19 Bq/m^2), w pozostałych miesiącach aktywność wahała się w przedziale od 6 Bq/m^2 do 12 Bq/m^2 i nie odbiegała od wartości notowanych dla pozostałych stacji.

Podobna sytuacja miała miejsce w poprzednim roku, gdzie najwyższa aktywność promieniowania beta była odnotowana w Warszawie w lutym (24 Bq/m^2). Minimalną wartość 2,0 Bq/m^2 uzyskano na trzech stacjach: Gdynia, Świnoujście, Włodawa, przy czym minimalne wartości wystąpiły w każdym przypadku w lutym. Niskie wartości w Gdyni i Świnoujściu spowodowane są bliskością morza i związanymi z tym warunkami meteorologicznymi np. duża wietrzność.

Średnia roczna aktywność promieniowania beta w Polsce w próbkach opadu całkowitego wynosiła 7,5 Bq/m^2 .

Średnie miesięczne wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w 2015 r. ***dla stacji Lesko*** *występowały w granicach 6,0-17,0 Bq/m^2.*

3.4. Stężenie promieniotwórcze cezu Cs-137 i cezu Cs-134 w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego, o stosunkowo długim okresie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku cezu Cs-137 i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku cezu Cs-134. Ich stężenia promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) oznaczane są w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego pochodzących z 9 stacji i mogą zostać uznane za reprezentatywne dla całego obszaru Polski.

W 2015 r. średnie stężenie Cs-137 w opadzie atmosferycznym wynosiło 0,047 Bq/m^2, natomiast stężenia Cs-134 były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe stężenia Cs-137 odnotowano w okresie od listopada do grudnia (0,012-0,018 Bq/m^2), natomiast najwyższe wystąpiły w marcu (0,148 Bq/m^2) oraz w maju (0,077 Bq/m^2).

Porównanie wyników uzyskanych w 2015 r. z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów dla cezu Cs -137 charakteryzuje się stosunkowo niską prędkością suchej depozycji, dlatego ładunek tego izotopu wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wypłukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym największy dopływ Cs -137 do powierzchni ziemi występuje w okresie wiosenno-letnim, kiedy miesięczne sumy opadów są największe. Roczna suma dopływu Cs -137 w 2015 r. wynosiła 0,559 Bq/m^2 i była o połowę mniejsza od wartości w 2011 r. (1,067 Bq/m^2), kiedy odnotowano podwyższoną depozycję związaną z napływem skażonych mas powietrza znad Fukushimy.

Roczny dopływ Cs -137 wraz z całkowitym opadem atmosferycznym w 2015 r. był nieznacznie większy niż w roku ubiegłym - 0,491 Bq/m^2. Minimalny sumaryczny dopływ Cs -137 przypadał na rok 2013 (0,262 Bq/m^2). W okresie 2000-2015 średnia suma rocznych dopływów Cs -137 osiągnęła wartość 0,590 Bq/m^2.

W przypadku izotopu Cs -134, tylko w roku 2011 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej.

3.5. Stężenie promieniotwórcze strontu Sr-90 w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu Cs-137 i Cs-134 przeprowadzono w 2015 r. pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu Sr-90, który podobnie jak Cs-137 charakteryzuje się stosunkowo długim okresem połowicznego rozpadu (28 lat).

Najniższe stężenie strontu Sr-90 zarejestrowano w lutym i marcu. W obu miesiącach aktywność badanego izotopu była poniżej limitu detekcji (< 0,002 Bq/m^2). Najwyższe aktywności stwierdzono w listopadzie (0,013 Bq/m^2), czerwcu (0,012 Bq/m^2) oraz w styczniu i maju (0,011 Bq/m^2).

W przeciwieństwie do izotopu Cs-137 nie zaobserwowano wyższych aktywności izotopu Sr-90 w miesiącach z wyższą sumą opadów, czego przyczyną może być czterokrotnie wyższa prędkość suchej depozycji Sr-90.

Najwyższe roczne sumy aktywności Sr-90 zmierzono w opadzie całkowitym w latach 2000, 2001 oraz 2013. Wynosiły one odpowiednio: 0,209 Bq/m^2, 0,206 Bq/m^2 i 0,195 Bq/m^2. Roczny dopływ Sr-90 wraz z opadem całkowitym w 2015 r. wynosił 0,092 Bq/m^2 i był to jeden z najniższych ładunków na tle omawianego okresu. Niższą sumaryczną aktywność Sr-90 w całkowitej depozycji zmierzono jedynie w roku 2003 (0,055 Bq/m^2), a od roku 2013 obserwuje się trend spadkowy w ładunku docierającym z opadem atmosferycznym.

3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: radu Ra-226, berylu Be-7, aktynu Ac-228, potasu K-40 w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

W 2015 r., w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego: Ra-226, Be-7, Ac-228 i K-40. Izotop potasu K-40 jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo długim okresem połowicznego rozpadu wynoszącym 1,251x10^9 lat. Rad Ra-226 jest produktem rozpadu w szeregu uranowo – radowym (uran U-238), jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1599 lat. Aktyn Ac-228 jest produktem rozpadu w szeregu torowym (Th-232) z połowicznym czasem 6,13 godziny. Źródłem berylu Be-7, którego okres połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki - 53,3 dni, jest natomiast promieniowanie kosmiczne.

Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się beryl Be-7. Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła 56,1 Bq/m^2 i wahała się w zakresie od 15,4 Bq/m^2 do 109,5 Bq/m^2. Najwyższe miesięczne ładunki tego pierwiastka mierzone były w okresie letnim, a roczny dopływ wynosił 673,6 Bq/m^2.

Aktywność K-40 zmieniała się w zakresie od 1,11 Bq/m^2 do 3,27 Bq/m^2, natomiast roczny dopływ był na poziomie 30,57 Bq/m^2.

