



**INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
CENTRUM MONITORINGU KLIMATU POLSKI**



WYKONYWANIE POMIARÓW W SIECI WCZESNEGO WYKRYWANIA SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH W LATACH 2013 - 2015

ETAP II RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI ZA ROK 2013



Dofinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej

Praca wykonana na podstawie Umowy z GIOŚ nr 13/F/2013 finansowanej ze środków NFOŚiGW wg Umowy z GIOŚ nr 860/2012/Wn-50/MN-PO-D z dnia 7.12.2012 r. o realizację zadania państwowej jednostki budżetowej zakwalifikowanej do dofinansowania.

Mgr inż. Anna Śliwińska
Mgr Andrzej Czuryłowski
Dr inż. Tamara Zalewska
Mgr Paweł Miszczuk

Spis treści

1. Cel i zakres pracy
2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych
 - 2.1. Pobór i przygotowanie próbek
 - 2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewnienia jakości pomiarów
3. Wyniki i omówienie wyników z 2013 roku i w odniesieniu do okresu 2000-2012
 - 3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu
 - 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu
 - 3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa
 - 3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa
 - 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta
 - 3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego
 - 3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego
 - 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej
 - 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.4. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.5. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac , ^{40}K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
4. Podsumowanie
5. Wnioski

1. Cel i zakres pracy

Pomiary radioaktywności w atmosferze prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy stanowią realizację programu Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2013-2015¹. Państwowy Monitoring Środowiska, według art. 25 ust. 2 ustawy - Prawo Ochrony Środowiska, jest systemem: pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji. Program został opracowany w Departamencie Monitoringu i Informacji o Środowisku Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska.

IMGW - PIB realizując podpisaną z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska umowę pt.: „Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych w latach 2013 – 2015.” zobowiązane jest do wykonania pomiarów promieniowania gamma w powietrzu przy powierzchni ziemi oraz pomiarów radioaktywności próbek aerozoli powietrza i opadu całkowitego w okresie od 1 czerwca 2013 r. do 30 września 2015 r. Stacje IMGW - PIB prowadzące pomiary zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach (Rys. 1), przy czym stacje Gorzów Wlkp. oraz Poznań traktowane są jako jedna stacja ze względu na fakt, że prowadzą pomiary uzupełniające.

Zakres zadań obejmuje:

- a) Ciągły pomiar mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu na wysokości 1 m nad powierzchnią gruntu z rejestracją wartości średnich godzinowych i średnich dobowych na 9 stacjach pomiarowych sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych (w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach).
- b) Ciągły pomiar radioaktywności próbek aerozoli powietrza na 7 stacjach sieci (we Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach) z rejestracją średnich godzinowych i średnich dobowych wartości aktywności promieniotwórczej emiterów promieniowania alfa i beta oraz wyznaczonej aktywności sztucznych emiterów beta promieniotwórczych.
- c) Pomiary globalnej aktywności beta próbek dobowego opadu całkowitego oraz próbek miesięcznego opadu całkowitego na 9 stacjach pomiarowych (w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Poznaniu, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach).
- d) Spektrometryczne pomiary aktywności ¹³⁷Cs i wybranych naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.
- e) Radiochemiczne oznaczanie ⁹⁰Sr w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki uzyskane w roku 2013 wraz z komentarzem uwzględniającym dane z lat poprzednich. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.

¹ <http://www.gios.gov.pl/artykuly/70/Aktualny-program-Panstwowego-Monitoringu-Srodowiska> strona 89 i 90.



Rys. 1. Lokalizacja stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW – PIB.

2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych

2.1. Pobór i przygotowanie próbek

Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r (Dz.U. Nr 239 poz. 2030) oraz zgodnie z zakresem umowy z GIOŚ pobór próbek prowadzony na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW-PIB: 001 – Warszawa, 002 – Gdynia, 004 – Mikołajki, 006 – Poznań (pomiar opad całkowitego), 006 – Gorzów Wlkp. 007 – Świnoujście, 008 – Legnica, 151 – Włodawa, 165 – Zakopane, 166 – Lesko obejmuje:

- a) Pobór próbek całkowitego opadu dobowego polegającego na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do kuwety o powierzchni 1500 cm² napelnionej warstwą wody o grubości 1 cm eksponowanej przez okres 24 godzin, od godziny 6 UTC. Po zakończeniu ekspozycji próbki, zebraną wodę odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę spopiela się następnie w piecu muflowym w temperaturze 450 °C. Otrzymany popiół przenosi się do aluminiowej miseczki pomiarowej o grubości 1 mm. Wymiary miseczki pomiarowej są następujące: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać 50 mg cm⁻³, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- b) Pobór próbek całkowitego opadu miesięcznego polegającego na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do trzech kuwet o łącznej powierzchni 4500 cm² eksponowanych przez okres jednego miesiąca od każdego pierwszego dnia danego miesiąca. Przyjęto, że próbce opadu całkowitego przypisuje się datę dnia, w którym rozpoczęto jej ekspozycję. Po zakończeniu ekspozycji próbki, zebraną wodę odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę spopiela się następnie w piecu muflowym w temperaturze 450°C. Otrzymany popiół przenosi się do aluminiowej miseczki pomiarowej o grubości 1 mm. Wymiary miseczki pomiarowej są następujące: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać 50 mg cm⁻³, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- c) Pobór próbek aerozoli powietrza odbywa się poprzez wymuszony przepływ powietrza przez odpowiednie filtry w cyklach półgodzinnych i w takiej postaci poddane są pomiarom.

2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewniania jakości pomiarów

Pomiar mocy dawki promieniowania gamma

Pomiary mocy dawki promieniowania gamma w stacjach meteorologicznych prowadzone są za pomocą sondy typu FHZ621G-L współpracującej z komputerem PC. Sonda składa się z licznika proporcjonalnego, przedwzmacniacza, modułu mikrokontrolera, interfejsu szeregowego RS-485 i zasilaczy niskiego i wysokiego napięcia.

Dane techniczne.

Komora pomiarowa: licznik proporcjonalny wypełniony Ar/CO₂, napięcie pracy – 2050 V; zakres pomiarowy – 50 nSv/h – 100 mSv/h, zakres energetyczny – ± 30 % dla zakresu 30 keV – 1,3 MeV, zakres kątowy rejestracji - ± 20 % w zakresie -450 < Φ < +450

Dane sondy: zasilanie – 10 ÷ 30 V, temperatura - -30 - +60 0C, wilgotność względna – 5 – 95 %, ciśnienie atmosferyczne – 533 – 1060 hPa.

W stacjach wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW sondy FHZ 621G-L zostały ustawione w ogródku meteorologicznym na specjalnym wsporniku, na wysokości 1 m od podłoża.

Sonda połączona jest kablem poprzez interfejs przetwornika z komputerem PC, w którym zainstalowany program NetView umożliwia zdalne ustawianie warunków pracy sondy, jak i odbiór wyników pomiarów.

Wewnętrzna pamięć układu sondy może przechować 256 zmierzonych wartości zaopatrzonych w datę i czas pomiaru oraz w status określający stan układu pomiarowego. Każdy błąd układu pomiarowego jest kodowany w formie statusu wpisanego w informację o wartości mierzonej wielkości. Czas pomiaru każdego wyniku mocy dawki wynosi 10 minut. Program NetView co 10 minut odczytuje z pamięci sondy ostatni wynik i zapisuje go do pliku oraz porównuje z zadanymi progami ostrzegawczymi I i II stopnia. Wyniki mocy dawki z danego miesiąca zbierane są w pliku, w nazwie, którego podany jest rok, nr kanału oraz - w rozszerzeniu – miesiąc.

W przypadku przekroczenia zadanego progu program włącza odpowiednią planszę sygnalizującą przekroczenie pierwszego progu lub planszę i sygnał dźwiękowy przy przekroczeniu drugiego progu. Wartości te są dobierane tak, aby przyrost mocy dawki podczas opadów nie przekraczał zadanego progów. Sygnalizacja ta w programie NetView służy obecnie jedynie obserwatorowi jako informacja o wzroście mocy dawki.

Producent zapewnił w sondzie procedurę wyznaczania procentowego udziału energii kwantów gamma produktów rozszczepienia w mierzonej wielkości mocy dawki. W tym celu wykorzystano właściwości szeroko zakresowego detektora FHZ621G-L, który wyznacza nie tylko wielkość mocy dawki, ale również mierzy energię promieniowania gamma. Dzięki temu możliwe jest wykrycie każdego wpływu sztucznej gammy automatycznie i przesłanie informacji o tym do systemu komputerowego nawet, jeśli wzrost mocy dawki jest stosunkowo niski. Mierzona jest różnica energii kwantów promieniowania gamma produktów rozszczepienia w stosunku do promieniowania kosmicznego i tła naturalnego.

Promieniowanie naturalne charakteryzuje się dużym udziałem wysokoenergetycznych kwantów (> 1 MeV), co jest prawdziwe dla zmiennego w czasie udziału wymywanych produktów rozpadu radonu. Niższe od 1 MeV energie kwantów odnoszą się do produktów rozszczepienia.

Dla typowego tła 100-130 nSv/h możliwe jest wiarygodne wyznaczenie w czasie 20 – 30 min rutynowego pomiaru dodatkowej mocy dawki od Xe-133, od mocy dawki spowodowanej wymywaniem produktów rozpadu radonu. Ponadto licznik proporcjonalny charakteryzuje się możliwością detekcji energii już od 33 keV, dzięki czemu możliwe jest także uwzględnienie właściwego zakresu niskoenergetycznego spowodowanego rozproszeniem Comptona.

W stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW po zainstalowaniu nowej sondy typu FHZ621 G-L uruchomiono procedurę pomiaru i rejestracji procentu mierzonej mocy dawki pochodzącej od produktów rozszczepienia. Opracowano specjalny program komputerowy, który przetwarza wyniki pomiarów sondy (mocy dawki i jej procentu pochodzącego od produktów rozszczepienia) i wyświetla średnie godzinne wartości procentu mocy dawki pochodzącej od produktów rozszczepienia i podaje przyrost mocy dawki w stosunku do jej średniej dobowej wartości.

Pomiar radioaktywności próbek aerozoli powietrza

Do pomiaru aktywności aerozoli powietrza stosuje się urządzenie typu FHT59Si, które mierzy w sposób ciągły aktywności radioizotopów naturalnych i sztucznych alfa promieniotwórczych oraz całkowitą aktywność radioizotopów beta promieniotwórczych.

Zasada pomiaru radioaktywności w tego typu urządzeniu polega na zasysaniu przez filtr taśmowy aerozoli powietrza i jednoczesnym pomiarem detektorem umieszczonym nad taśmą filtracyjną aktywności radionuklidów alfa i beta promieniotwórczych. Użytkowana jest taśma z włókna szklanego typu GF-10. Powierzchnia osadzania aerozoli na taśmie ma kształt koła o średnicy 50 mm, przez które w ciągu 30 min. zasysane jest powietrze, po czym następuje kilkusekundowa przerwa w zasysaniu i przesuw taśmy o 1/10 średnicy powierzchni zbierania aerozoli. Taki częściowy przesuw powierzchni osadzania służy do utrzymania równowagi rozpadu naturalnych radionuklidów na filtrze. Pomiary szybkości zliczeń promieniowania alfa i beta realizowane są w procedurze dyskryminacji amplitudy. Do obliczania aktywności całkowitej, jak i naturalnej stosuje się specjalny „algorytm pomiaru aerozoli”. Aktywność alfa i beta sztucznych radionuklidów wyznaczana jest jako różnica pomiędzy aktywnością całkowitą danego

promieniowania a naturalną. Uwzględniając objętość przepompowanego powietrza przez filtr możliwe jest wyznaczenie aktywności danego promieniowania.

Urządzenie typu FHT59Si składa się z następujących elementów:

- zespołu poboru powietrza z pompą próżniową ($8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), systemem pomiaru i kontroli przepływu powietrza przez filtr taśmowy;
- mechanizmu przesuwu filtru taśmowego sterowanego procesorem;
- detektora krzemowego typu PIPS z osłoną ołowianą;
- komputerowego modułu pomiarowego FHT 8000 z interfejsem szeregowym do transmisji wyników.

Urządzenie FHT59Si umożliwia:

1. Automatyczny pomiar aktywności naturalnych i sztucznych radionuklidów alfa i beta promieniotwórczych aerozoli powietrza.
2. Pomiary stężeń promieniotwórczych izotopów emitujących promieniowanie alfa i beta w zakresie od $0,1$ do 10^6 Bq m^{-3} .
3. Automatyczną kompensację aktywności radionuklidów naturalnych dzięki specjalnemu algorytmowi.
4. Szybkie wykrywanie nagłego wzrostu aktywności emiterów alfa i beta promieniotwórczych za pomocą specjalnej funkcji.
5. Automatyczną kontrolę pracy urządzeń sygnalizując wystąpienie ewentualnych błędów.

Detektor

Zestaw aparatury FHT 59 Si wyposażony jest w detektor krzemowy typu PIPS o powierzchni aktywnej równej 1700 mm^2 . Wydajność detektora w stosunku do geometrii 4π wyznaczona za pomocą źródła płaskiego o średnicy 50 mm umieszczonego w komorze pomiarowej wynosi jak podano w tabeli poniżej.

Radionuklid	Wydajność %
Co-60	6 ± 1
Sr-90/Y-90	21 ± 2
Cs-137	19 ± 2
Tl-204	18 ± 2
Am-241	17 ± 1

Zasada działania algorytmu pomiaru radioaktywności aerozoli powietrza.

Budowa algorytmu bazuje na odpowiednim sposobie pobierania próbek aerozoli i utrzymywaniu równowagi rozpadu naturalnych radionuklidów osadzonych na taśmie filtracyjnej oraz na właściwościach spektrometrycznych zastosowanego detektora krzemowego. Ustawione progi dyskryminacji ($S_1 = 0,1 \text{ MeV}$, $S_2 = 0,8 \text{ MeV}$, $S_3 = 5,5 \text{ MeV}$, $S_4 = 6,1 \text{ MeV}$ i $S_5 = 7,7 \text{ MeV}$) pozwalają na rejestrowanie liczby impulsów w poszczególnych przedziałach dyskryminacji pochodzących od określonych radioizotopów naturalnych, co przy znajomości wydajności dla danego promieniowania pozwala na wyznaczanie ich aktywności.

Współczynniki wydajności urządzenia dla promieniowania alfa i beta są wyznaczane za pomocą odpowiednich wzorców kalibracyjnych o znanej aktywności. Za pomocą algorytmu dla pobieranej próbki aerozoli wyznacza się aktywność całkowitą promieniowania alfa i beta oraz aktywność alfa i beta radioizotopów naturalnych. Różnica tych dwóch aktywności traktowana jest jako aktywność pochodząca od radioizotopów sztucznych.

Oznaczając przez R_1 całkowitą liczbę zliczeń w ciągu 1 sek. od radioizotopów alfa i beta promieniotwórczych dla progu S_1 , a ich składowe przez R_{b1} liczba zliczeń od radioizotopów beta promieniotwórczych i R_{a1} od alfa promieniotwórczych oraz przez R_{01} tło detektora, to możemy napisać:

$$R_1 = R_{a1} + R_{b1} + R_{01} \quad (1)$$

Jeśli oznaczyć odpowiednio wydajność alfa i beta dla progu S_1 przez E_{a1} i E_{b1} , to otrzymamy:

$$E_{a1} = \frac{R_{a1}}{A_{aca}} \quad (2) \quad \text{i} \quad E_{b1} = \frac{R_{b1}}{A_{bca}} \quad (3)$$

Wstawiając powyższe wartości do równania (1) otrzymamy:

$$R_1 = E_{a1}A_{aca} + E_{b1}A_{bca} + R_{01} \quad (4)$$

Analogiczne równanie możemy zapisać dla drugiego przedziału dyskryminacji:

$$R_2 = E_{a2}A_{aca} + E_{b2}A_{bca} + R_{02} \quad (5)$$

Rozwiązując powyższe równania wyznaczamy aktywności całkowite promieniowania alfa (A_{aca}) i beta (A_{bca}). Współczynniki wydajności są jednoznacznie określone podczas kalibracji aparatury wzorcami alfa i beta promieniotwórczymi.

W podobny sposób możemy napisać równania dla aktywności naturalnych radioizotopów alfa ($A_{a\text{nat}}$) i beta ($A_{b\text{nat}}$) promieniotwórczych i tak :

$$A_{a\text{nat}} = \frac{1}{E_{a2}} F_a(g_3R_3 + g_4R_4 + g_5R_5) \quad (6)$$

$$A_{b\text{nat}} = \frac{1}{E_{b1}} F_b(h_3R_3 + h_4R_4 + h_5R_5) \quad (7)$$

gdzie :

R_3 - liczba zliczeń impulsów w ciągu 1 s dla progu S_3 (5,5 MeV);

R_4 - „ - „ S_4 (6,1 MeV);

R_5 - “ - “ S_5 (7,7 MeV);

g_3, g_4 i g_5 - współczynniki kompensacyjne radioizotopów alfa promieniotwórczych, wyznaczone eksperymentalnie;

h_3, h_4 i h_5 - współczynniki kompensacyjne radioizotopów beta promieniotwórczych wyznaczone eksperymentalnie;

F_a, F_b - współczynniki dopasowania.

Sztuczna radioaktywność alfa ($A_{a\text{szt}}$) i beta ($A_{b\text{szt}}$) radioizotopów osadzonych na taśmie filtracyjnej jest wyznaczona jako różnica aktywności całkowitej i naturalnej danego promieniowania, a mianowicie :

$$A_{a\text{szt}} = A_{aca} - A_{a\text{nat}} \quad \text{oraz}$$

$$A_{b\text{szt}} = A_{bca} - A_{b\text{nat}}$$

Komputerowy moduł pomiarowy FHT 8000

Moduł ten służy do kontroli pomiaru i opracowania wyników oraz zawiera pełną elektronikę jądrową do obsługi detektora. Pracuje w sposób automatyczny. Wszystkie procedury pomiarowe, algorytmy są zapamiętane w formie pakietów oprogramowania i służą do kontroli wszystkich podzespołów urządzenia. Wyniki pomiarowe i status są automatycznie zapamiętywane i mogą być również przesłane za pomocą interfejsu szeregowego do zewnętrznego komputera.

W naszym przypadku moduł FHT 8000 podłączony jest do komputera PC, ustawionego w pokoju obserwatora stacji meteorologicznej. Za pomocą programu NetView zainstalowanego w komputerze PC odczytywane są wyniki mierzonych wielkości z pamięci modułu FHT 8000 i zapisywane w oddzielnych plikach. Program ten pozwala na wizualizację zarejestrowanych wyników oraz porównuje zbierane wartości z zadanymi progami ostrzegawczymi, sygnalizując ich przekroczenie wyświetleniem odpowiednich napisów i włączeniem sygnału dźwiękowego. Jest to sygnalizacja przewidziana dla personelu stacji. Doba pomiarowa próbki aerozolowej trwa od godziny 6⁰⁰ do 6⁰⁰ następnego dnia i liczona jest jako średnia z godzinnych wartości. W ten sposób otrzymuje się średnią aktywność promieniowania alfa naturalnych nuklidów oraz aktywności promieniowania alfa i beta sztucznych nuklidów. Aktywności tych ostatnich otrzymywane jako wynik odejmowania aktywności naturalnej od

całkowitej obarczone są pewnym błędem, wielkość którego uzależniona jest od doboru wprowadzanych współczynników kompensacyjnych w równaniach algorytmu pomiarów aerozolowych. Bezwzględność wyników mierzonych wielkości uzyskuje się za pomocą procedury kalibracyjnej, w czasie której wykonuje się 3-minutowe pomiary tła dla promieniowania alfa i beta oraz kolejno liczbę zliczeń wzorców: Am-241 i Sr-90 (o aktywności po 3 kBq). Wyniki koncentracji aktywności podawane są w Bq m⁻³.