W przypadku Ra-226 roczny dopływ o wartości 0,804 Bq/m^2 oscylował w zakresie od 0,031 Bq/m^2 do 0,123 Bq/m^2 - najwyższy ładunek odnotowano w sierpniu.

Roczny dopływ Ac-228 był nieco niższy i wynosił 0,643Bq/m^2, a jego miesięczne ładunki mieściły się w przedziale od 0,029 Bq/m^2 w grudniu do 0,080 Bq/m^2 wartości odnotowanej w sierpniu.

W okresie od 2000 do 2015 r. spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów zmienność sezonową odnotowano jedynie w przypadku Be-7.Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich, co spowodowane było, podobnie jak w przypadku Cs-137 wypłukiwaniem izotopu berylu z atmosfery. W 2015 r. średnie roczne ładunki pierwiastków: K-40 i Ac-228 były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2015), a w przypadku Be-7 i Ra-226 ładunek z 2015 r. był niższy od średniej z badanego okresu.

4. MONITORING PROMIENIOTWÓRCZOŚCI GLEBY

Promieniotwórczość gleby pochodząca od naturalnych i sztucznych izotopów promieniotwórczych wyznaczana jest na podstawie cyklicznych, wykonywanych co dwa lata pomiarów zawartości poszczególnych izotopów promieniotwórczych w próbkach nie uprawianej rolniczo gleby. Punkty poboru zlokalizowane zostały w ogródkach meteorologicznych stacji i posterunków Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. W punktach tych w październiku 2014 r. pobrano łącznie 264 próbki gleby, które objęły warstwy o grubości 10 cm oraz 10 próbek w wybranych punktach z warstwy o grubości 25 cm.

Pomiary stężeń cezu Cs-137 (a także naturalnych izotopów promieniotwórczych) w glebie są bardzo ważnym elementem Państwowego Monitoringu Środowiska - pozwalają na wychwycenie zmian związanych z pojawieniem się dodatkowych skażeń na terenie naszego kraju.

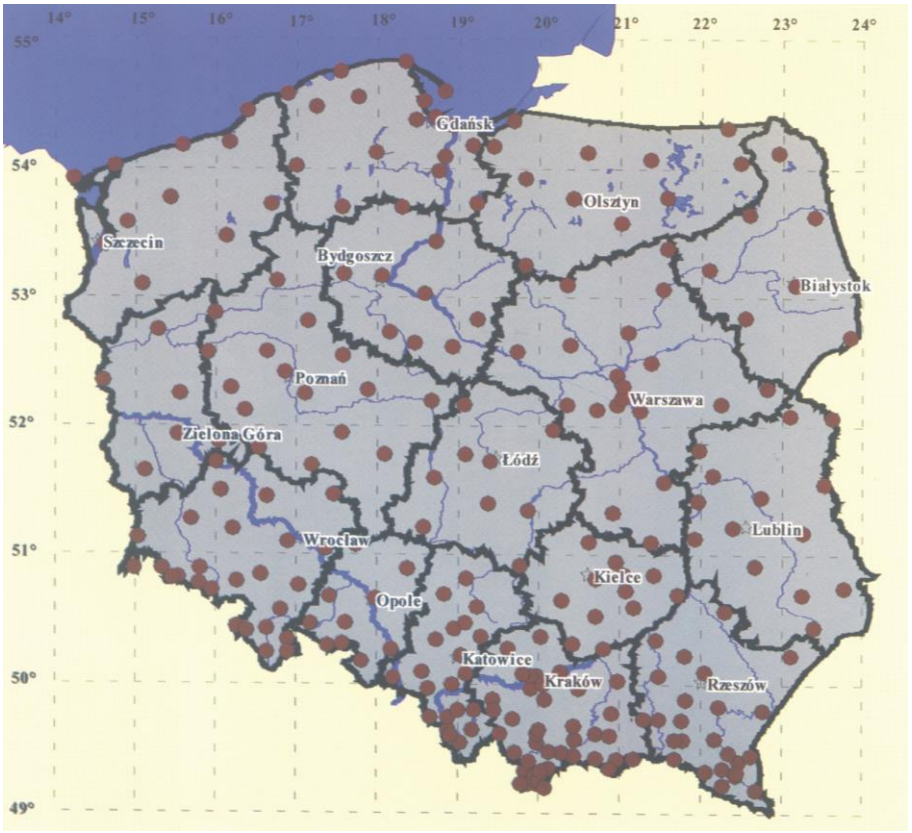
Z terenu województwa podkarpackiego w 2014 r. pobrano 24 próbki gleby z warstwy o grubości 10 cm, w przekrojach pomiarowo-kontrolnych zlokalizowanych w miejscowościach: Jasło, Iwonicz Zdrój, Dukla, Krosno, Żarnowa, Barwinek, Komańcza, Solina Jawor, Baligród – Mchowa, Terka, Sakowczyk, Stuposiany, Brzegi Dolne, Dynów, Sanok – Trepcza, Lesko, Przemyśl, Rzeszów Jasionka, Zawada, Chorzelów, Jarocin, Kolbuszowa, Żebracze i Cieszanów.

W tab. 4.1 zestawiono wyniki oznaczeń stężeń radioizotopu Cs-137 oraz radionuklidów naturalnych: Ra-226, Ac-228 i K-40 w próbkach gleby pobranych na terenie województwa podkarpackiego w październiku 2014 r.

Tab. 4.1. Wyniki oznaczeń stężeń radioizotopu Cs-137 oraz radionuklidów naturalnych: Ra-226, Ac-228 i K-40 w próbkach gleby pobranych na terenie województwa podkarpackiego w 2014 r.