Próg czułości detektora dla promieniowania beta wynosi 300 mBq m⁻³, a dla promieniowania alfa – 60 mBq m⁻³.

Pomiar globalnej aktywności izotopów emitujących promieniowanie beta w próbkach całkowitego opadu dobowego i miesięcznego

Pomiary całkowitej aktywności beta tj. aktywności związanej ze stężeniem promieniotwórczym izotopów promieniotwórczych emitujących promieniowanie beta w próbkach opadu całkowitego wykonywane są z zastosowaniem komputerowych zestawów pomiarowych zintegrowanych z sondą pomiarową typu 51Y1SPFM i przedwzmacniaczem AS-17 lub z zastosowaniem głowicy antykoincydencyjnej typu UGB-2.

Kalibrację aparatury do pomiarów aktywności beta próbek opadu całkowitego wykonuje się za pomocą wzorca K-40 o aktywności 3,7 Bq.

Aktywność próbki opadu całkowitego wyznacza się z wzoru:

$$A_F = K_F \times N_0 \text{ [Bq m}^{-3} \text{]}, \text{ gdzie:}$$

$$K_F = \frac{A_w}{N_0 \times S} \left[\frac{\text{Bq} \times \text{min}}{\text{imp} \times \text{m}^2} \right]$$

$$N_0 = N - N_t$$

N – liczba imp/min pomiaru próbki lub wzorca,

N_t - liczba imp/min pomiaru tła,

S – powierzchnia zbierająca naczynia

Błąd statystyczny bezwzględny przy prawdopodobieństwie 95 % wyznacza się z zależności

$$\Delta = 1,96 \sqrt{\frac{N}{T} + \frac{N_t}{T_t}}, \text{ gdzie:}$$

T – czas pomiaru próbki,

T_t – czas pomiaru tła,

$$\text{a błąd względny ze wzoru: } a = \frac{\Delta}{N_0} 100\% .$$

Metoda oznaczania izotopów emitujących promieniowanie gamma w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego z zastosowaniem spektrometrii gamma

Próbki miesięcznego opadu całkowitego z 9 stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych zostają zintegrowane w jedną próbkę analityczną miesięcznego opadu całkowitego, która poddana jest pomiarom z zastosowaniem spektrometrii gamma.

Pomiary wykonuje się za pomocą zestawu spektrometrycznego składającego się z detektora HPGe o objętości 132,5 cm³, przedwzmacniacza ładunkowego (typu RG11), zasilacza wysokiego napięcia (typu 7716) i analizatora amplitudy impulsów. Analizator skonstruowany w postaci karty, instalowanej w komputerze IBM-PC wraz z oprogramowaniem, umożliwia opracowanie matematyczne widma oraz jego wizualizację i archiwizację. Detektor germanowy jest umieszczony w domku osłonnym

o ściankach grubości 10 cm Pb, wyłożonych od wewnątrz blachą: 1 mm Cd i 2 mm Cu. Do kalibracji spektrometru użyto wzorcowego roztworu promieniotwórczego SRM-1 Mix gamma przygotowanego przez Ośrodek Produkcji i Dystrybucji Izotopów w Świerku. Wzorce objętościowe wykonano w szczelnie zamykanych pojemnikach z pleksiglasu o wymiarach wew. 55,5 x 63,0 mm, identycznych z pojemnikami używanymi do pomiaru próbek. Do kolejnych pojemników wlewano określoną objętość roztworu wzorcowego tak, aby otrzymać wysokość słupa roztworu równą 2, 3, 4, 5, 7 i 10 mm. W ten sposób otrzymano źródła do kalibracji próbek o grubości warstwy popiołu od 2 do 10 mm. Gęstość roztworu wzorcowego w temperaturze 20 °C wyniosła 1,06 g cm⁻³.

Dla utrzymania gęstości próbek spektrometrycznych opadu całkowitego w granicach 0,9 – 1,2 g cm⁻³, bliskiej gęstości wzorców, przygotowywane próbki są prasowane specjalnym przyrządem, który jednocześnie pozwala wyznaczyć grubość warstwy popiołu.

Wyniki wydajności spektrometru dla źródła wzorcowego SRM-1, MIX-gamma z warstwą o grubości 3 mm, przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki pomiaru wzorca kalibracyjnego.

E [keV]	Izotop	T _{1/2}	Aktywność [Bq]	Wydajność [10 ⁻³]
59,5	Am-241	458 lat	65,4	18,9
88,5	Cd-109	463 dni	276,1	74,6
122,1	Co-57	272 dni	14,1	95,8
165,9	Ce-139	137,7 dni	10,5	93,4
661,7	Cs-137	30 lat	57,4	29,8
834,8	Mn-54	312,5 dni	69,7	23,4
1115,6	Zn-65	243,9 dni	120,5	18,4
1173,2	Co-60	5,3 lat	76,4	16,2
1332,5	Co-60	5,3 lat	76,4	14,4

Na podstawie zamieszczonych powyżej wyników wykreślono krzywą wydajności spektrometru i wyznaczono wydajności dla linii izotopów oznaczanych w próbkach opadu całkowitego (Tabela 2).

Przygotowanie próbki do pomiarów spektrometrycznych polega na dokładnym wymieszaniu popiołu, otrzymanego w placówkach po spopieleniu próbki miesięcznego opadu całkowitego i przeniesieniu go do pojemnika pomiarowego. Masa popiołu pojedynczych próbek, jak i zbiorczej, jest wyznaczana z dokładnością do 0,05 mg.

Wydajność detektora dla linii oznaczanych w próbkach.

E [keV]	Izotop	Wydajność [10 ⁻³]
186	Ra-226	88
447	Be-7	34
662	Cs-137	30
796	Cs-134	25
911	Ra-228	23
1460	K-40	14

Czas pomiaru próbki, jak i pomiaru tła, przeprowadzanego po każdym pomiarze próbki, wynosi 160 000 s.

Aktywność danego izotopu w próbce, w chwili pomiaru, określa równanie:

$$A_i = \frac{N_i}{F(E) * p_i * t_p} \quad (1)$$

gdzie: N_i – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła,

F(E) – wydajność detektora dla fotonów o energii E,

p_i – liczba fotonów o energii E, przypadająca na jeden rozpad i-tego radionuklidu,

t_p - czas pomiaru w sekundach.

Przy pomiarach małych aktywności ważne jest, aby dana ilość zliczanych impulsów mogła być zaobserwowana przy zachowaniu określonego poziomu ufności, jako pik wyodrębniony z widma tła naturalnego danego detektora. Niezbędna ilość impulsów w pik, dla jego wydzielenia z tła jest określana, jako dolna granica detekcji i oznaczana LLD.

Stosuje się różne metody obliczania tej wielkości. W naszych obliczeniach posłużono się metodą Loyda A. Currie'go określoną wzorem:

$$LLD = 0,276 + 1,05 * \sigma \quad (2)$$

gdzie : LLD – limit detekcji w impulsach.

σ - odchylenie standardowe tła w badanym pik.

Limity detekcji zostały policzone dla poziomu ufności 0.70, przy założeniu, że czas pomiaru tła jest taki sam, jak czas pomiaru próbki.

Minimalną mierzalną aktywność dla danego toru spektrometrycznego określa zależność:

$$A_d = \frac{LLD * C}{F(E) * p * t_p} \quad (3)$$

$$C = \frac{t_p * \lambda}{1 - e^{-\lambda t_p}} \quad (4)$$

gdzie: A_d – minimalna mierzalna aktywność w Bq,
 t_p – czas pomiaru w sekundach,

λ -- stała rozpadu [s^{-1}]

p – wydajność kwantowa.

Aktywność właściwą poszczególnych radionuklidów wyznaczano na podstawie zależności:

$$S_i = \frac{A_i}{b * W * k} \exp(\lambda_i * t_2) \quad (5)$$

Gdzie: A_i – aktywność i-tego izotopu w próbce,

λ_i – stała rozpadu,

t_2 – czas trwania przerwy między zakończeniem ekspozycji próbki a rozpoczęciem pomiaru,

b – część masy próbki zbiorczej wziętej do analizy,

W – powierzchnia naczynia do zbierania opadu całkowitego (1500 cm^2),

k – liczba próbek wziętych do analizy.

Dla aktywności oznaczanych nuklidów oblicza się odchylenia standardowe i podaje w zestawieniach wyników.

Radiochemiczne oznaczanie ^{90}Sr w miesięcznym opadzie całkowitym

Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr oznaczane jest w zintegrowanej próbce miesięcznego opadu całkowitego, uprzednio analizowanego nieniszcząco metodą spektrometrii gamma. Oznaczenie ^{90}Sr prowadzi się metodą radiochemiczną obejmującą uzyskanie czystej radiochemicznie próbki (etap I i II) i zakończoną pomiarami promieniowania beta (etap III).

ETAP I – Chemiczne oczyszczanie próbki

1. Przeprowadzenie izotopu ^{90}Sr z próby opadu do roztworu.

Próbkę opadu miesięcznego o znanej masie umieszcza się w zlewce, zwilża wodą destylowaną i dodaje ok. 200 ml kwasu azotowego HNO₃ (1:1). Próbkę odparowuje się w ciągu 8 godzin, mieszając od czasu do czasu. Pozostałość w zlewce przesącza się przez twardy sączek. Osad jest odrzucany, przesącz uzupełniony wodą destylowaną do uzyskania 150 ml objętości.

2. Wytrącanie szczawianów.

- Do 150 ml przesączu dodaje się 100 ml 8% kwasu szczawiowego, 1 ml nośnika strontu, kilka kropli zieleni bromokrezolowej i stężony amoniak do uzyskania pH 4-4,5 (kolor ciemnozielony). Roztwór ogrzewa się do temp. 80°C w celu całkowitego wytrącenia osadu. Po opadnięciu osadu roztwór dekantuje się z nad osadu szczawianów.

- Osad szczawianów rozpuszcza się w roztworze (1:1) HNO₃ (na początku dodajemy kilka mililitrów kwasu, następnie dozujemy kwas kroplami aż do całkowitego rozpuszczenia osadu).

- Powtórne wytrącanie szczawianów przebiega w sposób analogiczny do pierwotnego (do roztworu dodajemy kroplami stężony amoniak do uzyskania pH 4-4,5 i wytrącenia osadu, następnie całość podgrzewamy do 80°C). Po całkowitym wytrąceniu osadu szczawianów roztwór przesącza się przez twardy sączek. Osad przepłukuje się dokładnie wodą destylowaną i pozostawia do wysuszenia.

3. Spopielanie osadu.

Sączek z osadem przenosi się do tygla i spala w piecu muflowym w temperaturze 650 – 700 °C. Następnie tygiel wyjmuje się z pieca i studzi.

4. Rozpuszczanie popiołu.

Osad w tyglu zwilża się wodą destylowaną, dodaje kilka mililitrów HNO₃ (1:1) aż do całkowitego rozpuszczenia osadu. Roztwór z tygla przenosi się ilościowo do zlewki i uzupełnia wodą destylowaną do uzyskania objętości ok. 70 ml.

5. Wytrącanie chromianu baru.

Do zlewki z roztworem dodaje się 1 ml nośnika baru, kilka kropli czerwieni metylowej, 1 ml kwasu octowego 2 ml octanu amonu. Następnie dodaje się stężony amoniak do uzyskania pH 5,5 (kolor pomarańczowo – żółty). Próbkę ogrzewa się do 90°C, dodaje 1 ml chromianu sodu i ponownie sprowadza pH do 5,5 za pomocą amoniaku. Roztwór ogrzewa się do wytrącenia żółtego osadu chromianu baru. Następnie po ostygnięciu roztwór przesącza się przez sączek. Osad odrzucamy.

6. Wytrącanie wodorotlenku itru.

Do roztworu pozostałego po oddzieleniu chromianu baru dodaje się 1 ml nośnika itru. Roztwór ogrzewa się w temp. ok. 90°C. Po ostudzeniu dodajemy amoniak do uzyskania pH 8 i wytrącenia osadu wodorotlenku itru, który oddziela się przez sączenie. Pozostały po przesączeniu roztwór zlewa się do butelki polietylenowej, dodaje do niego HNO₃ (1:1) do uzyskania pH 2-3 i 1 ml nośnika itru. Tak przygotowaną próbę pozostawia się przez 18 dni.

ETAP II – Preparatyka próbki po osiągnięciu równowagi ⁹⁰Sr z ⁹⁰Y w roztworze po 18 dniach

7. Wytrącanie wodorotlenku itru.

Po 18 dniach roztwór z butelki przenosi się do zlewki i zagęszcza przez odparowanie do objętości ok. 50 ml. Następnie dodaje się stężony amoniak do uzyskania pH 8 i podgrzewa do wytrącenia wodorotlenku itru. Osad oddziela się od roztworu przez sączenie. Roztwór zlewa się do butelki, jego pH doprowadza się, za pomocą HNO₃, do wartości 2 - 3 oraz dodaje 1 ml nośnika itru. Tak przygotowany roztwór, pozostawiony na 18 dni, umożliwia powtórne przeprowadzenie analizy oraz kontrolę poprawności oznaczeń.

8. Wytrącanie szczawianów itru.

Osad wodorotlenku itru rozpuszcza się w kilku mililitrach HNO₃ (1:1). Następnie dodajemy ok. 25 ml wody destylowanej, 15 – 20 kropli nasyconego roztworu kwasu szczawiowego oraz amoniak do uzyskania pH 5,5, by wytrąciły się szczawiany. Roztwór ogrzewa się do temp. 60°C, do całkowitego

wytrącenia szczawianów.

9. Przygotowanie próbki do pomiarów.

Roztwór przesącza się przez lejek radiochemiczny używając sączka o geometrii stosowanej w pomiarach. Osad na sączku przepłukuje się alkoholem etylowym, aby przyspieszyć schnięcie. Sączek z osadem umieszcza się w miseczce pomiarowej.

ETAP III – Pomiar aktywności

Pomiar aktywności ^{90}Y równoważnej aktywności ^{90}Sr powinien być wykonany nie później niż 2 godziny od chwili oddzielenia $\text{Y}(\text{OH})_3$ od reszty roztworu. Jeżeli pomiar zostanie przeprowadzony później należy uwzględnić rozpad promieniotwórczy ^{90}Y .

Pomiary aktywności prowadzone są z zastosowaniem niskotłowego licznika przepływowego FHT 770T, który umożliwia równoległy pomiar 6 prób. Czas pomiaru próbek minimum 2 godz. Przed każdym pomiarem mierzone jest tło, które nie przekracza wartości 0,6 imp/min. Kalibrację aparatury pomiarowej przeprowadza się z użyciem preparatu wzorcowego ^{90}Y o znanej aktywności i geometrii identycznej z geometrią próbek.

Obliczanie aktywności ^{90}Sr w próbach opadu całkowitego:

$$A = \frac{N_0 \times \eta}{S}, \text{ gdzie:}$$

A – aktywność [Bq m⁻²]

N_0 – ilość impulsów na minutę netto (wynikająca z różnicy pomiędzy całkowitą ilością impulsów na minutę – N i ilością impulsów na minutę tła – N_t)

η - współczynnik kalibracji [Bq/imp/min]

S – powierzchnia zbierająca [m²]

W przypadku, gdy czas, który upłynął od chwili oddzielenia $\text{Y}(\text{OH})_3$ od roztworu do rozpoczęcia pomiaru przekracza 2 godziny należy zastosować mnożnik uwzględniający rozpad promieniotwórczy radioizotopu ^{90}Y :

$$e^{-\frac{0,693(t_1-t_0)}{64}}, \text{ gdzie:}$$

t_0 – godzina oddzielenia osadu od roztworu

t_1 – godzina odpowiadająca połowie czasu pomiaru próbki

$(t_1 - t_0)$ – różnica wyrażona w godzinach

Błąd pomiaru:

$$\sigma = \sqrt{\frac{N}{t_p} + \frac{N_t}{t_{pt}}} \times \frac{A}{N_0}, \text{ gdzie:}$$

σ - błąd pomiaru [Bq m⁻²]

t_p – czas pomiaru próby [min]

t_{pt} – czas pomiaru tła [min]

$$\text{LLD: } LLD = 4,66 \sqrt{\frac{N_0}{t_{pt}}} \times \frac{\eta}{S}, \text{ gdzie: LLD [Bq m}^{-2}\text{]}$$

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

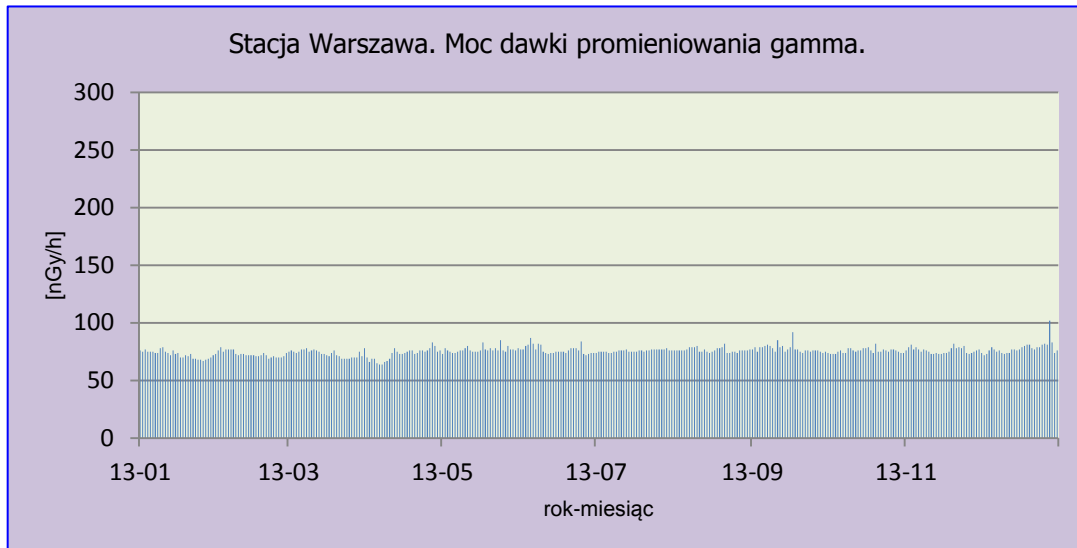
Miarą poziomu promieniowania gamma związanego z obecnością pierwiastków emitujących ten rodzaj promieniowania jest moc dawki. W 2013 roku wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były tak jak w poprzednich latach w reżimie dobowym na 9 stacjach IMGW: Warszawa, Gdynia, Mikołajki, Gorzów wielkopolski, Świnoujście, Legnica, Włodawa, Zakopane, Lesko. Otrzymane wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie (Rys. 2-10). Najniższą średnią miesięczną wartość równą 59,4 nGy h⁻¹ uzyskaną z wartości dobowych odnotowano w lutym na stacji Włodawa, maksymalna wartość dla tej stacji przypada na grudzień (70,5 nGy h⁻¹). Najwyższą średnią miesięczną wartość wynoszącą 124,3 nGy h⁻¹ uzyskano w sierpniu na stacji Zakopane gdzie minimalna średnia miesięczna była na poziomie 93,9 nGy h⁻¹ (Tabela 1). Wyniki te odzwierciedlają poziomy rejestrowane na tych stacjach w ciągu całego roku. Najwyższa średnia roczna wartość mocy dawki (114,1 nGy h⁻¹) wyznaczona została na podstawie średnich miesięcznych wyników zarejestrowanych na stacji Zakopane, co jest zgodne z występowaniem podwyższonego promieniowania w rejonie górskim. Również wysokie średnie roczne wartości mocy dawki promieniowania gamma wystąpiły na południu Polski w Legnicy (106,2 nGy h⁻¹), oraz w części północno-wschodniej na stacji Mikołajki (102,0 nGy h⁻¹). Najniższa średnia roczna wartość mocy dawki (64,4 nGy h⁻¹) charakteryzowała okolice Włodawy. W przypadku stacji zlokalizowanych w Warszawie, Świnoujściu, Gdyni, Gorzowie Wlkp. i Lesku średnie roczne wartości mocy dawki charakteryzujące poziom radioaktywności atmosfery, związany z promieniowaniem gamma, nie przekraczały 100 nGy h⁻¹.