Numer punktu (wg CLOR)	**Miejscowość**	**Stężenie**			
		Radionuklidu			**Radioizotopu Cs-137 [kBq/m^2]**
		Ra-226 [Bq/kg]	**Ac-228 [Bq/kg]**	**K-40 [Bq/kg]**	
2	Jasło	63,7	35,5	507	1,05
4	Iwonicz Zdrój	39,9	43,9	694	0.5
5	Dukla	24,3	14,9	219	0,23
8	Krosno	37,3	37,5	522	0,46
9	Żarnowa	61,8	41,3	499	0,9
10	Barwinek	37,3	39,5	480	1,2
11	Komańcza	48,8	42,6	507	1,17
13	Solina - Jawor	40,3	41,1	575	0,54
15	Baligród - Mchawa	78,9	42,5	555	0,80
16	Terka	72,0	37.8	484	0,58
17	Sakowczyk	43,2	39,4	613	1,05
20	Stuposiany	50,3	28,9	276	1,13
21	Brzegi Dolne	49,3	28,5	380	0,91
28	Dynów	72,7	46,0	585	0,58
37	Sanok - Trepcza	74,4	41,9	599	0,56
39	Lesko	64,8	36,6	497	0,46
61	Przemyśl	53,4	31,1	378	0,52
70	Rzeszów Jasionka	18,8	10,8	215	0,23
73	Zawada	32,5	35,1	502	0,44
76	Chorzelów	6,7	6,7	199	1,46
95	Jarocin	4,6	3,9	120	0,38
100	Kolbuszowa	12,7	12,0	219	0,25
355	Żubracze	61,0	32,5	352	1,12
369	Cieszanów	42,7	23,5	331	0,47

W pobranych próbkach gleby zmierzone zostały stężenia Cs-137 oraz radionuklidów naturalnych: Ra-226, Ac-228 i K-40. Badania próbek gleb przeprowadzone zostały w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej i miały na celu określenie aktualnego rozkładu terytorialnego dla obszaru całej Polski depozycji Cs-137 oraz stężeń radionuklidów naturalnych dla powierzchniowej warstwy gleby.



Rys. 4.1. Rozmieszczenie punktów poboru próbek gleby na terenie Polski [3]

4.1. Stężenia cezu Cs-137 w glebie

Wyniki przeprowadzonych pomiarów wykazały, że stężenia radioizotopu Cs-137 w glebie na terenie województwa podkarpackiego zawierały się w 2014 r. granicach od 0,23 kBq/m^2 (Dukla) do 1,46 kBq/m^2 (Chorzelów). Wartość średnia stężenia dla województwa to 0,71 kBq/m^2 (rys.4.1.1.).

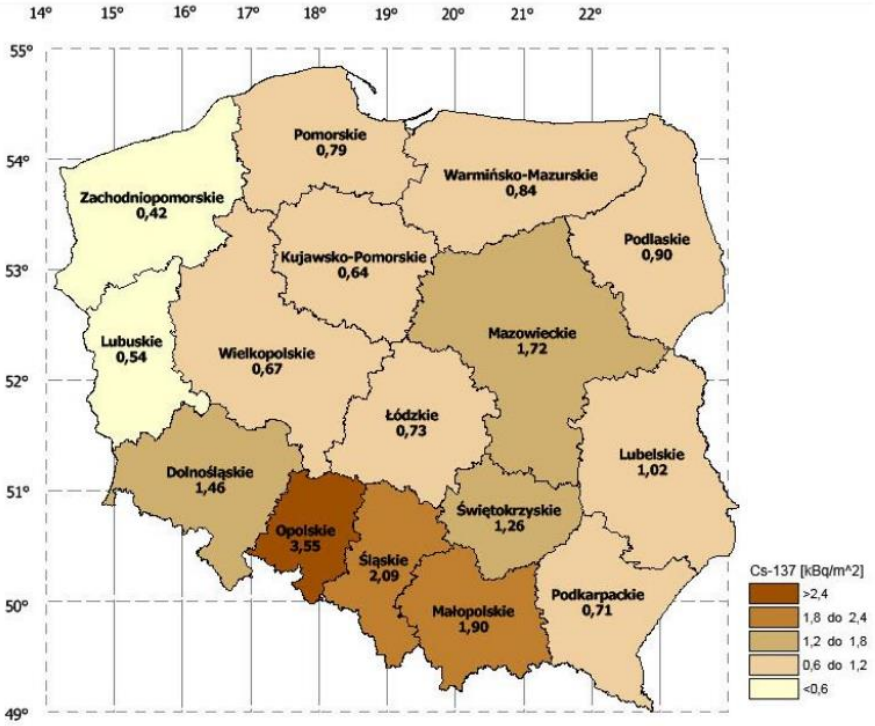
W Polsce najwyższe poziomy wartości średniej stężenia Cs-137 występowały w województwach: opolskim (3,55 kBq/m^2), śląskim (2,08 kBq/m^2) i małopolskim (1,90 kBq/m^2).

Najniższe wartości średnie stężeń Cs-137 charakteryzowały województwa: zachodniopomorskie (0,42 kBq/m^2), lubuskie (0,54 kBq/m^2), kujawsko-pomorskie (0,64 kBq/m^2) i wielkopolskie (0,67 kBq/m^2).

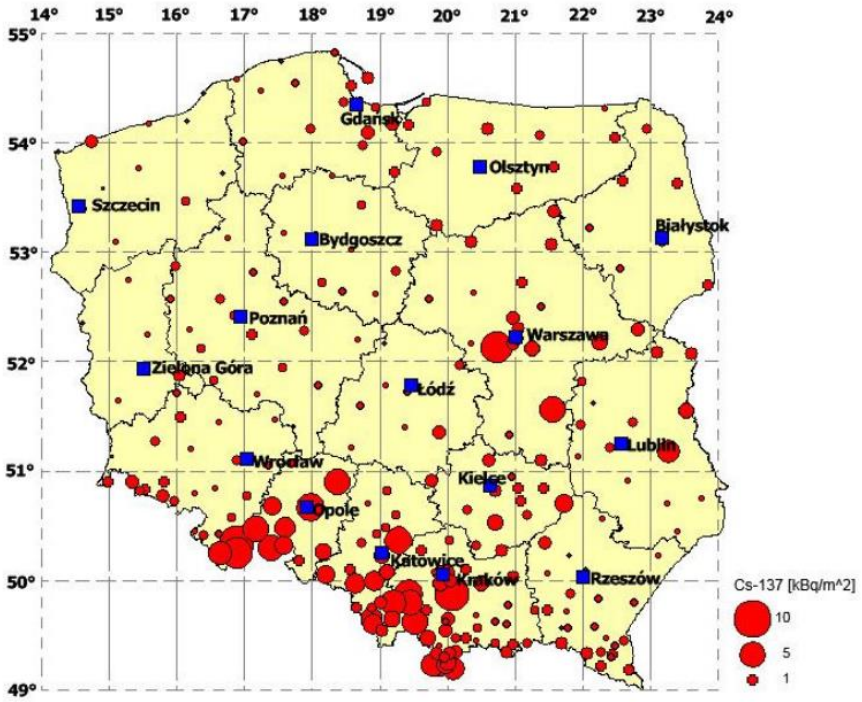
Stężenie powierzchniowe Cs-137 w glebie zawierało się dla Polski w granicach od 0,05 kBq/m^2 do 8,62 kBq /m^2, przy wartości średniej 1,33 kBq/m^2 (rys. 4.1.2.). Depozycja Cs-137 dla prawie 80% badanych próbek (dla 200 próbek), pobranych z warstwy (0-10) cm gleby nie przekracza wartości 1,5 kBq/m^2.

Maksymalne wartości depozycji Cs-137 określanych w kBq/m^2 otrzymano dla próbek gleby pobranych w miejscowościach: Lądek Zdrój (woj. dolnośląskie) - 8,62 kBq/m^2; Dobczyce (woj. małopolskie) - 8,44 kBq/m^2; Bolesławów (woj. dolnośląskie) - 7,72 kBq/m^2; Brwinów (woj. Mazowieckie) - 7,24 kBq/m^2.

Minimalne wartości, odpowiednio dla miejscowości: Zgorzelec (woj. dolnośląskie) - 0,05 kBq/m^2; Goleniów (woj. zachodniopomorskie)-0,15 kBq/m^2; Opiesin (woj. łódzkie)-0,21 kBq/ m^2; Sobieszyn (woj. lubelskie)-0,23 kBq/m^2.



Rys.4.1.1. Rozkład średnich stężeń Cs-137 [kBq/m^2] w województwach na obszarze Polski dla gleby pobranej w październiku 2014 r. [3]



Rys.4.1.2 Powierzchniowe stężenie (depozycja) Cs-137 w punktach poboru w [kBq/m^2] w próbkach gleby pobranej w październiku 2014 r. [3]

4.2. Radionuklidy naturalne - stężenia w glebie

Rad Ra-226

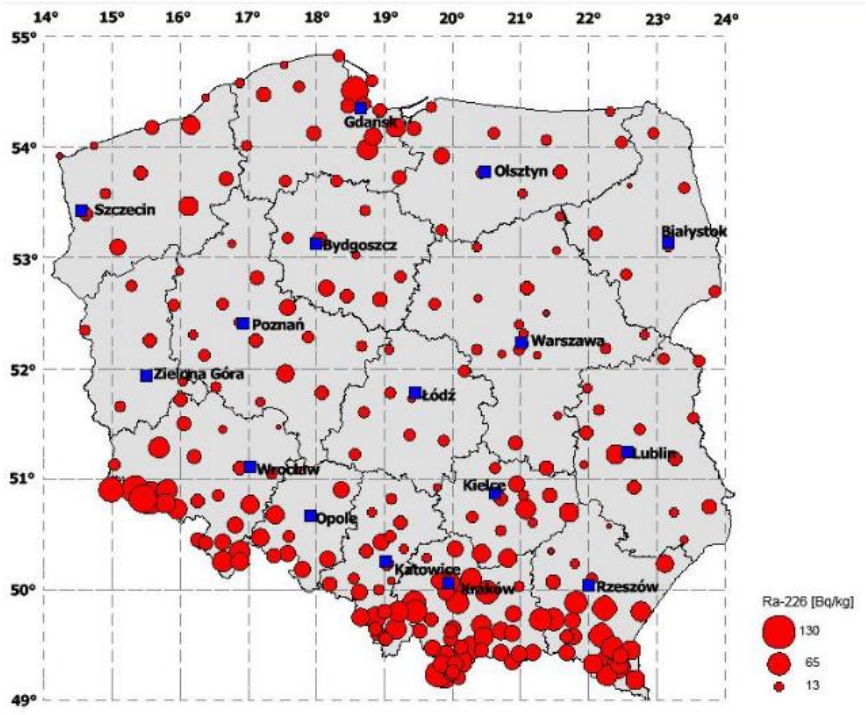
W przyrodzie występują cztery izotopy promieniotwórcze radu: Ra-226, Ra-228, Ra-224 i Ra- 223. Najbardziej rozpowszechnione i najbardziej radiotoksyczne są dwa z nich: Ra-226 i Ra-228.