Tabela 1. Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu w 2013 roku, nGy h⁻¹.

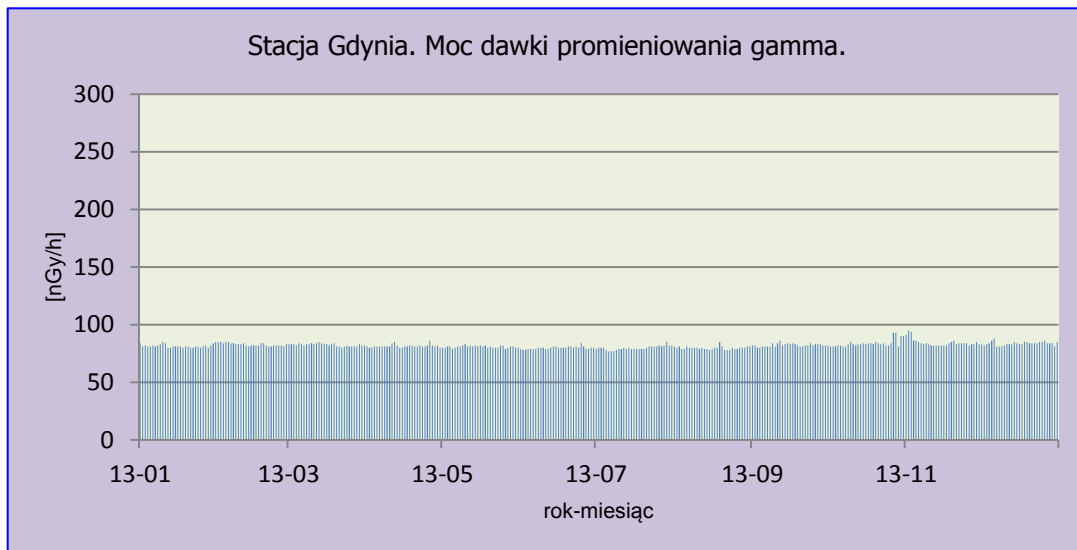
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	72,6	81,5	94,5	87,5	79,5	100,9	59,9	105,6	93,3	86,2
Luty	72,9	82,9	88,0	89,3	79,3	102,6	59,4	93,9	92,5	84,5
Marzec	73,5	82,5	87,1	86,6	77,9	103,4	59,4	96,9	91,6	84,3
Kwiecień	72,8	81,5	96,5	87,4	78,5	105,0	61,1	109,0	97,8	87,7
Maj	76,8	80,8	109,8	90,5	80,3	106,5	66,5	121,8	101,2	92,7
Czerwiec	76,8	79,9	107,7	87,6	77,5	105,6	64,2	120,2	97,8	90,8
Lipiec	75,7	79,8	107,5	87,1	76,6	108,9	64,0	119,5	98,6	90,9
Sierpień	76,5	79,8	108,5	92,5	76,9	112,0	65,7	124,3	104,8	93,4
Wrzesień	77,7	82,3	108,4	95,5	78,6	109,3	67,2	122,6	101,7	93,7
Październik	75,8	83,8	106,1	95,1	76,8	107,3	66,4	122,0	99,1	92,5
Listopad	76,2	84,5	105,6	93,8	79,5	107,1	67,7	121,5	99,9	92,9
Grudzień	78,0	83,7	103,1	94,1	79,1	105,2	70,5	110,4	92,6	90,7
Maksymalna średnia miesięczna	78,0	84,5	109,8	95,5	80,3	112,0	70,5	124,3	104,8	
Minimalna średnia miesięczna	72,6	79,8	87,1	86,6	76,6	100,9	59,4	93,9	91,6	
Średnia roczna	75,5	81,9	102,0	90,6	78,4	106,2	64,4	114,1	97,6	90,1

Rozpiętość wyników dobowych uzyskiwanych na wszystkich stacjach była znaczna. Maksymalna różnica pomiędzy skrajnymi wynikami średnich miesięcznych wynosiła 30,4 nGy h⁻¹ oraz 22,7 nGy h⁻¹ odpowiednio na stacjach Zakopane i Mikołajki. Najmniejsze zaś,

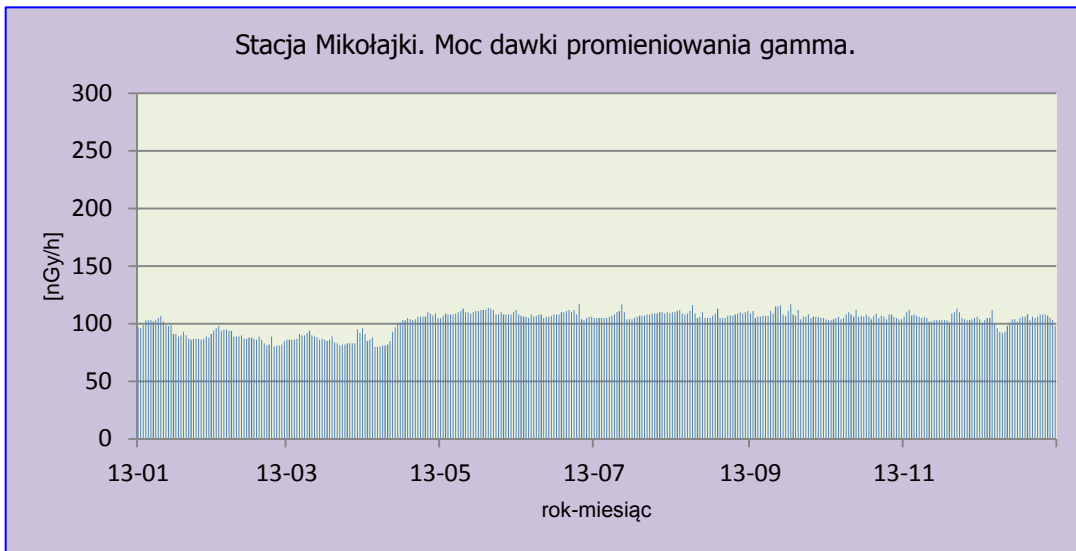
wynoszące $3,7 \text{ nGy h}^{-1}$ i $4,7 \text{ nGy h}^{-1}$ charakteryzowały wyniki uzyskane na stacjach Świnoujście i Gdynia. Różnice pomiędzy maksymalnymi i minimalnymi wartościami średnimi wyznaczonymi dla każdej stacji, dla poszczególnych miesięcy były już zdecydowanie mniejsze i mieściły się w przedziale od $5,4 \text{ nGy h}^{-1}$ do $13,2 \text{ nGy h}^{-1}$. Średnie wartości mocy dawki charakteryzujące obszar całej Polski wyznaczone dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniały się w stosunkowo wąskim zakresie od $84,3 \text{ nGy h}^{-1}$ w marcu do $93,7 \text{ nGy h}^{-1}$ we wrześniu. Otrzymane wyniki wskazują na brak zmienności sezonowej, co oznacza, że głównym elementem determinującym moc dawki promieniowania gamma jest lokalizacja geograficzna.



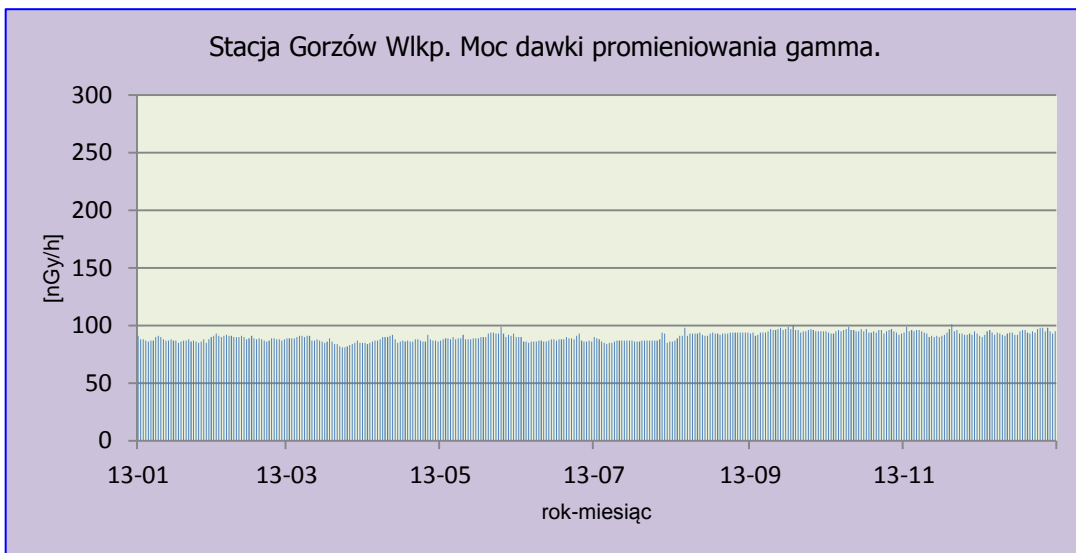
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2013 roku.



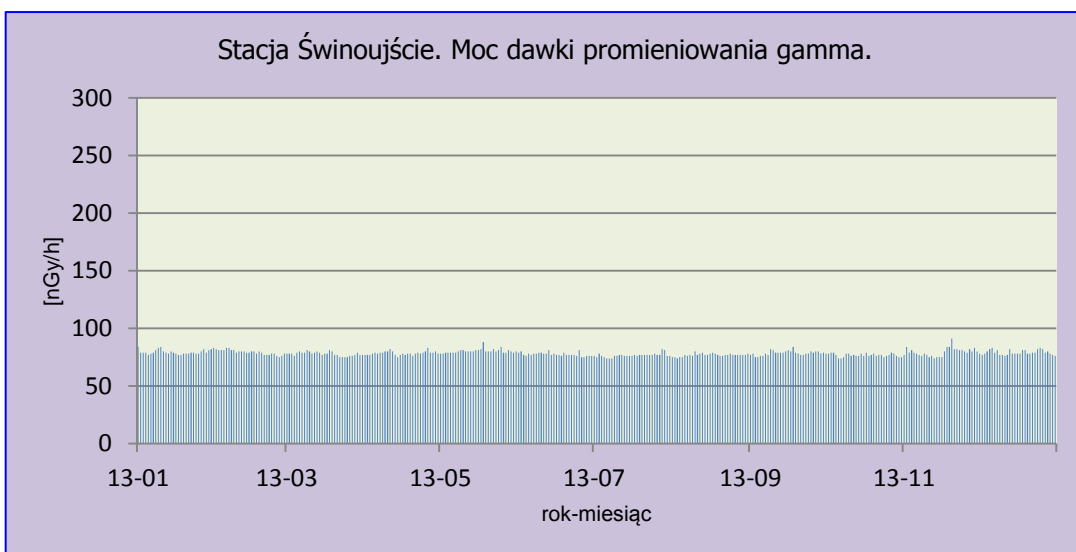
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2013 roku.



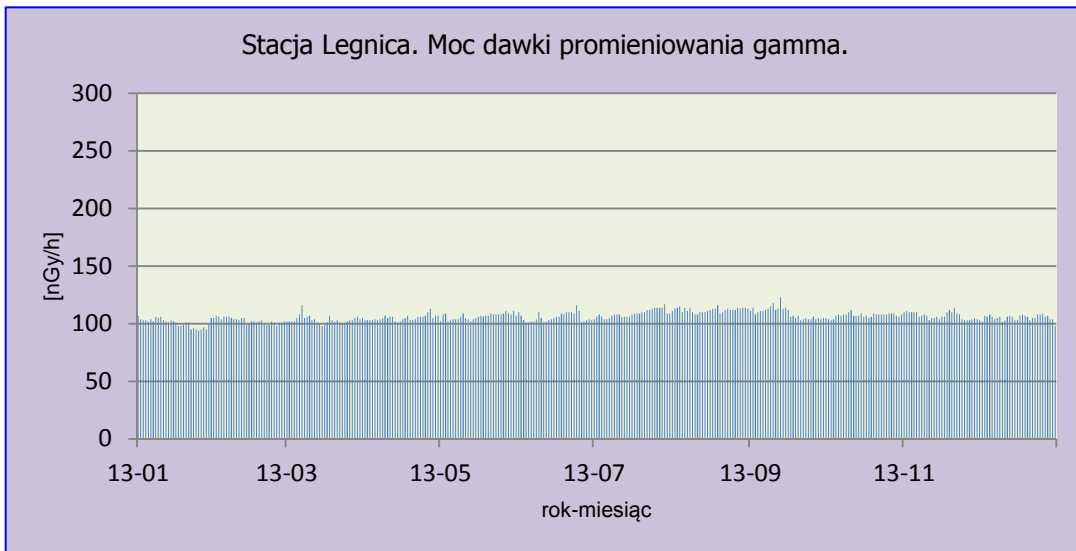
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2013 roku.



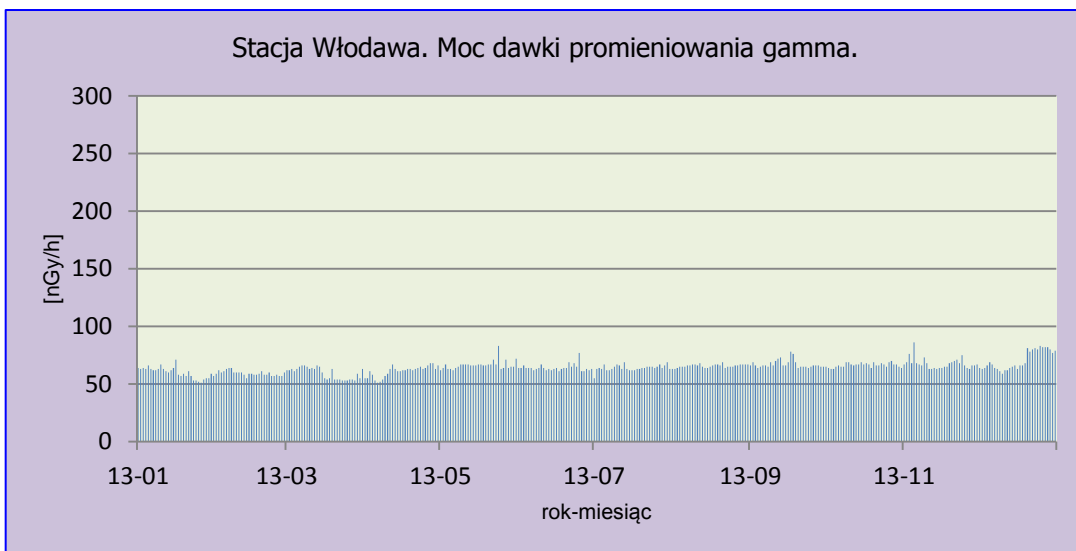
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2013 roku.



Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2013 roku.



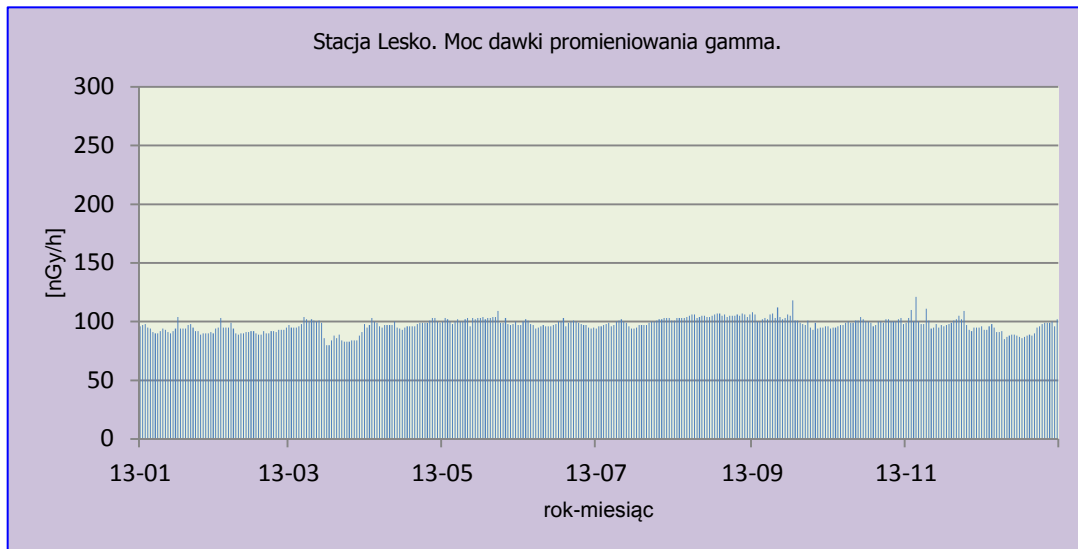
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2013 roku.



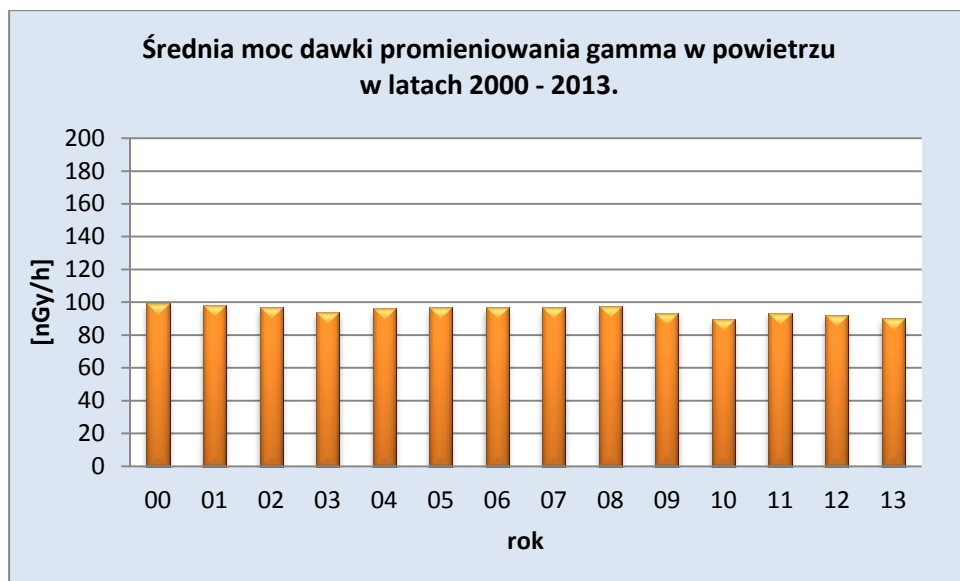
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2013 roku wynosiła $90,1 \text{ nGy h}^{-1}$ i była niższa od obserwowanej w roku poprzednim o $1,7 \text{ nGy h}^{-1}$ (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 - 2013 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. W omawianym okresie wartości te zmieniały się w stosunkowo wąskim przedziale od $89,6 \text{ nGy h}^{-1}$ w 2010 roku do $99,1 \text{ nGy h}^{-1}$ (wartości charakterystycznej dla roku 2000). Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wyniosła $95,0 \text{ nGy h}^{-1}$.

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2013, nGy h^{-1} .

Rok	Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma
2000	99,1
2001	98,3
2002	96,7
2003	93,8
2004	96,1
2005	96,8
2006	96,7
2007	96,6
2008	97,7
2009	93,1
2010	89,6
2011	93,3
2012	91,8
2013	90,1
Średnia	95,0
Minimalna	89,6
Maksymalna	99,1



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2013.

3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

W 2013 roku na 7 stacjach badawczych wykonano pomiary poziomu radioaktywności związanego z obecnością izotopów, pochodzenia naturalnego i sztucznego, emitujących promieniowanie alfa oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta, w próbkach aerozoli

3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa

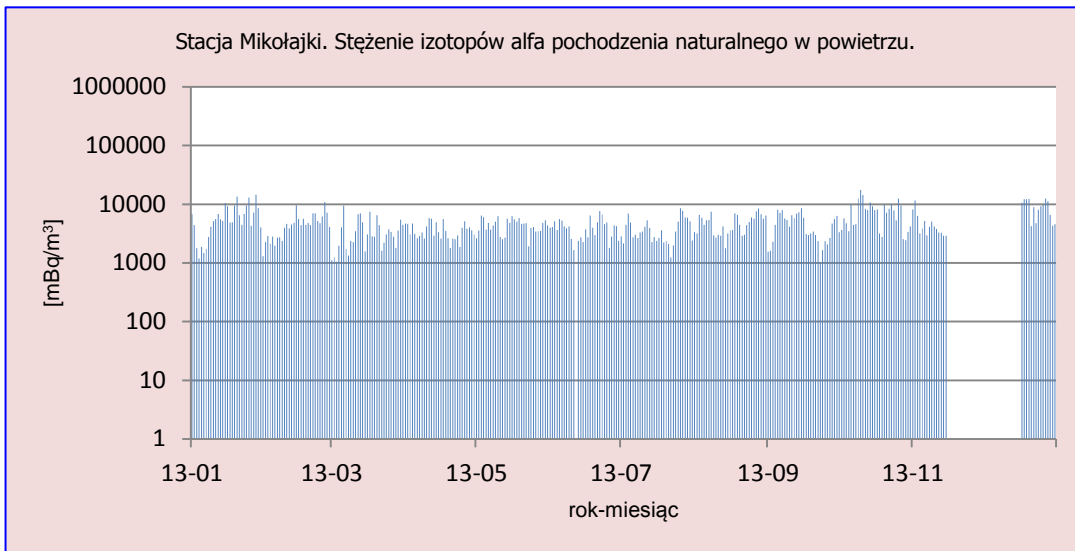
Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością charakteryzowały się aerozole zbierane w czerwcu na stacji w Świnoujściu ($1,2 \text{ Bq m}^{-3}$), gdzie najwyższa uzyskana wartość była zaledwie na poziomie $3,0 \text{ Bq m}^{-3}$. Najwyższe średnie miesięczne stężenie izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa ($17,5 \text{ Bq m}^{-3}$) odnotowano w listopadzie na stacji Gorzów Wlkp. i w następnej kolejności w październiku na stacji Lesko ($12,9 \text{ Bq m}^{-3}$) oraz w Legnicy w miesiącu grudniu ($10,9 \text{ Bq m}^{-3}$). Na pozostałych stacjach wyniki uzyskane ze średnich dobowych nie przekraczały ($8,77 \text{ Bq m}^{-3}$). Analizując wszystkie wyniki otrzymane na badanych stacjach stwierdzono, że zdecydowana większość maksymalnych wartości przypada na okres jesienno – zimowy (od października do stycznia). Nie można podać jednoznacznej przyczyny takiej sytuacji. Wyższe stężenia w okresie jesienno – zimowym dotyczą tylko kilku stacji, brak jest jednoznacznego trendu dla całej Polski.

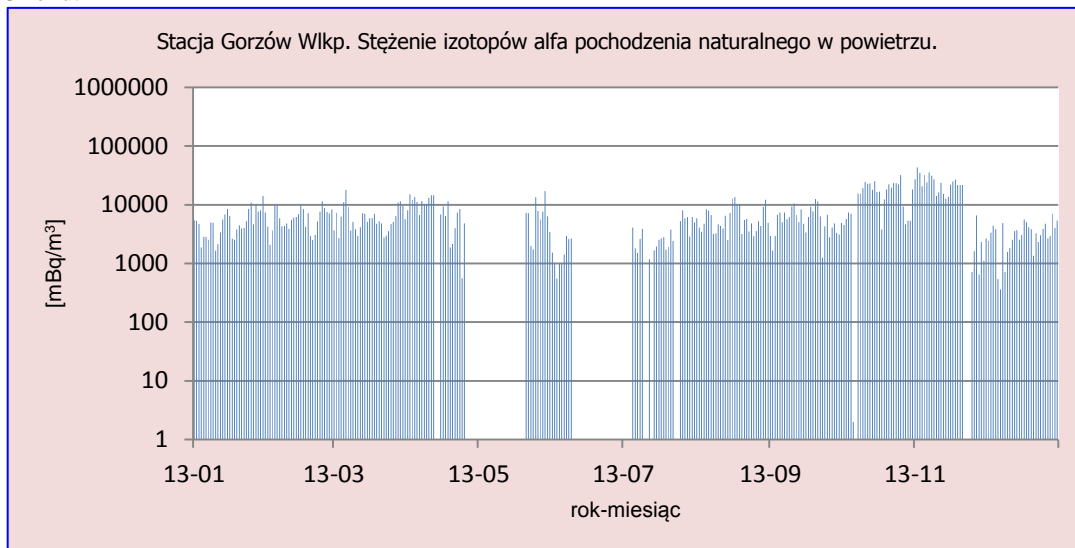
Średnie wartości stężeń wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z danych uzyskanych na 7 stacjach zmieniały się od wartości $3,5$ wyznaczonej dla czerwca do wartości obliczonej w październiku – $8,5 \text{ Bq m}^{-3}$.

Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w 2013, Bq m^{-3} .

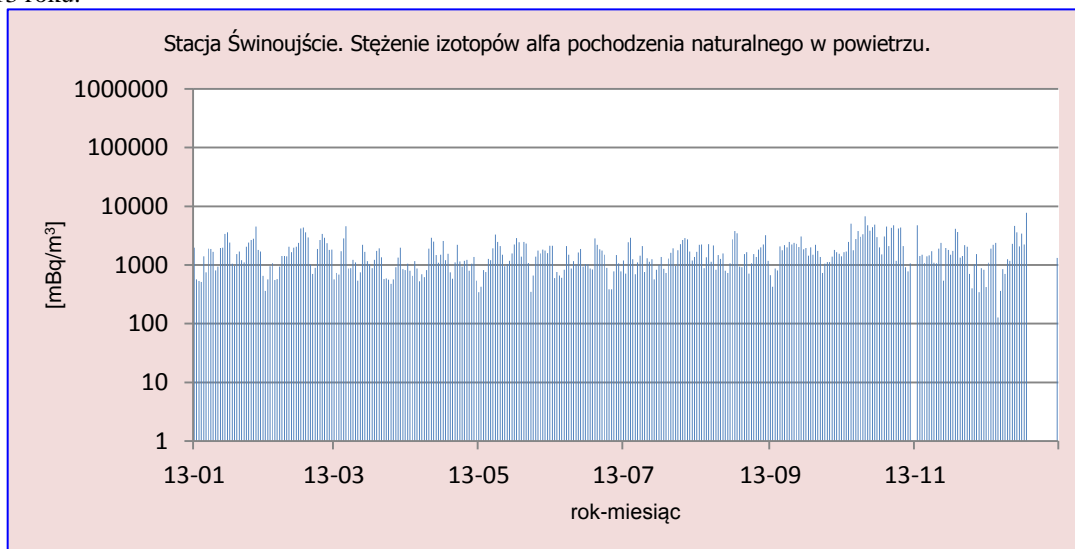
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	6,03	5,41	1,70	3,44	4,00	6,70	7,87	5,02
Luty	4,74	6,15	1,91	3,10	3,53	5,39	7,24	4,58
Marzec	3,53	6,25	1,24	3,62	2,17	5,46	5,83	4,01
Kwiecień	3,60	8,87	1,23	4,86	2,54	5,46	5,60	4,59
Maj	4,39	7,23	1,57	4,77	2,76	5,06	6,16	4,56
Czerwiec	3,99	1,63	1,21	3,65	2,46	5,30	6,00	3,46
Lipiec	3,79	3,45	1,48	8,34	2,60	5,22	8,29	4,74
Sierpień	4,81	6,06	1,67	10,40	3,87	5,99	11,30	6,30
Wrzesień	4,45	5,92	1,66	5,46	3,47	4,00	8,48	4,78
Październik	7,27	14,40	3,04	10,60	5,71	5,83	12,85	8,53
Listopad	4,42	17,45	1,65	7,37	3,98	3,93	8,27	6,72
Grudzień	8,77	3,26	2,09	10,90	5,39	6,07	7,80	6,33
Maksymalna średnia miesięczna	8,77	17,45	3,04	10,90	5,71	6,70	12,85	
Minimalna średnia miesięczna	3,53	1,63	1,21	3,10	2,17	3,93	5,60	
Średnia roczna dobową	4,98	7,17	1,70	6,38	3,54	5,37	7,97	5,30



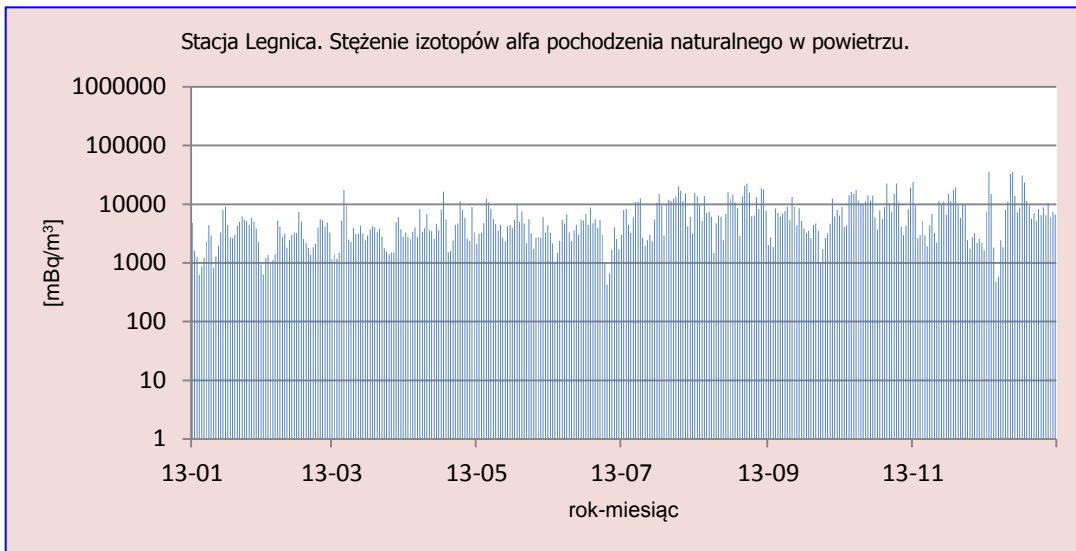
Rys.12. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2013 roku.



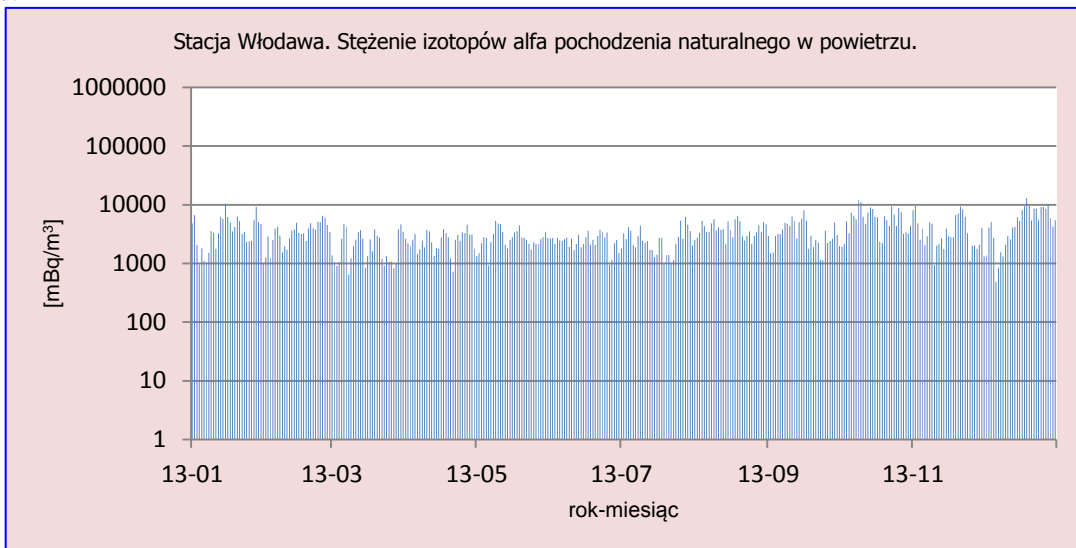
Rys.13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2013 roku.



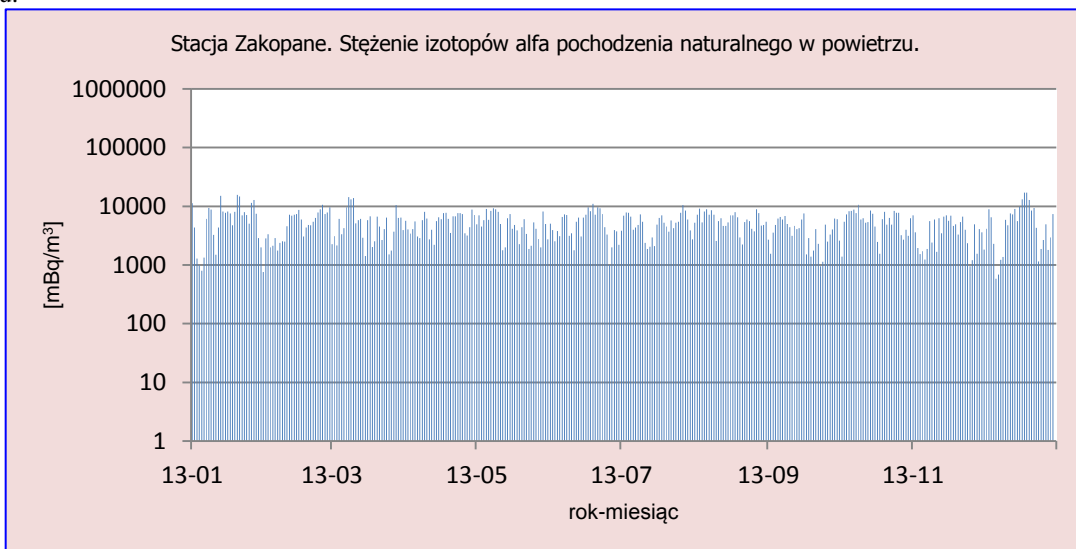
Rys.14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2013 roku.



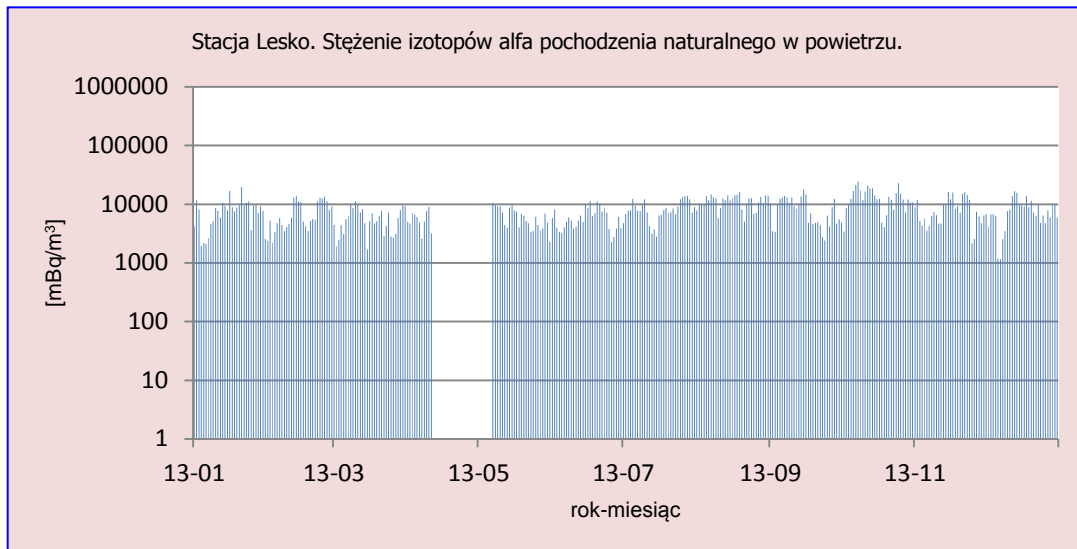
Rys.15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys.16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Zakopane w 2013 roku.



Rys.18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolu zawieszonych w powietrzu w 2013 roku wynosiło $5,3 \text{ Bq m}^{-3}$ i było niższe zarówno od wartości średniej charakterystycznej dla roku 2012 ($6,0 \text{ Bq m}^{-3}$), jak i wartości średniej ($6,9 \text{ Bq m}^{-3}$) wyznaczonej dla okresu 2000-2013. W porównywanym okresie nie obserwuje się jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie ($4,9 \text{ Bq m}^{-3}$) odnotowano w 2001, najwyższe ($8,6 \text{ Bq m}^{-3}$) natomiast w 2008 roku.

Tabela 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2013, Bq m^{-3} .