Rad Ra-226 należy do szeregu uranowo-radowego, jest emiterem promieniowania α i γ, a okres jego połowicznego rozpadu wynosi 1600 lat. Ze względu na długi okres połowicznego rozpadu i rodzaj emitowanego promieniowania, izotop ten był przedmiotem wielu badań. W wyniku oddziaływań zjawisk atmosferycznych, sejsmicznych, hydrogeologicznych, biologicznych oraz działalności człowieka, Ra-226 zawarty w skorupie ziemskiej przedostaje się do biosfery i jest obecny w wodach, w powietrzu atmosferycznym, w glebie oraz we wszystkich organizmach żywych. W normalnych warunkach jego zawartość w środowisku człowieka jest mała i ściśle związana z zawartością uranu U-238 - pierwiastka macierzystego. Wydobywanie rud uranowych i innych kopalin oraz ich przetwarzanie i użytkowanie, a także stosowanie nawozów fosforowych o zwiększonej ilości radu, powoduje wzrost zawartości radu w glebie, wodach gruntowych i powierzchniowych oraz w szacie roślinnej i faunie. Rad Ra-226 włącza się do łańcucha pokarmowego człowieka. Z gleby przechodzi do roślin, a do organizmów zwierzęcych z pokarmem roślinnym, zawierającym zarówno rad pobierany przez rośliny, a także rad osadzony na liściach i łodygach. Do organizmu człowieka rad dostaje się z artykułami żywnościowymi pochodzenia roślinnego, zwierzęcego i z wodą. Około 80% Ra-226 pobranego przez osoby dorosłe drogą pokarmową jest wydalane z kałem, a ok. 20% przechodzi do krwi, a następnie do tkanek. Rad-226 kumuluje się przede wszystkim w kościach.

Maksymalne wartości oznaczonych stężeń Ra-226 w glebie w 2014 r. wynosiły odpowiednio: w Szklarskiej Porębie: S_{Ra}=128,0 Bq/kg, na Hali Ornak: S_{Ra}=99,3 Bq/kg, w Jakuszycach: S_{Ra}=95,8 Bq/kg, w Świeradowie Zdroju: S_{Ra}=92,4 Bq/kg.

Maksymalna wartość stężenia Ra-226 w województwie podkarpackim stwierdzono w miejscowości Baligród-Mchawa (S_{Ra} = 78,8 Bq/kg).

Minimalne stężenia Ra-226 w Polsce oznaczono w próbkach gleby pochodzących z: **Jarocina (woj. podkarpackie): S_{Ra}=4,6 Bq/kg,** Biebrzy (woj. podlaskie): S_{Ra}=5,5 Bq/kg, Grabownicy (woj. dolnośląskie): S_{Ra}=6,3 Bq/kg, **Chorzelowa (woj. podkarpackie): S_{Ra}=6,7 Bq/kg.**



Rys.4.2.1. Stężenie Ra-226 w punktach poboru (w Bq/kg), w próbkach gleby pobranej w październiku 2014 r. [3]

Zdecydowanie większe stężenia radionuklidu Ra-226 występują na południu Polski (szczególnie w woj. dolnośląskim). Taki rozkład stężeń Ra-226 ma związek z budową geologiczną kraju. Największe w Polsce stężenia uranu w warstwie powierzchniowej gleby występują w Sudetach, gdzie wyróżnia się blok karkonosko - izerski, na terenie którego znajdują się wymienione miejscowości z woj. dolnośląskiego. Wartość koncentracji uranu w glebie, która średnio dla Polski wynosi 1,1 ppm w poszczególnych punktach bloku karkonosko - izerskiego przekracza nawet 13 ppm.

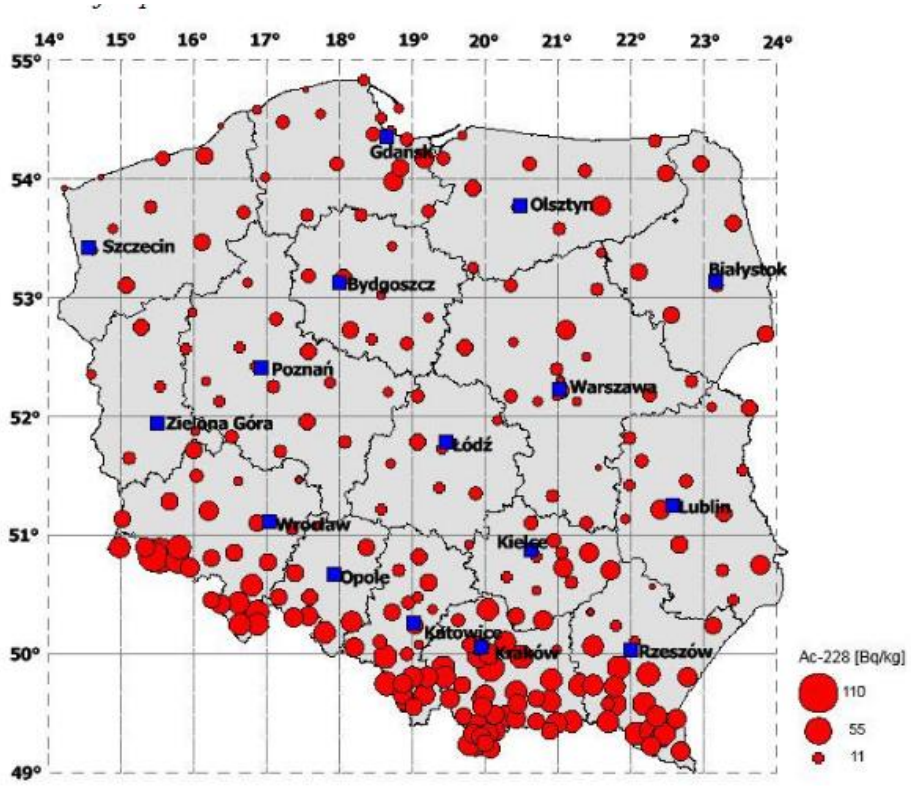
Aktyn Ac-228

Aktyn Ac-228 jest produktem rozpadu w szeregu torowym. Najtrwalszymi izotopami aktynu są: Ac-227 (powstający po rozpadzie uranu U-235) o czasie połowicznego rozpadu około 22 lat, oraz Ac-228 (powstający z rozpadu toru Th-232, $T_{1/2}$=6,13 h). Aktyn, wraz z produktami swojego rozpadu, jest silnym źródłem promieniowania alfa i neutronowego.

Maksymalne dla naszego kraju stężenia Ac-228 zmierzono w próbkach gleby pochodzących z Polski południowej. Maksymalne stężenia Ac-228 zmierzono w próbkach gleby pobranej: w Szklarskiej Porębie (woj. dolnośląskie): S_{Ac}=91,4 Bq/kg, w Jakuszycach (woj. dolnośląskie): S_{Ac}=65,4 Bq/kg, w Dobczycach (woj. małopolskie): S_{Ac}=59,3 Bq/kg, w Karpaczu (woj. dolnośląskie): S_{Ac}=50,4 Bq/kg.

Minimalne stężenia Ac-228 w Polsce zmierzono w próbkach gleby pobranych: w Biebrzy (woj. podlaskie): S_{Ac}=2,4 Bq/kg, w Świnoujściu (woj. zachodniopomorskie): S_{Ac}=3,5 Bq/kg, **w Jarocinie (woj. podkarpackie): S_{Ac}=3,9 Bq/kg,** w Łebie (woj. pomorskie): S_{Ac}=4,3 Bq/kg.

Minimalne stężenie radionuklidu Ac-228 w województwie podkarpackim stwierdzono w próbce gleby pobranej w miejscowości ***Jarocin (S_{Ac}=3,9 Bq/kg)*** natomiast *maksymalne w miejscowości* ***Dynów (S_{Ac}=46,0 Bq/kg).***



Rys. 4.2.2. Stężenie Ac-228 w punkach poboru (w Bq/kg)w próbkach gleby pobranej w październiku 2014 r. [3]

Z rozkładu stężeń aktynu Ac-228, radionuklidu pochodnego toru Th-232, przedstawionego na rys.4.2.2. wynika, że podobnie jak w przypadku Ra-226 większymi stężeniami charakteryzują się tereny Polski południowej. Średnia koncentracja toru dla obszaru całego kraju wynosi 2,2 ppm, podczas gdy w Karpatach i Sudetach występują koncentracje nawet powyżej 10 ppm.

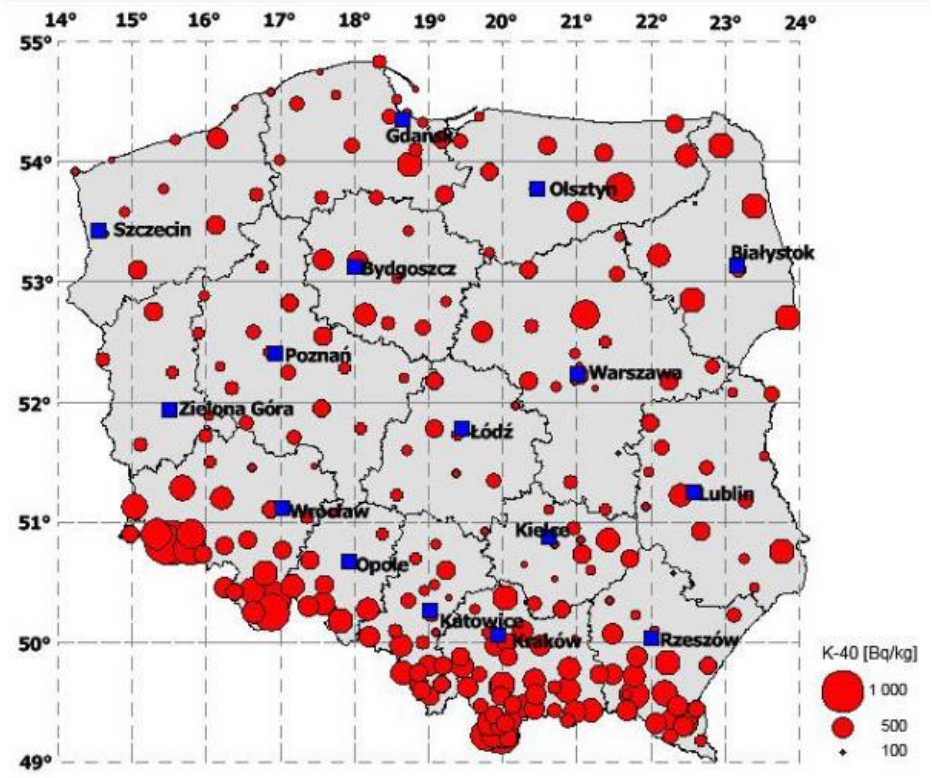
Potas K-40

Naturalny potas posiada trzy izotopy: dwa stabilne (K-39 i K-41) oraz jeden niestabilny izotop promieniotwórczy K-40. Izotop potasu K-40 ulega rozpadowi promieniotwórczemu na wapń Ca-40 emitując promieniowanie β o energii E_{max}=1,33 MeV (88% promieniowania) oraz na promieniotwórczy gaz argon Ar-40 (12% promieniowania) w wyniku wychwytu elektronu i towarzyszącej mu emisji promieniowania gamma o energii E = 1,46 MeV.

Maksymalne stężenia K-40 zarejestrowano w: w Szklarskiej Porębie (woj. dolnośląskie): S_K=1065 Bq/kg, w Lądku Zdroju (woj. dolnośląskie): S_K=957 Bq/kg, w Jakuszycach (woj. dolnośląskie): S_K=939 Bq/kg, w Bolesławowie (woj. dolnośląskie): S_K=899 Bq/kg.

Natomiast najniższe stężenia K-40 w Polsce zmierzono w próbkach gleby pobranych: w Biebrzy (woj. podlaskie): S_K=45 Bq/kg, w Kozienicach (woj. mazowieckie): S_K=111 Bq/kg, **w Jarocinie (woj. podkarpackie): S_K=120 Bq/kg,** w Szańcu (woj. świętokrzyskie): S_K=133 Bq/kg.