Rok	Średnie roczne stężenie
2000	5,6
2001	4,9
2002	6,3
2003	7,8
2004	7,1
2005	7,4
2006	8,0
2007	7,5
2008	8,6
2009	8,2
2010	7,0
2011	7,4
2012	6,0
2013	5,3
Średnia	6,9
Maksymalna	8,6
Minimalna	4,9

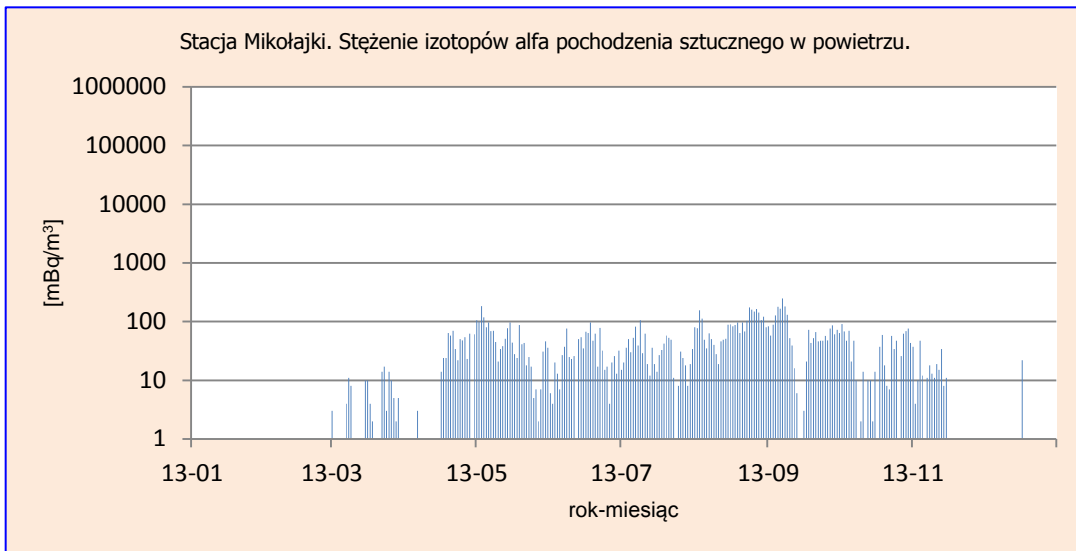
3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

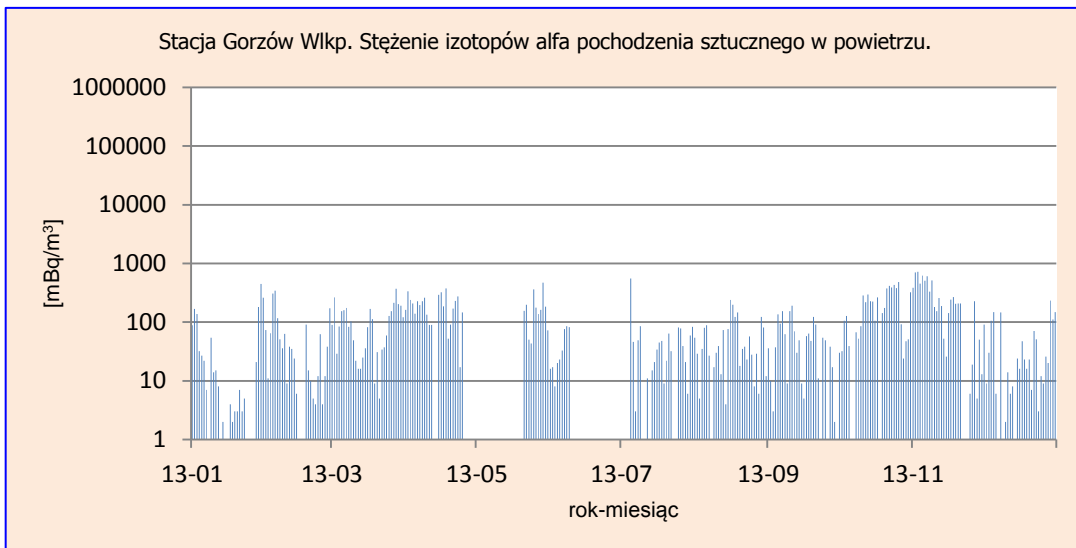
Spośród wszystkich stacji badawczych, gdzie prowadzone były pomiary stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa tylko w Mikołajkach i Świnoujściu odnotowano miesięczne wartości minimalne pozostające poniżej limitów detekcji (Tabela 5, Rys. 19-25). W przypadku pozostałych 5 miejscowości minimalne wartości średnich stężeń promieniotwórczych wyznaczonych dla okresów miesięcznych mieściły się w przedziale od 0,001 Bq m⁻³ do 0,040 Bq m⁻³. Maksymalna średnia miesięczna wartość (0,243 Bq m⁻³) wystąpiła na stacji Gorzów Wlkp., w przypadku której średnie wartości miesięczne w okresie od marca do maja oraz w październiku były kilkukrotnie wyższe od średnich miesięcznych stężeń obliczonych dla poszczególnych miesięcy na pozostałych stacjach. Wyższe, w porównaniu do innych stacji, stężenia promieniotwórcze sztucznych izotopów emitujących promieniowanie alfa na stacji Gorzów Wlkp. odnotowano również w roku 2012. Są to niskie wartości nadal na poziomie tła. Średnia obliczona dla wszystkich miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniała się w stosunkowo wąskim zakresie od 0,013 Bq m⁻³ – wartości charakterystycznej dla stycznia do 0,049 Bq m⁻³ – wartości wyznaczonej z danych w październiku. Należy podkreślić, że poziom promieniowania alfa pochodzenia sztucznego stanowił tylko ok. 0,6 % poziomu radioaktywności związanego z promieniowaniem alfa ze źródeł naturalnych.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolu w 2013 roku, Bq m⁻³.

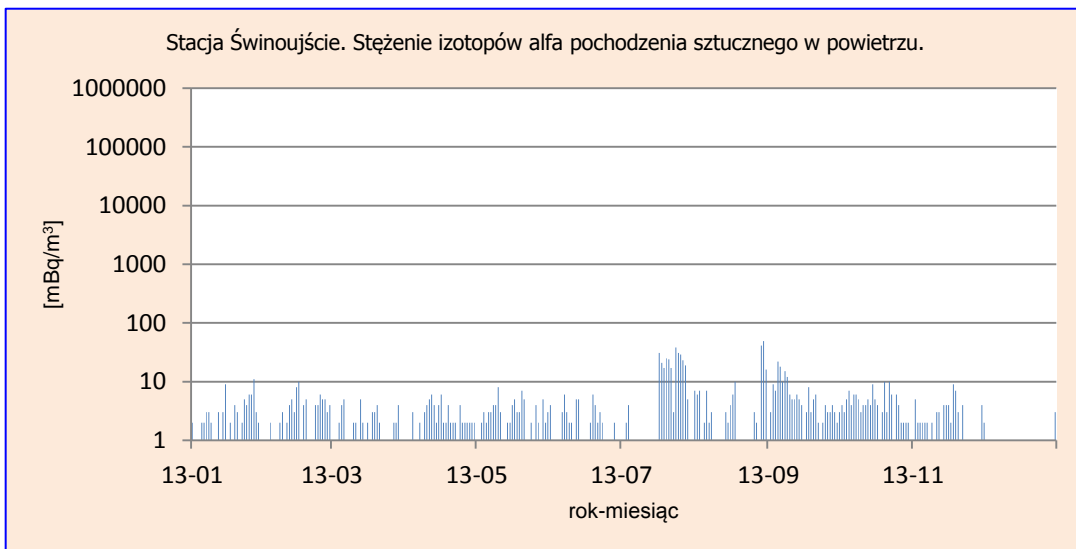
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,049	0,003	0,002	0,009	0,005	0,027	0,013
Luty	0,000	0,057	0,003	0,003	0,007	0,003	0,024	0,014
Marzec	0,004	0,104	0,002	0,001	0,008	0,007	0,043	0,024
Kwiecień	0,021	0,194	0,003	0,008	0,005	0,012	0,073	0,045
Maj	0,053	0,183	0,003	0,019	0,009	0,015	0,037	0,046
Czerwiec	0,034	0,040	0,002	0,022	0,009	0,012	0,029	0,021
Lipiec	0,033	0,064	0,009	0,054	0,009	0,027	0,058	0,036
Sierpień	0,088	0,056	0,006	0,054	0,013	0,031	0,067	0,045
Wrzesień	0,072	0,053	0,006	0,019	0,014	0,031	0,059	0,036
Październik	0,033	0,177	0,004	0,021	0,010	0,036	0,065	0,049
Listopad	0,016	0,243	0,002	0,005	0,007	0,017	0,028	0,045
Grudzień	0,002	0,045	0,000	0,004	0,010	0,009	0,035	0,015
Maksymalna średnia miesięczna	0,088	0,243	0,009	0,054	0,014	0,036	0,073	
Minimalna średnia miesięczna	0,000	0,040	0,000	0,001	0,005	0,003	0,024	
Średnia roczna dobową	0,030	0,105	0,004	0,018	0,009	0,017	0,046	0,033



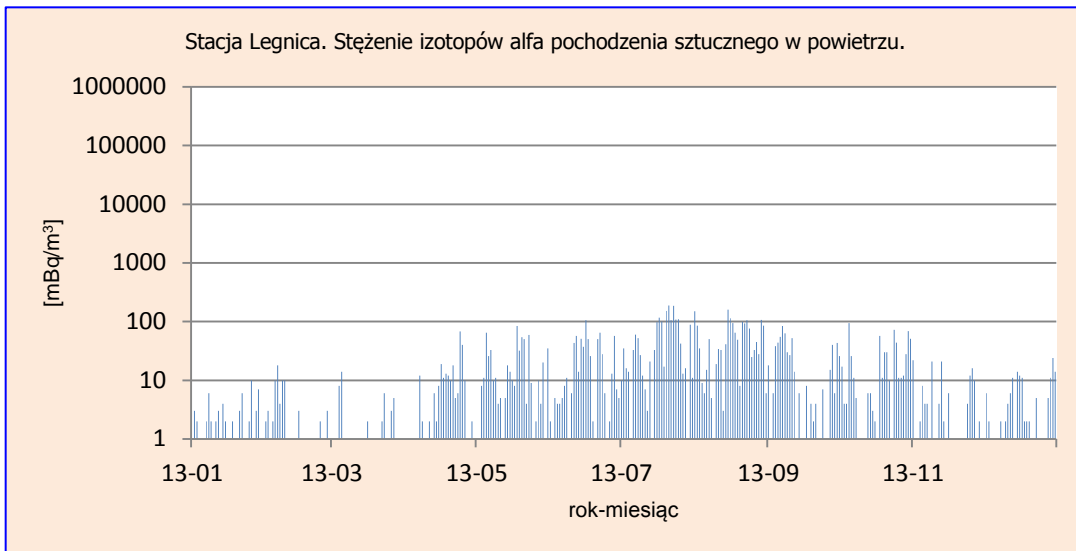
Rys.19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2013 roku.



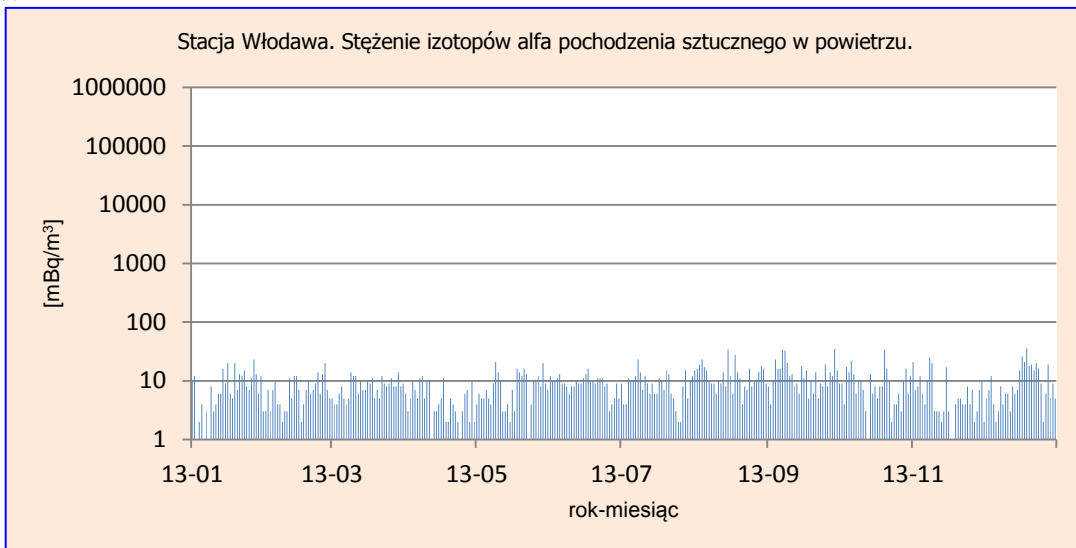
Rys.20. Radioaktywność izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2013 roku.



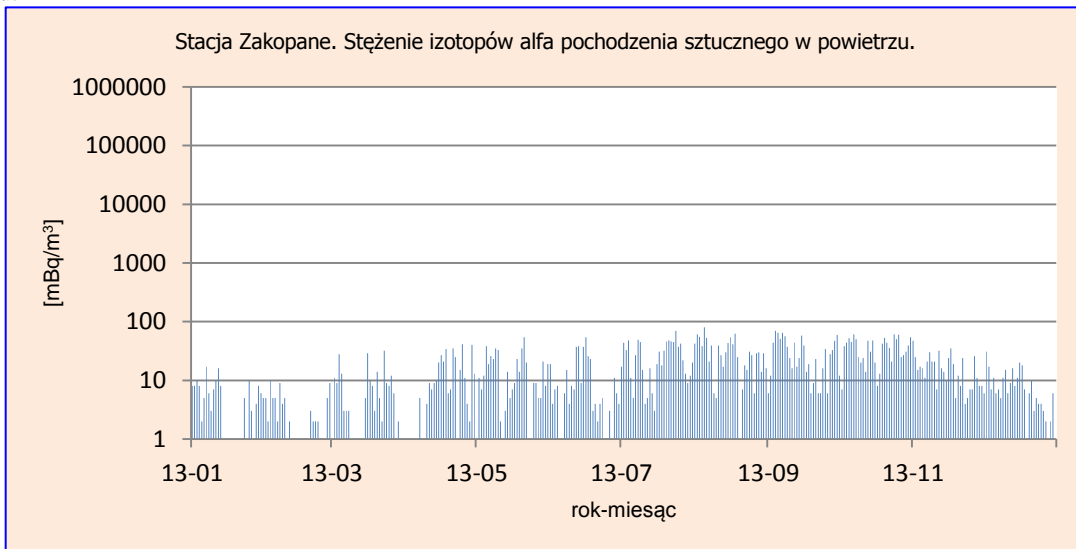
Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w roku 2013.



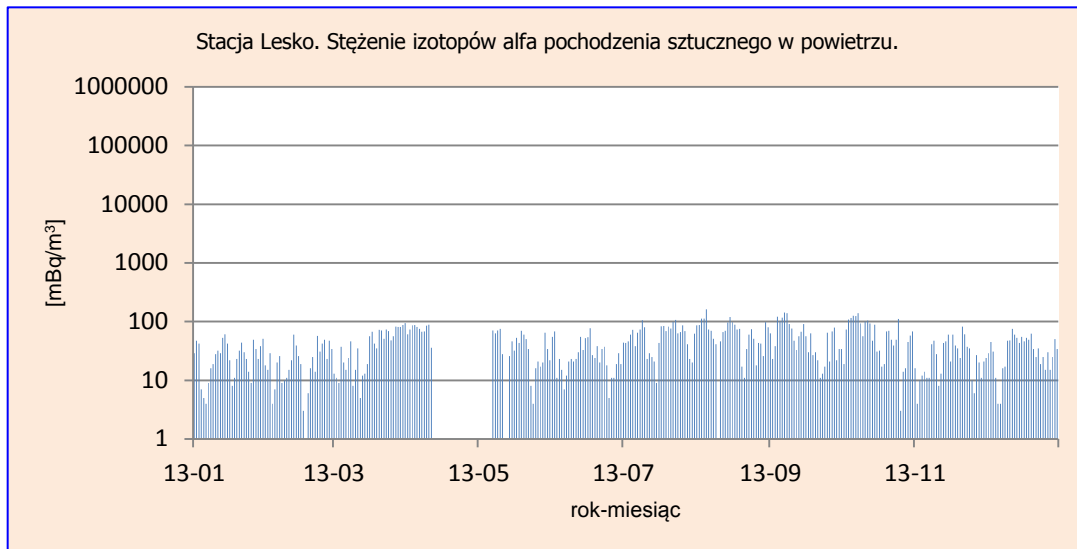
Rys.22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys.24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2013 roku.



Rys.25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2013 roku ($0,033 \text{ Bq m}^{-3}$) było nieznacznie wyższe od wartości obserwowanej w roku ubiegłym ($0,029 \text{ Bq m}^{-3}$). W latach 2000 – 2013 najniższe średnie roczne stężenie $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$ odnotowano w 2001 roku, najwyższe zaś w roku 2009 ($0,040 \text{ Bq m}^{-3}$) (Tabela 6).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2012, Bq m^{-3}

Rok	Średnie roczne stężenie
2000	0,023
2001	0,004
2002	0,005
2003	0,015
2004	0,016
2005	0,019
2006	0,029
2007	0,025
2008	0,034
2009	0,040
2010	0,039
2011	0,039
2012	0,029
2013	0,033
Średnia	0,025
Maksymalna	0,040
Minimalna	0,004

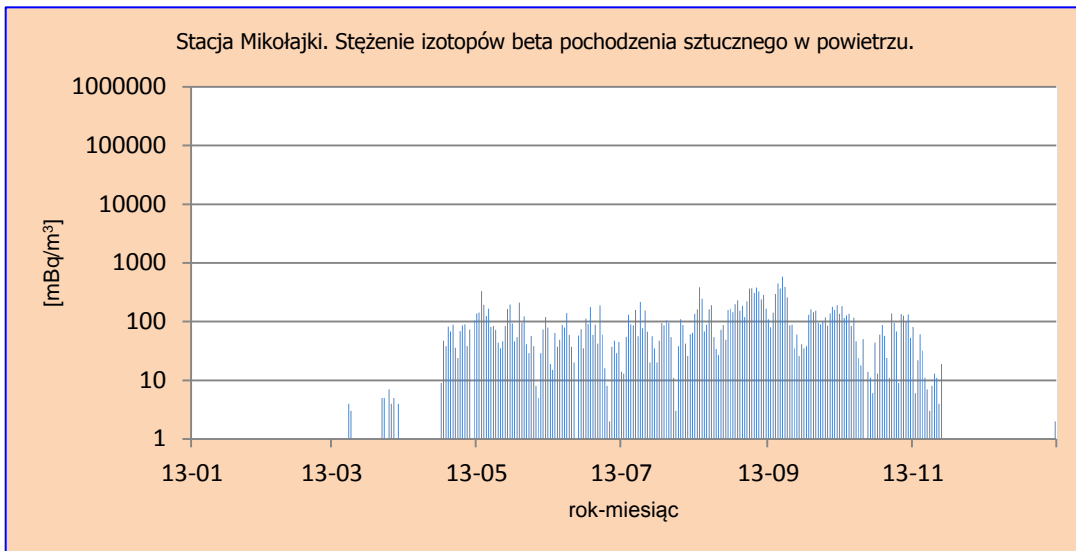
3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

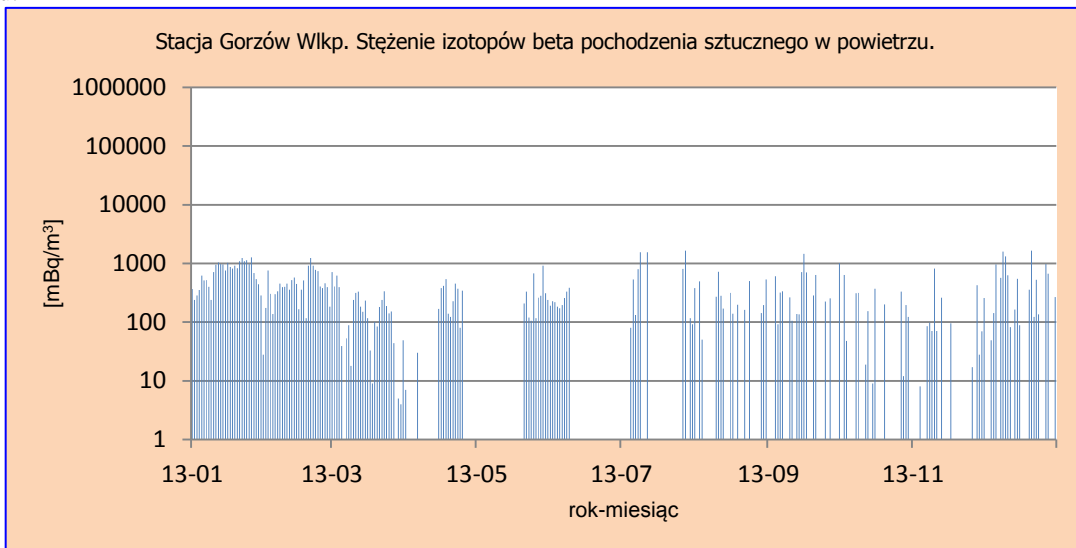
Podobnie jak w przypadku izotopów antropogenicznych emitujących promieniowanie alfa, średnie wyniki stężeń izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta dla poszczególnych miesięcy dosyć często pozostawały poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Największą częstotliwość (50% w skali roku) występowania takich wyników odnotowano na stacji Włodawa, dla której maksymalne średnie miesięczne stężenie związane z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta wynosiło zaledwie $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$ (Tabela 7, Rys. 26-32). Maksymalne wartości średnich miesięcznych stężeń promieniotwórczych zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie, od $0,033 \text{ Bq m}^{-3}$ na stacji Lesko do $0,842 \text{ Bq m}^{-3}$ w Świnoujściu. Natomiast najwyższe średnie roczne obliczone ze średnich uzyskanych dla wszystkich miesięcy uzyskano na stacjach: Gorzów Wlkp. ($0,311 \text{ Bq m}^{-3}$), Świnoujście ($0,169 \text{ Bq m}^{-3}$) i Legnica ($0,148 \text{ Bq m}^{-3}$). W pozostałych przypadkach uzyskane wyniki nie przekraczały $0,1 \text{ Bq m}^{-3}$. Dosyć znaczne zróżnicowanie charakteryzowało średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników uzyskanych na 7 stacjach. Najniższe wartości na poziomie $0,034 \text{ Bq m}^{-3}$ odnotowano w marcu, w kolejnych miesiącach obserwowano wzrost do wartości maksymalnej $0,246 \text{ Bq m}^{-3}$, która charakteryzowała poziom radioaktywności związany z obecnością sztucznych emiterów promieniowania beta w sierpniu. Po tym okresie nastąpił spadek średniego stężenia do wartości $0,036 \text{ Bq m}^{-3}$ w listopadzie, co mogłoby sugerować zależność aktywności beta w aerozolach od sezonu, wskazując na większe stężenia w miesiącach letnich związane z tempem wymywania aerozoli przez deszcz.