*W województwie podkarpackim stężenie radionuklidu K-40 występowało w zakresie od **120 Bq/kg w Jarocinie** do **694 Bq/kg w Iwoniczu Zdroju.***



Rys. 4.2.3.Stężenie K-40 w punktach poboru (w Bq/kg) w próbkach gleby pobranej w październiku 2014 r. [3]

Stężenia potasu K-40 charakteryzują się większą jednorodnością rozkładu na terenie Polski. W przypadku tego radionuklidu można zaobserwować pewne prawidłowości, związane z występowaniem w glebach potasu naturalnego. Średnia zawartość potasu naturalnego w glebach na obszarze Polski wynosi 0,68%. Wartość maksymalna natomiast 2,8%. Najwyższe zawartości,

związane najczęściej z masywami granitowymi oraz pokrywami lessowymi, obserwuje się w Sudetach, Karpatach i Polsce północno-wschodniej.

Rozkład naturalnych radionuklidów: Ra-226, Ac-228 oraz K-40 w powierzchniowej warstwie gleby w Polsce jest zgodny z budową geologiczną kraju, co potwierdzają wyniki badań gleby otrzymane dla poszczególnych województw.

5. MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH

Promieniotwórczość wód i osadów dennych określana jest na podstawie oznaczania wybranych radionuklidów sztucznych i naturalnych w próbkach pobieranych w stałych miejscach kontrolnych. Badania mają na celu systematyczną kontrolę stężeń cezu Cs-137 i strontu Sr-90 w wodach rzek i jezior oraz cezu Cs-137 i izotopów plutonu: Pu-238, Pu-239 i Pu-240 w ich osadach dennych.

W ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2015 r. pobrano dwukrotnie w sezonie wiosennym i jesiennym (próbki wody i osadów dennych w 18 punktach zlokalizowanych: w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu Odry (5 punktów poboru) i w wybranych jeziorach (6 jezior). W pobranych próbkach wykonano analizy Cs-137 i Sr -90 w wodach oraz Cs-137, Pu-238, Pu-239 i Pu-240 w osadach dennych.

Cs-137 w wodach badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza

Średnie stężenia promieniotwórczego Cs-137 w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,36 mBq/l w Wiśle (Płock) do 3,78 mBq/l w Odrze (Wrocław). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych Cs-137 dla dorzecza Wisły mieścił się w przedziale od 1,36 (Wisła, Płock) do 3,08 mBq/l (Bug, Wyszków) a dla dorzecza Odry od 2,09 (Warta, Poznań) do 3,78 mBq/l (Odra, Wrocław).

Sr-90 w wodach badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza

Najniższą wartość stężenia promieniotwórczego Sr-90 odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Bugu w Wyszkowie - 1,87 mBq/l, najwyższą zaś w próbce wody pobranej również jesienią z Wisły w Krakowie - 6,61 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze Sr-90 w wodach badanych rzek wahało się od 2,74 mBq/l w wodzie z Bugu (Wyszków) do 5,01 mBq/l w wodzie pobranej z Odry w Głogowie. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych Sr-90 jest bardzo zbliżony dla obu dorzeczy i wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 2,74-4,93 mBq/l, dla dorzecza Odry od 2,92-5,01 mBq/l.

Cs-137 w wodach badanych jezior

Oznaczone stężenia promieniotwórcze Cs-137 w wodach jezior w okresie jesiennym mieściły się w granicach od 1,23 mBq/l w jeziorze Wigry do 4,87 mBq/l w jeziorze Rogóźno. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych Cs-137 wynosił od 1,87 mBq/l w jeziorze Drawsko do 4,32 mBq/l w jeziorze Rogóźno. Podobnie jak w latach ubiegłych, najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego Cs-137 zarówno wiosną jak i jesienią zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóźno. Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora. Jezioro Rogóźno nie jest jeziorem przepływowym, a to może powodować kumulację badanych nuklidów.

Sr-90 w wodach badanych jezior

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego Sr-90 odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Rogoźno - 9,01 mBq/l, najniższą zaś w próbce wody pobranej również jesienią z jeziora Wigry - 1,87 mBq/l.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze Sr-90 wodach badanych jezior wahało się od 2,04 mBq/l w wodzie z jeziora Wigry do 8,18 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóźnie. Podobnie jak w przypadku Cs-137, najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego Sr-90 zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóźno.

Cs-137 w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza

Najniższe stężenie promieniotwórcze Cs-137 było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Odry w Krajniku (0,33 Bq/kg). Najwyższe stężenie promieniotwórcze Cs-137 było oznaczone również wiosną w osadzie pobranym z Odry w Głogowie (15,02 Bq/kg). Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,37 Bq/kg do 9,41 Bq/kg i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Odrze w Krajniku i na Narwi w Pułtusku. Zawartości Cs-137 otrzymywane dla większości punktów wiosną są od 2 do 5 razy wyższe niż jesienią.

Pu-238 i Pu-239, Pu-240 w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza

Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych plutonu Pu-239 oraz plutonu Pu-240 w osadach dennych zawierają się w granicach od 3,95 mBq/kg w osadzie z Odry (Krajnik) do 39,94 mBq/kg również w osadzie z Odry (Wrocław). Stężenie promieniotwórcze plutonu Pu-238 w osadach dennych (podobnie jak w roku ubiegłym) było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg).W przypadku dorzeczy Wisły i Odry Pu-238 został oznaczony tylko w jednej z 24 pobranych próbek osadów, a był to osad pobrany wiosną w Wyszkowie (3,73±1,07 mBq/kg).

Cs-137 w osadach dennych badanych jezior

Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 1,27 Bq/kg w osadzie pobranym z jeziora Wadąg do 27,13 Bq/kg w osadzie pobranym w Rogóźnie. Najniższe stężenie Cs-137 (1,26 Bq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Wadąg, a największe (42,73 Bq/kg) w osadzie wiosennym z jeziora Rogóźno. Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczego Cs-137 (jak i pozostałych badanych izotopów).