Tabela 7. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach w 2013 roku, Bq m^{-3} .

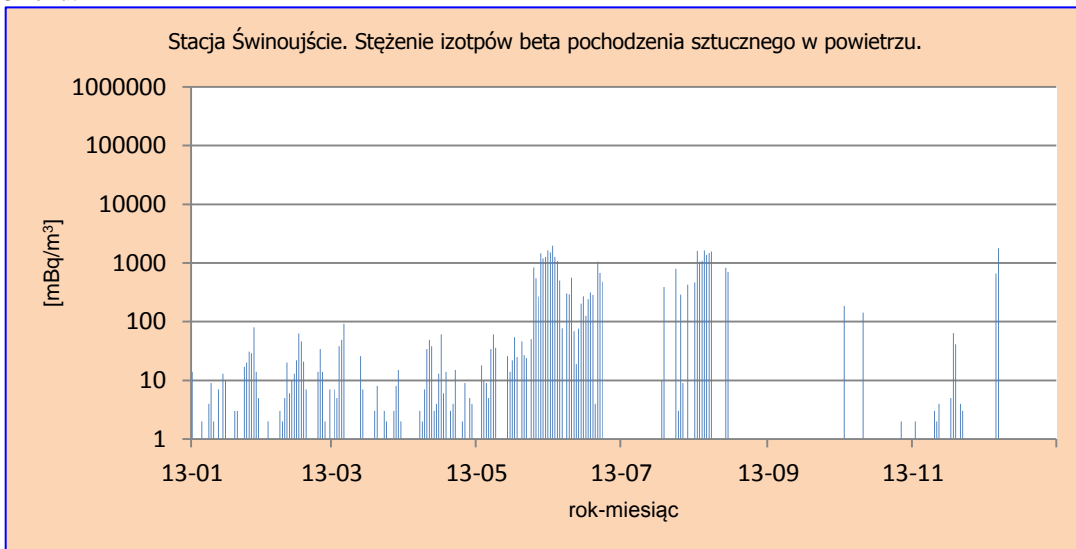
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,715	0,009	0,010	0,001	0,028	0,001	0,109
Luty	0,000	0,470	0,011	0,011	0,000	0,015	0,001	0,073
Marzec	0,001	0,176	0,009	0,010	0,002	0,041	0,001	0,034
Kwiecień	0,029	0,136	0,009	0,103	0,000	0,071	0,001	0,050
Maj	0,097	0,325	0,247	0,215	0,000	0,095	0,020	0,143
Czerwiec	0,061	0,240	0,495	0,245	0,000	0,075	0,009	0,161
Lipiec	0,070	0,731	0,241	0,360	0,001	0,144	0,033	0,226
Sierpień	0,186	0,163	0,842	0,330	0,001	0,175	0,021	0,246
Wrzesień	0,161	0,216	0,000	0,204	0,001	0,153	0,023	0,108
Październik	0,072	0,125	0,011	0,170	0,004	0,194	0,004	0,083
Listopad	0,017	0,068	0,005	0,073	0,000	0,090	0,002	0,036
Grudzień	0,000	0,370	0,143	0,046	0,000	0,049	0,001	0,087
Maksymalna średnia miesięczna	0,186	0,731	0,842	0,360	0,004	0,194	0,033	
Minimalna średnia miesięczna	0,000	0,068	0,000	0,010	0,000	0,015	0,001	
Średnia roczna dobową	0,058	0,311	0,169	0,148	0,001	0,094	0,010	0,113



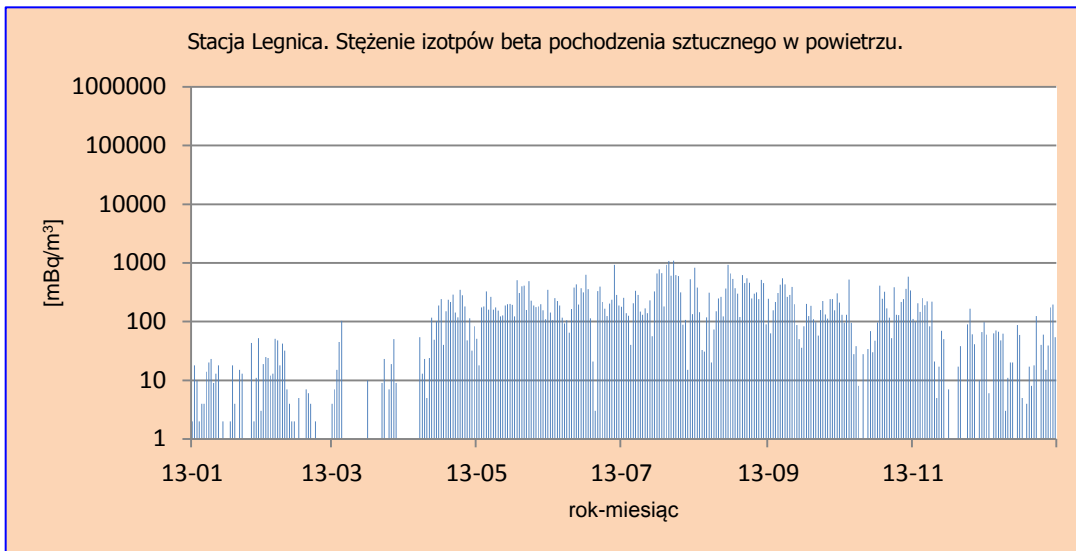
Rys.26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2013 roku.



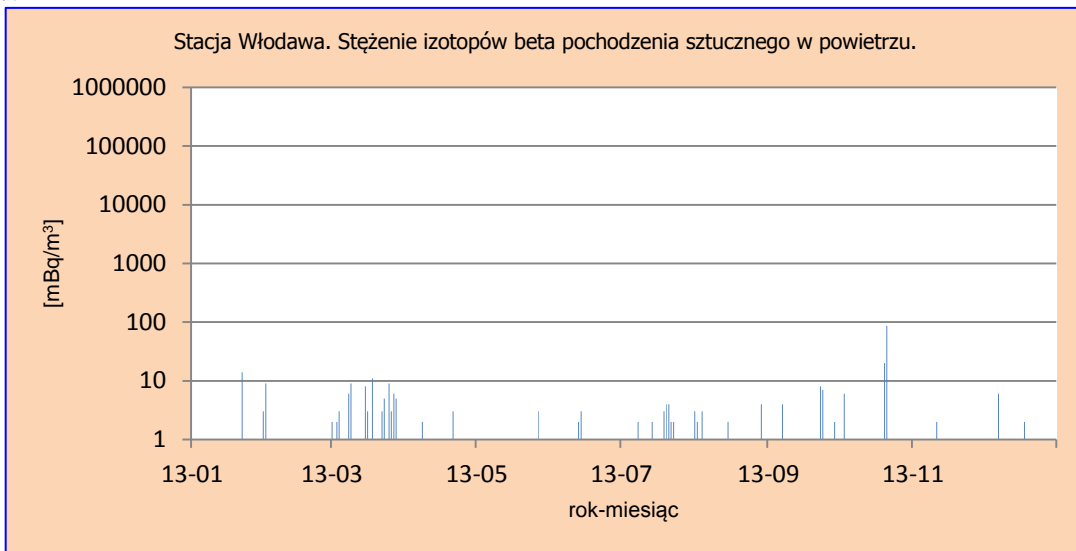
Rys.27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2013 roku.



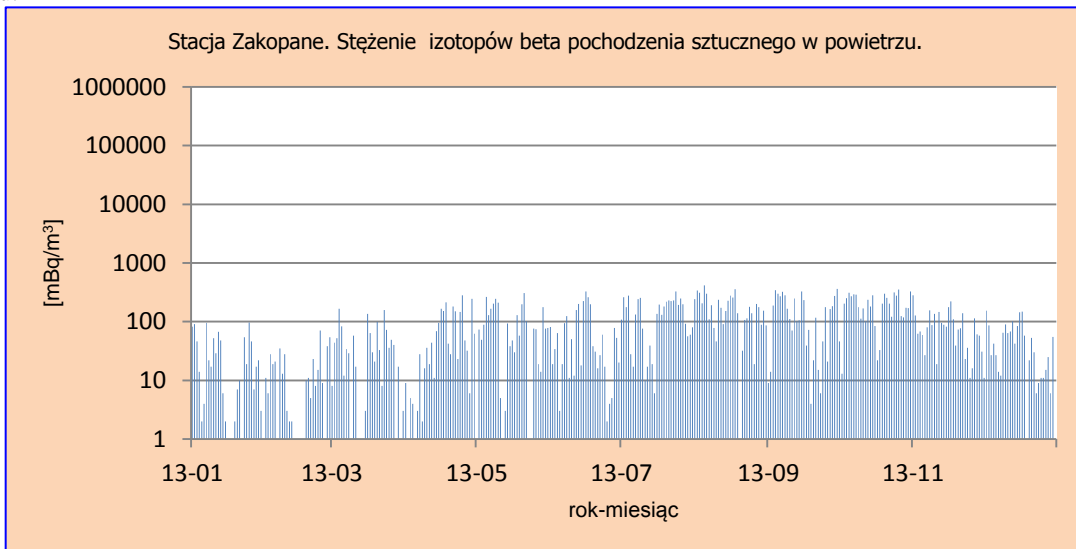
Rys.28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2013 roku.



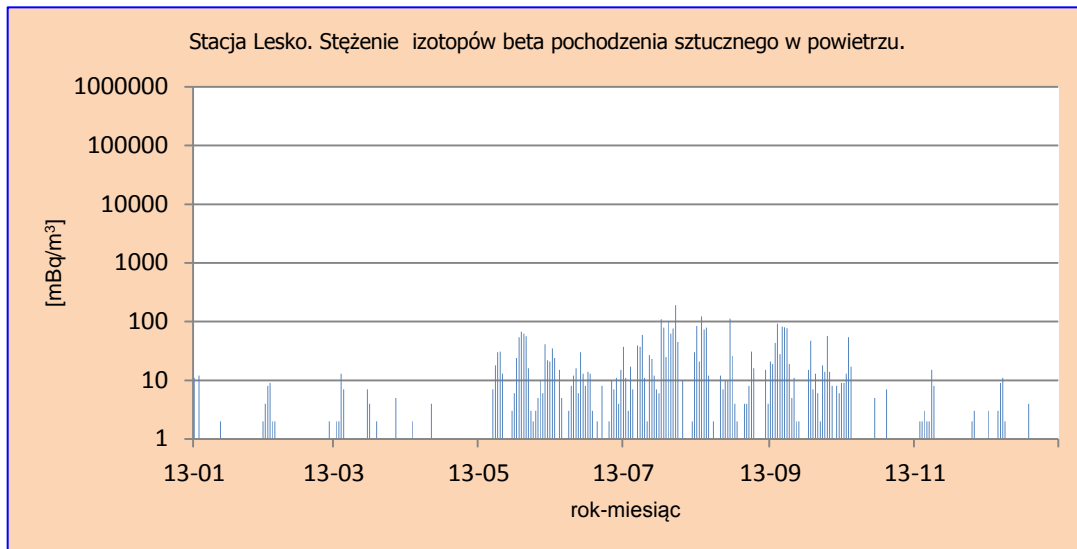
Rys.29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys.30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys.31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2013 roku.



Rys.32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w 2013 roku ($0,113 \text{ Bq m}^{-3}$) było niższe niż w ubiegłym roku (Tabela 8), kiedy obserwowano najwyższe średnie roczne stężenie spośród wartości uzyskanych w okresie od 2000 do 2013 roku. Maksymalny wynik ($0,160 \text{ Bq m}^{-3}$) był prawie trzykrotnie wyższy od średniej z omawianego okresu oraz dwukrotnie wyższy od wartości charakterystycznej dla roku 2011. Aktywność promieniotwórcza związana z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolu w 2013 była również około trzykrotnie wyższa od aktywności wynikającej z udziału izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa. Niezależnie od wahań wartości są one na poziomie tła.

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2013, Bq m^{-3}

Rok	Średnie roczne stężenie
2000	0,034
2001	0,017
2002	0,034
2003	0,040
2004	0,035
2005	0,056
2006	0,060
2007	0,048
2008	0,037
2009	0,058
2010	0,076
2011	0,083
2012	0,160
2013	0,113
Średnia	0,061
Maksymalna	0,160
Minimalna	0,017

3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego

3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego

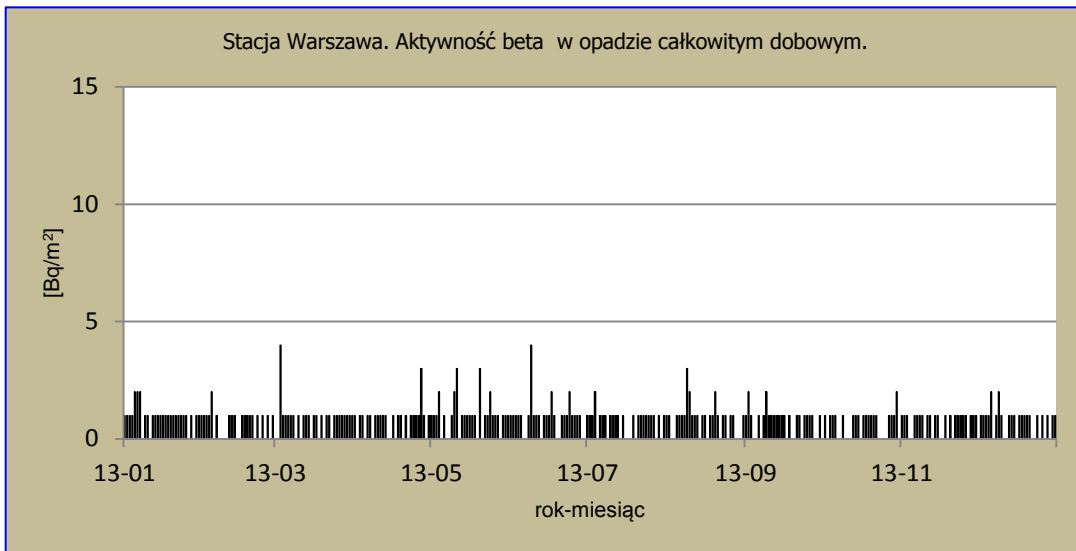
Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

Opad mokry oraz suchy dopływający do powierzchni ziemi z atmosfery nazywamy opadem całkowitym, a jego globalna aktywność beta wynika z obecności izotopów emitujących promieniowanie beta, których stężenia promieniotwórcze po zsumowaniu określają globalną aktywność. Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego przyjmowały wartości na poziomie zera na wszystkich stacjach. Maksymalne wartości dobowe zmieniały się w zakresie od 2 Bq m⁻² na stacji Świnoujście do 6 Bq m⁻² - wartości, która charakteryzowała poziom radioaktywności w Zakopanem (Tabela 9, Rys 33-41). W ubiegłym roku najwyższa wartość odnotowana dla tej stacji była o połowę mniejsza. Średnie miesięczne aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w dość wąskim zakresie. Najniższe wartości odnotowano na stacji Świnoujście, gdzie średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta zmieniały od 0,1 do 0,4 Bq m⁻², w przeciwieństwie do Zakopanego, gdzie uzyskano najwyższe średnie wartości miesięczne mieszczące się w przedziale od 0,8 do 1,6 Bq m⁻².

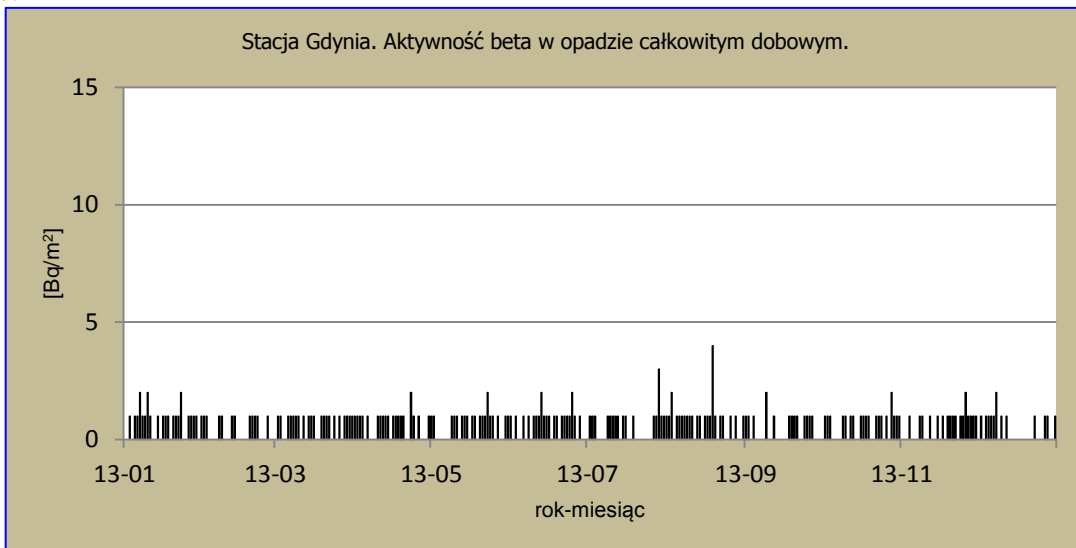
Porównując średnie wartości roczne wyznaczone na podstawie danych dobowych wynika, że najniższy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta (0,3 Bq m⁻²) charakteryzował okolice Świnoujścia, co może mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej, co przekłada się również na wyniki pomiarów prowadzonych na stacji Gdynia (średnia roczna wynosi 0,6 Bq m⁻²). Najwyższe średnie roczne aktywności beta (1,1 Bq m⁻²) w 2013 roku charakteryzowały stacje w Mikołajkach i Legnicy. Średnie stężenia promieniotwórcze izotopów beta w poszczególnych miesiącach charakterystyczne dla obszaru całej Polski (wyznaczone z wyników dobowych uzyskanych na wszystkich stacjach) zmieniały się w bardzo wąskim zakresie od 0,7 do 1,0 Bq m⁻², średnia roczna dla wszystkich stacji w 2013 roku była na poziomie 0,8 Bq m⁻², a średnia suma dobowa w tym okresie wyniosła 310,2 Bq m⁻².