Pu-238 i Pu-239 oraz Pu-240 w osadach dennych badanych jezior

Najniższe stężenie plutonu Pu-239 oraz Pu-240 (3,85 mBq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Drawsko a największe (179,17 mBq/kg) w osadzie z jeziora Rogóźno. Średnie roczne stężenie Pu-239 i Pu-240 w osadach dennych zawierało się w granicach od 4,55 mBq/kg w jeziorze Myki do 109,38 mBq/kg w jeziorze Rogóźno.

Stężenie Pu-238 w osadach dennych było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg).

Na terenie województwa podkarpackiego nie zlokalizowano przekrojów pomiarowo-kontrolnych pomiaru skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych.

WNIOSKI

1. Pomiar stężeń cezu Cs-137 (a także naturalnych izotopów promieniotwórczych) w glebie jest bardzo ważnym elementem Państwowego Monitoringu Środowiska – pozwala na wychwycenie zmian związanych z pojawieniem się dodatkowych skażeń promieniotwórczych na terenie naszego kraju.
2. Jak wynika z dotychczasowych badań, w oparciu o pobierane w cyklu dwuletnim próbki gleby, średnie stężenie Cs-137 w powierzchniowej warstwie gleby w Polsce jest ciągle powyżej 1 kBq/m^2 i wynosi 1,33 kBq/m^2 (dane dla próbek pobranych jesienią 2014 r.), a więc nadal istnieje konieczność prowadzenia badań monitoringowych stężeń cezu Cs-137 w glebie.
3. Wyniki badań przeprowadzonych w 2015 r. wykazały, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska, a skażenie wód powierzchniowych takimi nuklidami jak Cs-137 i Sr-90 jest niewielkie. Zawartość Cs-137 oraz Pu-239 i Pu-240 w osadach dennych rzek i jezior utrzymywała się na niskim poziomie.
4. Przeprowadzone badana wykazały, że poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery związany z obecnością izotopów promieniotwórczych sztucznych i naturalnych w 2015 r. nie odbiegał w sposób znaczący od poziomu, który obserwowano w poprzednich latach.
5. Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2015 r. wynosiła 91,5 nGy/h i była niższa od obserwowanej w roku 2014 o 0,5 nGy/h.
6. W 2015 r. średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o 0,2 Bq/m^3 niższe niż w 2014 roku i wynosiło 7,2 Bq/m^3.
7. Stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie alfa i beta w aerozolach zawieszonych w powietrzu, zarówno pochodzenia naturalnego, jak i sztucznego pozostały na poziomie zbliżonym do lat poprzednich. Są to niskie, naturalne wartości nie stanowiące zagrożenia.

MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

1. *Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych". IMGW, Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Morski w Gdyni. Etap I Raport przedstawiający wyniki i analizy za rok 2015. Gdynia 2016.*
2. *Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2013 -2015 Etap III. Raport roczny. Rok 2015.CLOR, listopad 2015.*
3. *Monitoring stężenia Cs-137 w glebie w latach 2014 -2015. Raport roczny dotyczący trzeciego etapu pracy, CLOR, Zakład Dozymetrii.*
4. *Raport Prezesa PAA za 2015 rok.*
5. *https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_jonizuj%C4%85ce (dostęp: 7.02.2017)*
6. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2005 r. Nr 20, poz. 168).*

SŁOWNIK UŻYTYCH POJĘĆ I TERMINÓW

Promieniowanie jonizujące *– promieniowanie alfa, beta, gamma lub X wywołujące skutki fizyczne w materii.*

Promieniowanie alfa*, cząstki alfa – jądra atomu helu powstałe podczas reakcji jądrowych.*

Promieniowanie gamma i X *– fale elektromagnetyczne o częstotliwości rzędu* 10^{18} *Hz.*

Aktywność *– ilość rozpadów jądrowych na sekundę.*

Bq *– (czyt. Bekerel), jednostka rozpadu promieniotwórczego, która informuje o rozpadzie jednego jądra atomu w ciągu sekundy; służy do określania stopnia radioaktywności danego izotopu, np. 10 Bq oznacza 10 rozpadów jąder w ciągu sekundy.*

Moc dawki promieniowania gamma *– ilość energii promieniowania jonizującego przekazana jednostce masy w jednostce czasu (J/kg*s – dżul na kilogram na sekundę).*

Dawka promieniowania *– ilość promieniowania jonizującego pochłonięta w jednostce masy, mierzymy w J/kg.*

Elektronowolt (eV) *– jednostka energii stosowana w fizyce. Jeden elektronowolt jest to energia, jaką uzyskuje bądź traci elektron, który przemieścił się w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1 woltowi; 1MeV (megaelektronowolt) =* 10^6 *eV.*

Jednostka podstawowa mocy dawki to Gy/h *(grej na godzinę); jest to działanie przez 1 godzinę promieniowania gamma o energii 1J na kilogram.*

Sv/h *(Siwert na godzinę) – zamiennik Gy/h. Sv/h odnosi się defektów na materię żywą. Dla promieniowania gamma Sv/h=Gy/h.*

Izotop, nuklid *– odmiany tego samego pierwiastka różniące się liczbą neutronów w jądrze.*

Radioizotop, radionuklid, radioaktywne izotopy *- nuklidy ulegające samorzutnemu rozpadowi na inne pierwiastki.*

Opad całkowity *– opad radioizotopów promieniotwórczych na powierzchnię ziemi, jednostka to* Bq/m^2.

Aerozole powietrza *– płynne i stałe radioaktywne cząstki zawierające radioizotopy znajdujące się lub zawieszone w powietrzu; jednostka to* Bq/m^3.

ECURIE (European Community Urgent Radiological Information Exchange) – *unijny system wczesnego powiadamiania i wymiany informacji o zagrożeniach radiologicznych bądź nuklearnych.*

USIE (Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies) *– Zintegrowany System Wymiany Informacji o Zdarzeniach i Sytuacjach Awaryjnych*