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2012 roku, Bq m⁻².

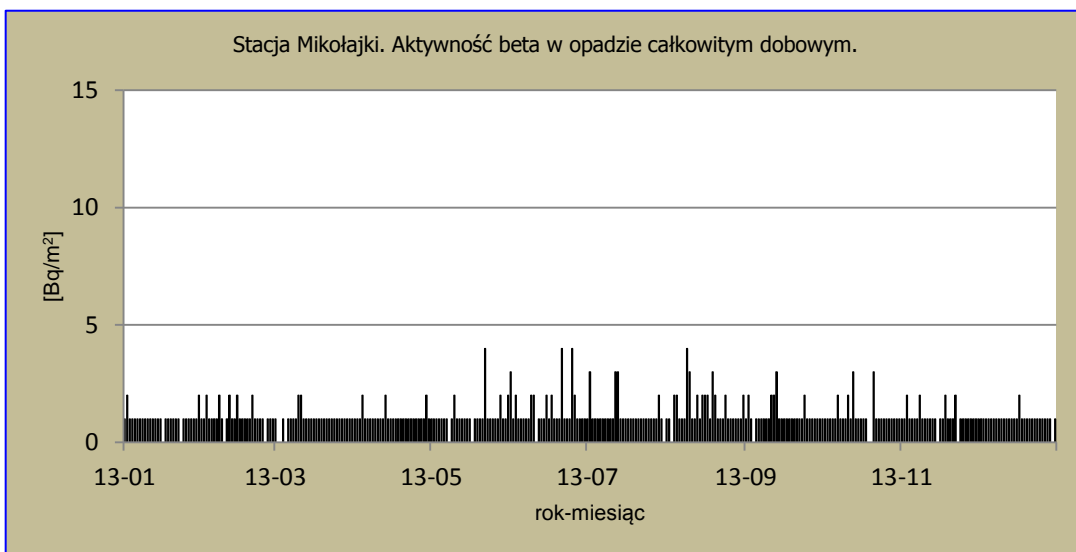
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	1,0	0,8	1,0	1,1	0,4	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
Luty	0,6	0,4	1,1	1,2	0,4	1,0	0,6	1,0	0,9	0,8
Marzec	0,8	0,7	1,0	1,2	0,4	1,0	0,8	1,2	0,9	0,9
Kwiecień	0,8	0,7	1,1	0,8	0,4	1,1	1,0	0,8	0,7	0,8
Maj	1,0	0,6	1,1	1,0	0,2	1,4	1,1	1,6	1,0	1,0
Czerwiec	0,9	0,7	1,4	0,9	0,1	1,5	1,1	1,0	1,2	1,0
Lipiec	0,7	0,6	1,2	0,9	0,3	1,0	1,2	1,0	0,7	0,8
Sierpień	0,8	0,8	1,5	1,0	0,3	1,3	0,8	1,2	0,6	0,9
Wrzesień	0,8	0,5	1,2	0,8	0,2	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8
Październik	0,6	0,6	1,1	0,6	0,4	0,9	0,7	0,8	0,6	0,7
Listopad	0,7	0,6	1,1	0,9	0,2	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8
Grudzień	0,7	0,4	1,0	1,0	0,3	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Maksymalna średnia miesięczna	1,0	0,8	1,5	1,2	0,4	1,5	1,2	1,6	1,2	1,2
Minimalna średnia miesięczna	0,6	0,4	1,0	0,6	0,1	0,8	0,6	0,8	0,6	0,6
Maksymalna wartość dobową	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	4,0	4,0	6,0	3,0	3,8
Minimalna wartość dobową	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia wartość roczna	0,8	0,6	1,1	1,0	0,3	1,1	0,9	1,0	0,8	0,8
Średnia suma roczna dobową	310,2									



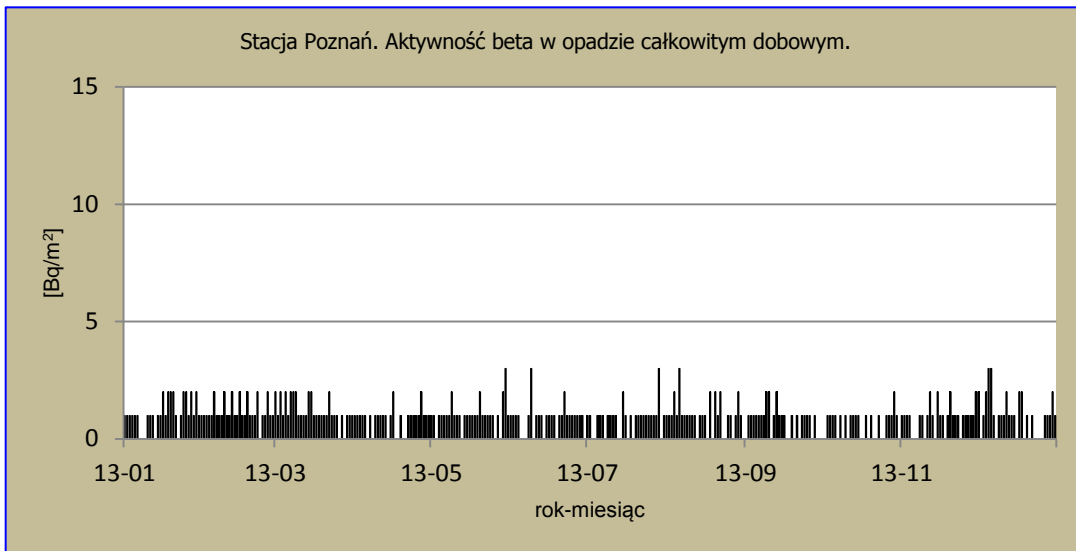
Rys.33. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Warszawa w 2013 roku.



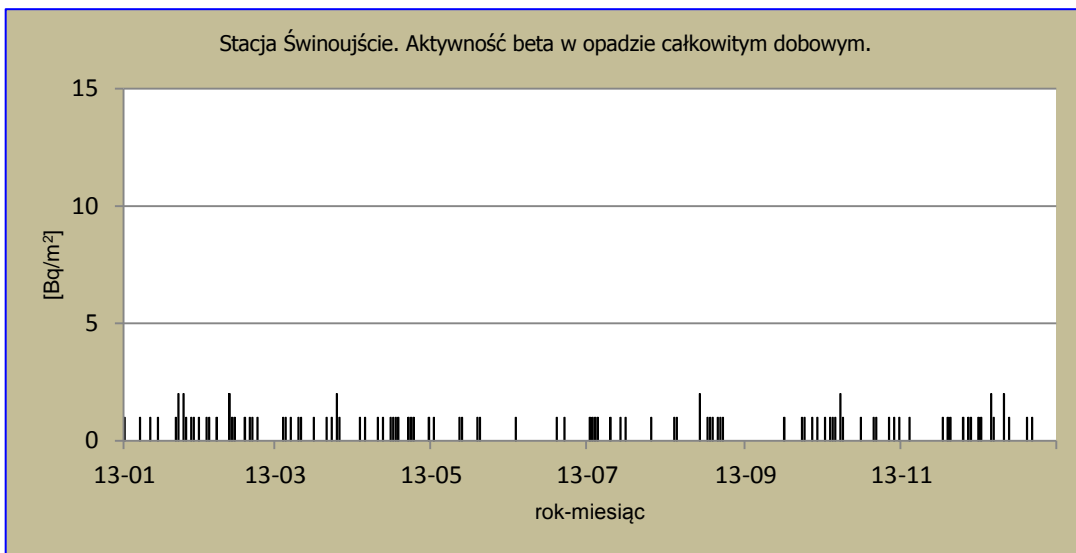
Rys.34. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Gdynia w 2013 roku.



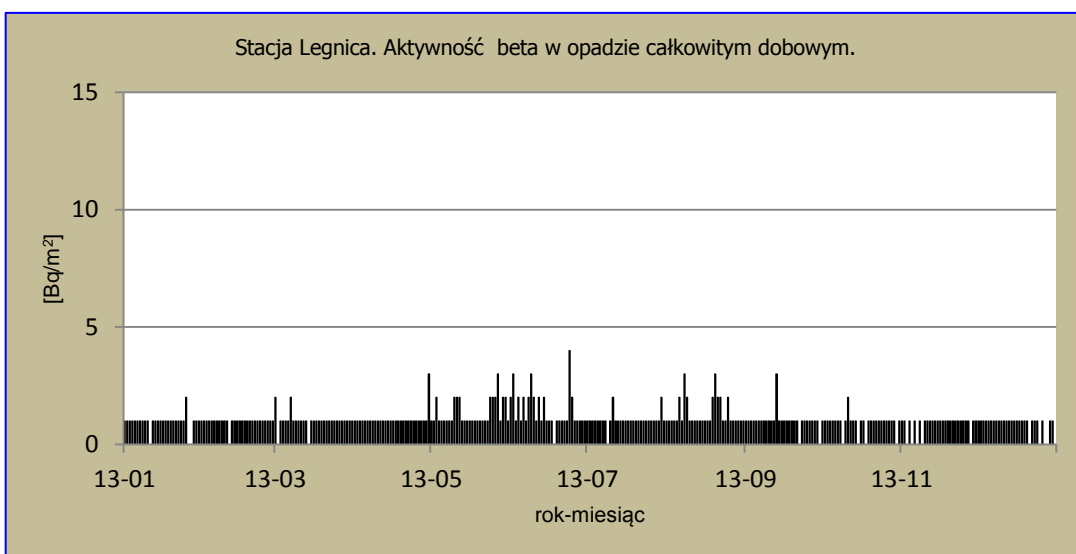
Rys.35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Mikołajki w 2013 roku.



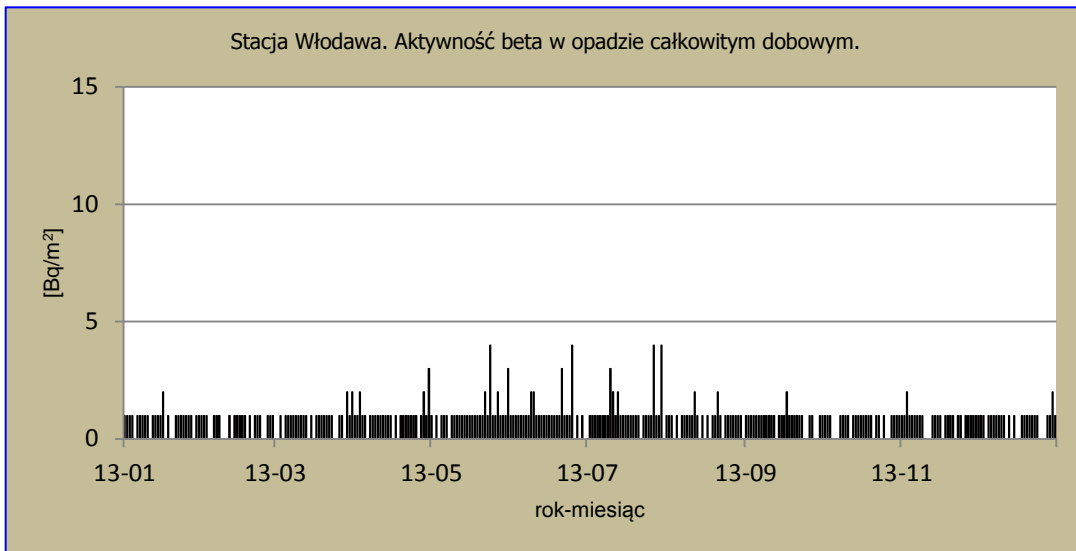
Rys.36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Poznań w 2013 roku.



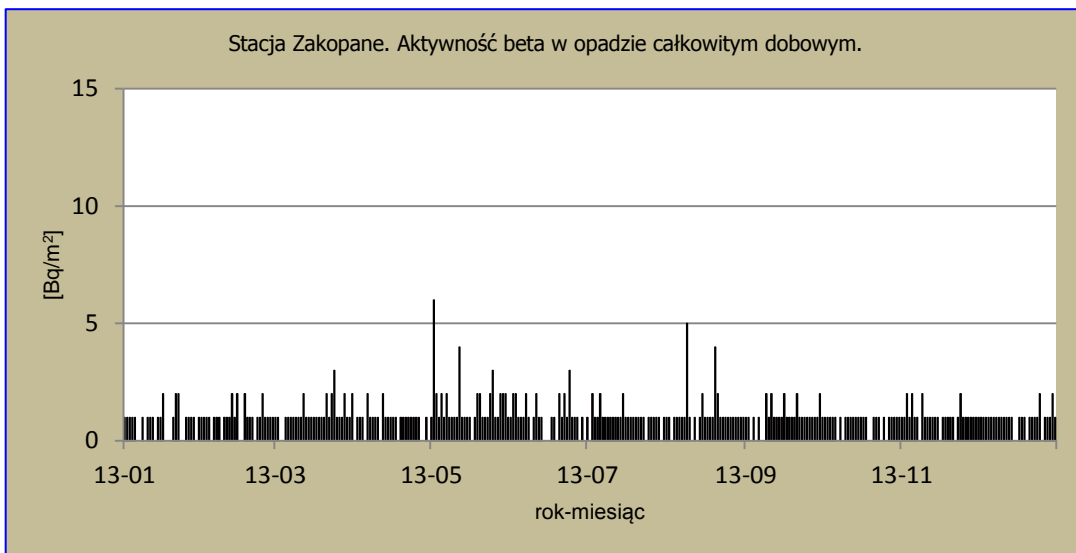
Rys.37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Świnoujście 2013 roku.



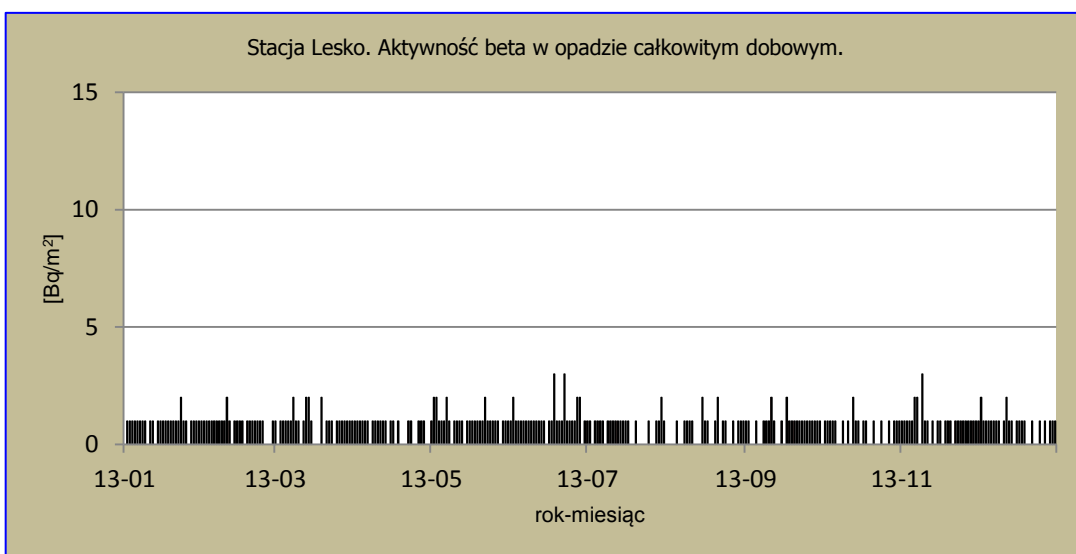
Rys.38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys.39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys.40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Zakopane w 2013 roku.



Rys.41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Sumaryczna aktywność beta, opisująca dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta do powierzchni ziemi, charakterystyczna dla całego obszaru Polski obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2013 roku wyniosła 0,31 kBq m⁻²rok⁻¹ (Tabela 10) i była bardzo zbliżona do wartości średniej otrzymanej dla okresu 2000-2013 (0,32 kBq m⁻²rok⁻¹).

Tabela 10. Średnia sumaryczna aktywność beta całkowitego opadu dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2013, kBq m⁻²rok⁻¹

Rok	Sumaryczna aktywność beta
2000	0,33
2001	0,34
2002	0,34
2003	0,32
2004	0,34
2005	0,32
2006	0,31
2007	0,31
2008	0,30
2009	0,33
2010	0,33
2011	0,33
2012	0,32
2013	0,31
Średnia	0,32
Maksymalna	0,34
Minimalna	0,30

3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej

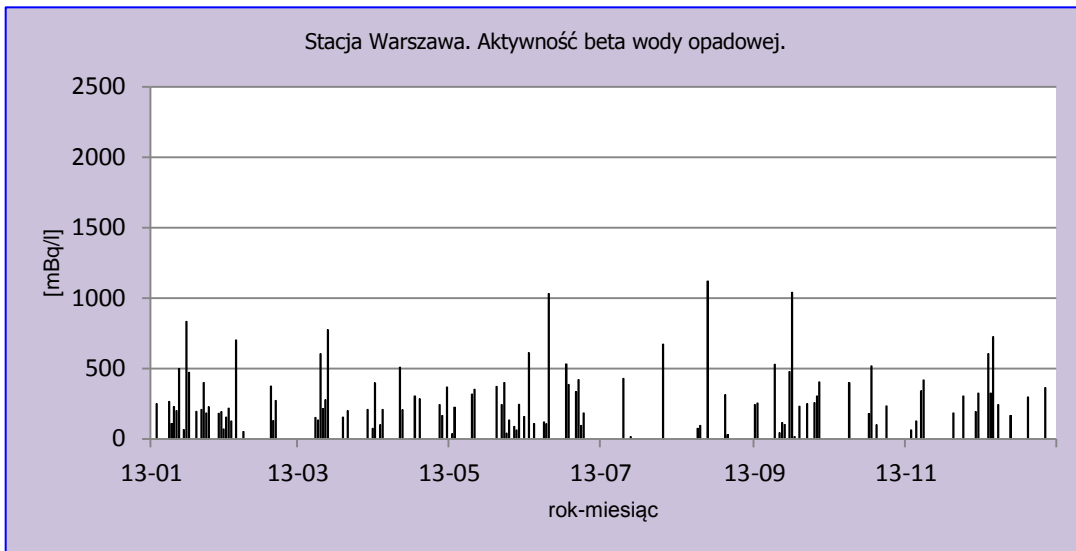
Globalną aktywność beta wody opadowej określa się jako aktywność izotopów emitujących promieniowanie beta w całkowitym opadzie dobowym odniesioną do objętości wody opadowej. Obliczana jest tylko wtedy, gdy wysokość opadu przekracza 1 mm.

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

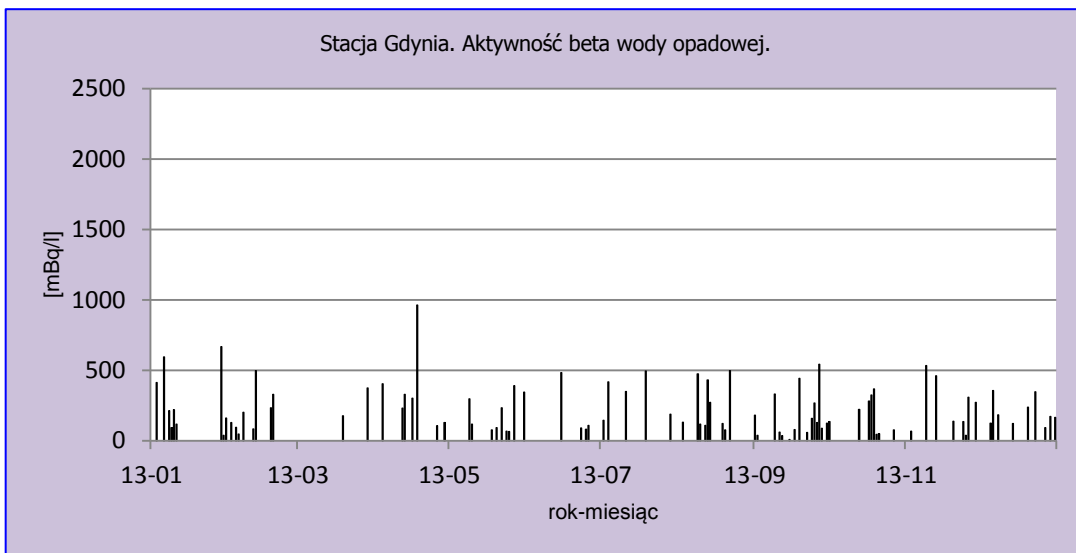
Maksymalna wartość dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej w 2013 roku wynosząca 1991,0 mBq l⁻¹ wystąpiła na stacji Gorzów Wielkopolski (Tabela 11, Rys. 42-50). Dla porównania w ubiegłym roku maksymalną wartość odnotowano na stacji Zakopane (2343 mBq l⁻¹). Na sześciu kolejnych stacjach badawczych maksymalne dobowe wartości były powyżej 1000 mBq l⁻¹, natomiast w Gdyni i Włodawie otrzymano nieco niższe wyniki, odpowiednio: 964,0 i 923,0 mBq l⁻¹. Maksymalne wartości średnie wyznaczone dla poszczególnych miesięcy zmieniały od 352,9 mBq l⁻¹ w kwietniu na stacji Gdynia do 652,9 mBq l⁻¹ w listopadzie na stacji Mikołajki. Biorąc pod uwagę średnie roczne aktywności beta wody opadowej, podobnie jak w roku 2012 najniższe wartości odnotowano na stacji Świnoujście (181,2 mBq l⁻¹) i w dalszej kolejności na stacji Gdynia (238,5 mBq l⁻¹), najwyższe zaś na stacjach Mikołajki (425,5 mBq l⁻¹). Analizując kolejne wyniki stwierdza się brak znaczących różnic pomiędzy średnimi aktywnościami beta wyznaczonymi dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji. Najniższą wartość średnią wyznaczono dla września (233,2 mBq l⁻¹), najwyższą zaś dla grudnia (373,0 mBq l⁻¹).

Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2013 roku, mBq l⁻¹.

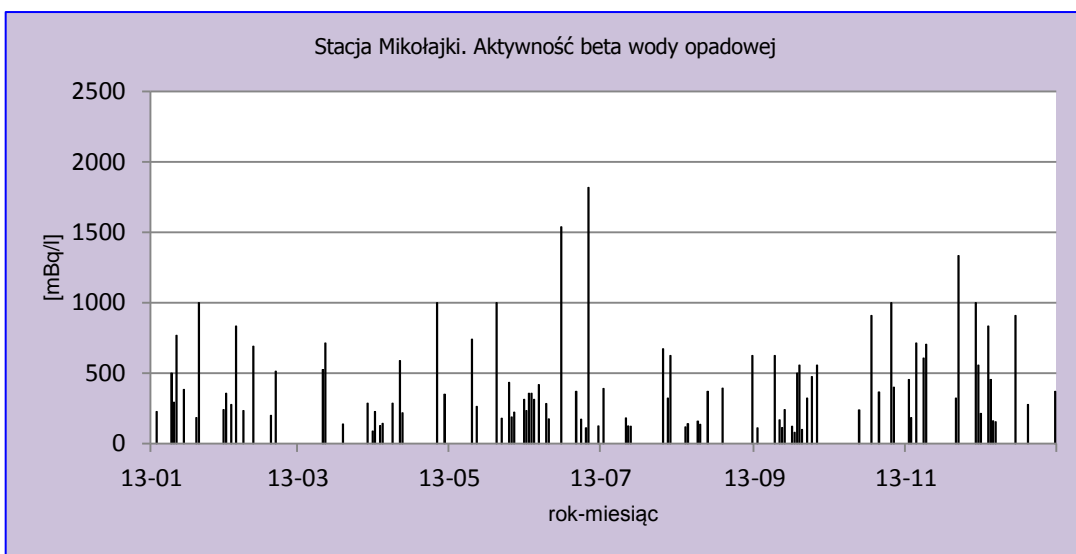
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Srednia
Styczeń	263,4	280,8	439,8	352,1	122,9	224,2	360,0	329,9	350,6	299,7
Luty	268,7	202,4	458,2	408,5	242,9	356,0	287,8	422,8	376,1	333,2
Marzec	279,2	277,0	350,8	643,3	110,0	421,0	353,6	308,3	337,2	340,2
Kwiecień	278,9	352,9	367,5	347,8	313,0	416,2	262,7	558,3	216,9	340,2
Maj	206,3	187,7	417,9	301,6	114,1	405,0	253,3	360,8	265,1	275,3
Czerwiec	357,5	190,5	482,4	251,4	90,6	321,8	286,5	160,9	210,4	257,6
Lipiec	372,8	319,0	348,6	373,5	127,6	390,3	339,4	151,6	271,3	299,3
Sierpień	326,8	248,4	278,0	541,3	371,2	465,7	312,0	265,5	380,0	342,6
Wrzesień	304,6	170,1	305,3	309,2	82,2	256,2	256,7	212,9	234,1	233,2
Październik	286,0	188,3	582,6	414,0	195,3	365,0	351,8	210,2	440,3	329,8
Listopad	244,9	244,8	652,9	350,4	179,2	235,8	226,4	302,0	314,1	295,7
Grudzień	389,3	200,4	421,6	486,1	225,8	363,0	519,1	421,3	392,2	373,0
Maksymalna średnia miesięczna	389,3	352,9	652,9	643,3	371,2	465,7	519,1	558,3	440,3	476,3
Minimalna średnia miesięczna	206,3	170,1	278,0	251,4	82,2	224,2	226,4	151,6	210,4	196,4
Maksymalna dobową wartość	1120,0	964,0	1818,0	1991,0	1260,0	1450,0	923,0	1974,0	1025,0	1391,7
Minimalna dobową wartość	15,0	10,0	79,0	15,0	7,0	46,0	45,0	27,0	28,0	29,4
Średnia roczna	298,2	238,5	425,5	398,3	181,2	351,7	317,4	308,7	315,7	315,0



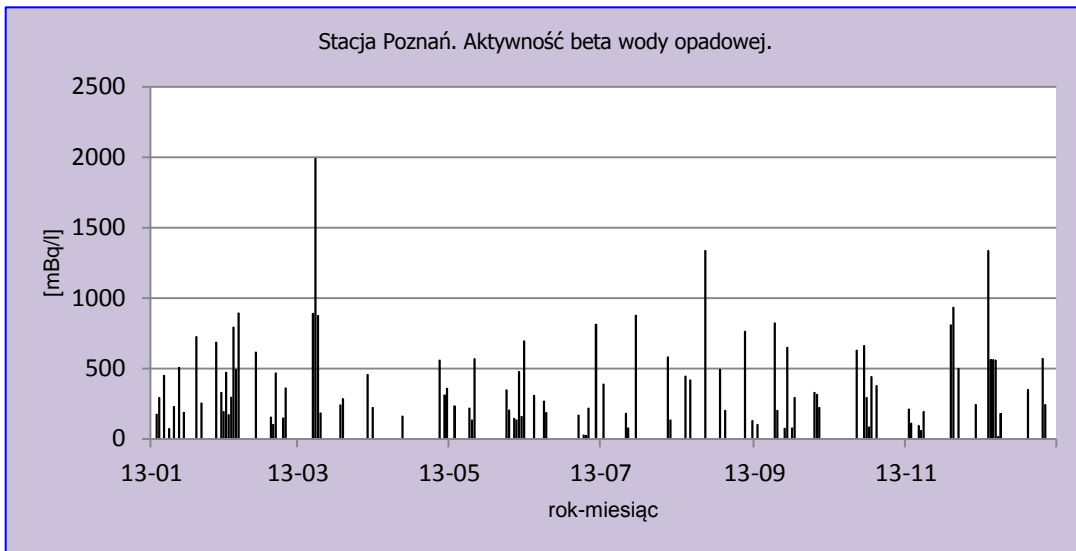
Rys.42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2013 roku.



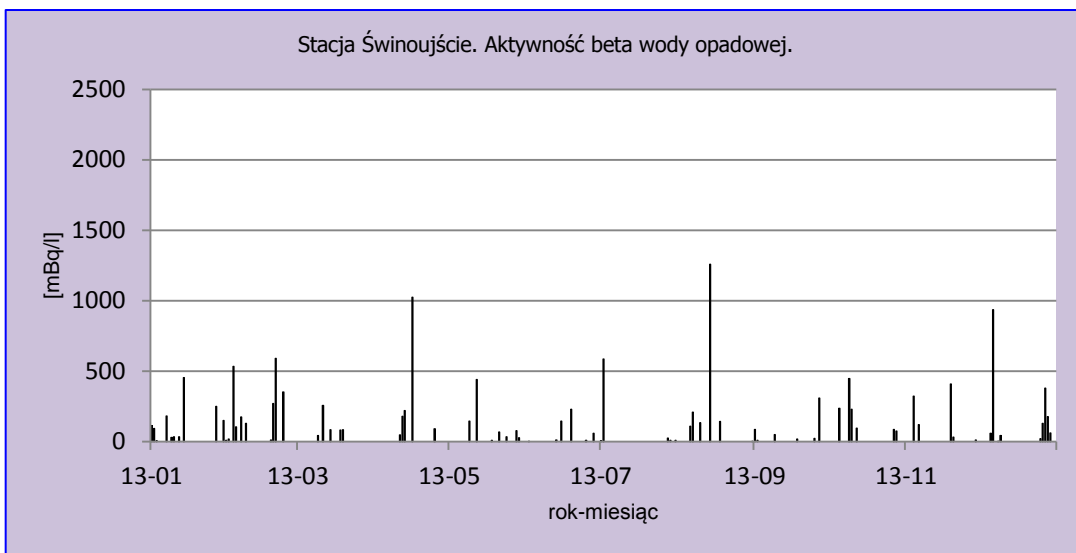
Rys.43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2013 roku.



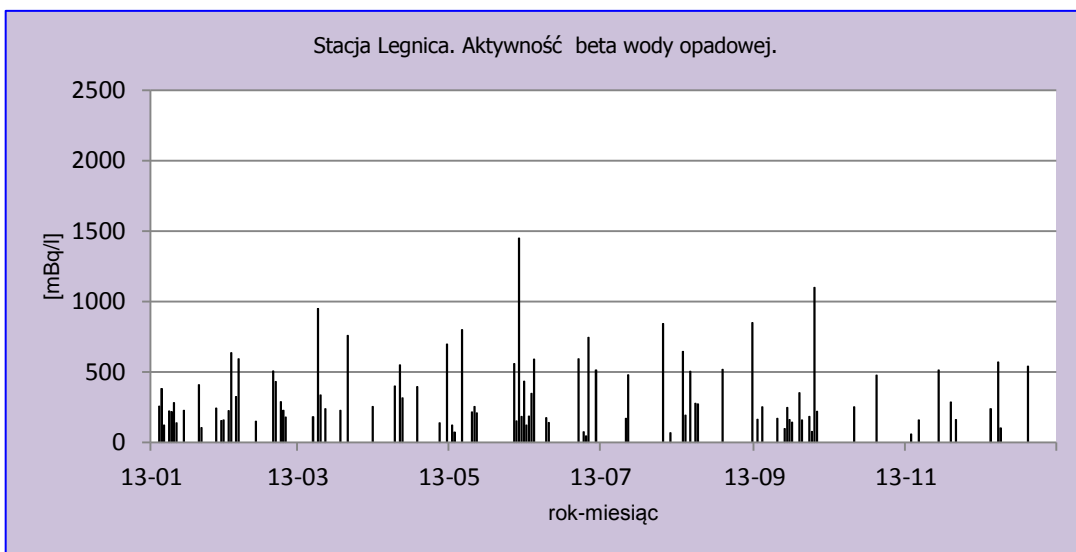
Rys.44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2013 roku.



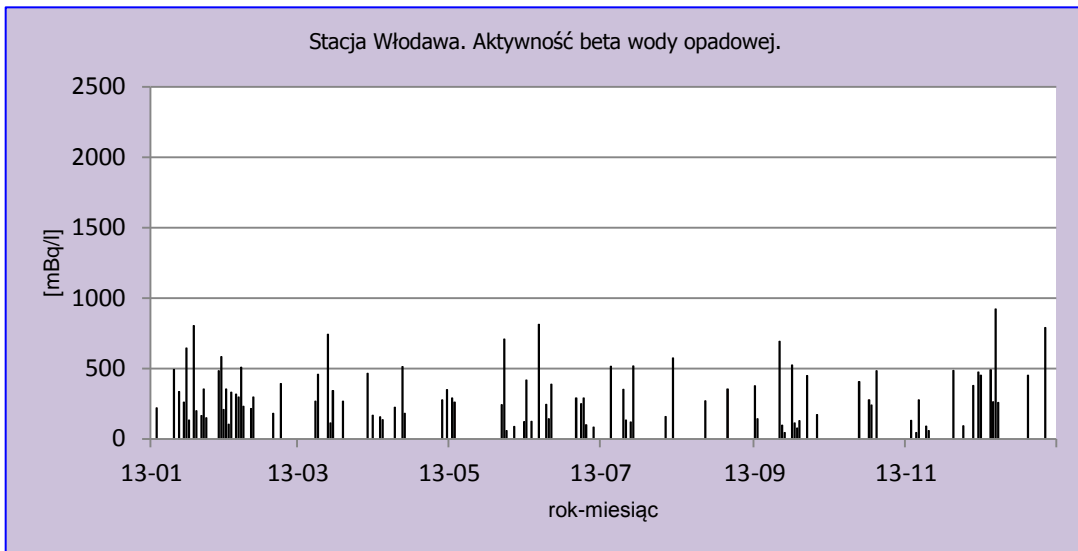
Rys.45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2013 roku.



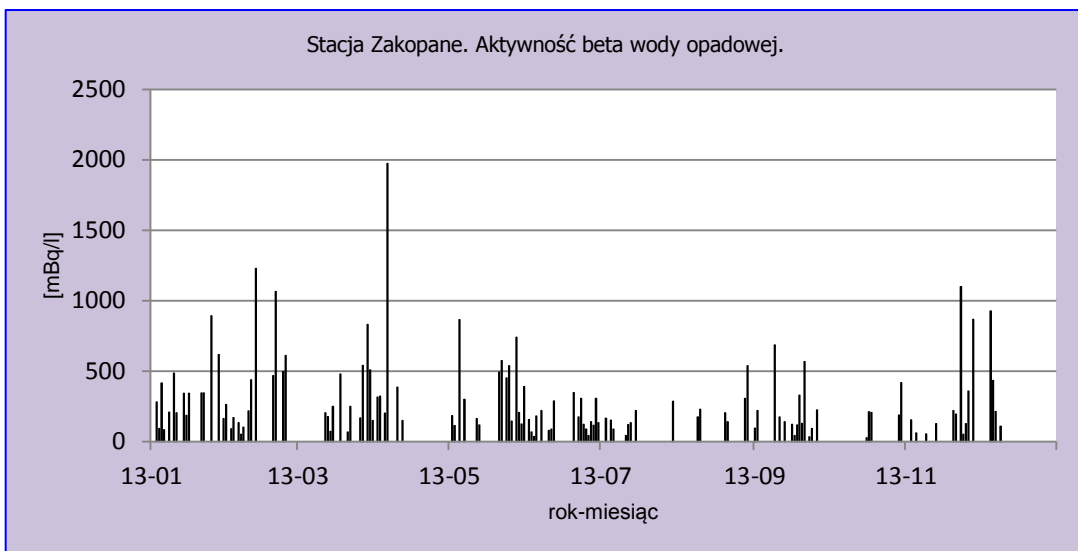
Rys.46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2013 roku.



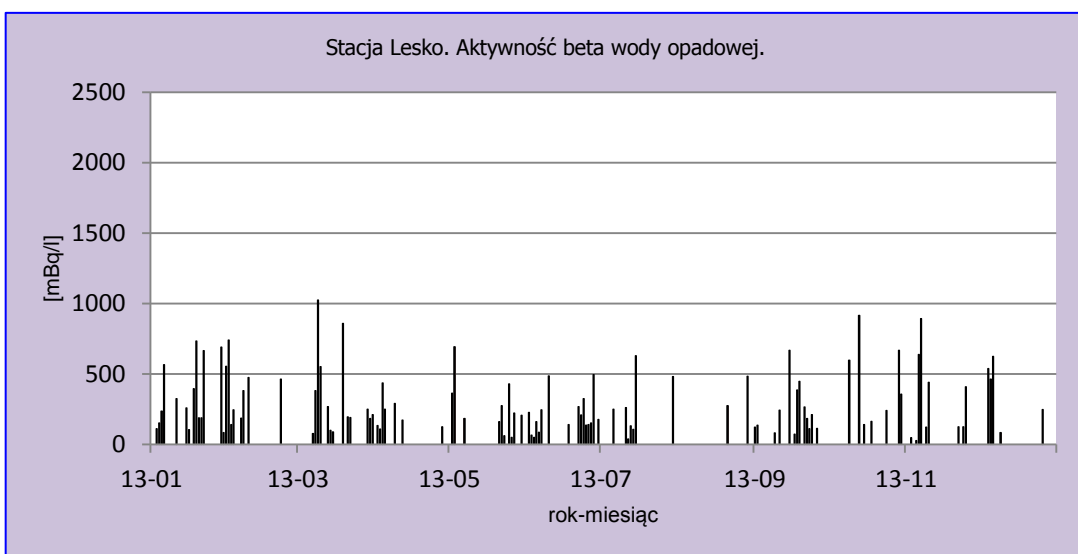
Rys.47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys.48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys.49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2013 roku.



Rys.50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej charakterystyczna dla 2013 roku (315 mBq l^{-1}) jest najniższą wartością obserwowaną w latach 2000-2013. Maksymalny wynik otrzymany w badanym okresie przypada na rok 2003 i wynosi 376 mBq l^{-1} , natomiast wartość średnia uzyskana ze wszystkich lat jest równa 348 mBq l^{-1} .

Wahania tych wartości są kombinacją nieregularności i poziomu opadów deszczu, rodzaju chmur jak również aktywności dobowej beta danego dnia. Jak widzimy jednak wartości od roku 2000 mieszczą się zakresie $300\text{-}400 \text{ mBq l}^{-1}$. Jest to poziom tła i nie wskazuje na żadne anomalie.

Tabela 12. Średnie aktywności beta wody opadowej w latach 2000 – 2013, mBq l^{-1} .

Rok	Aktywność beta (mBq/l)
2000	352
2001	371
2002	348
2003	376
2004	374
2005	358
2006	346
2007	333
2008	338
2009	345
2010	328
2011	352
2012	342
2013	315
Średnia	348
Minimalna	315
Maksymalna	376

3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego

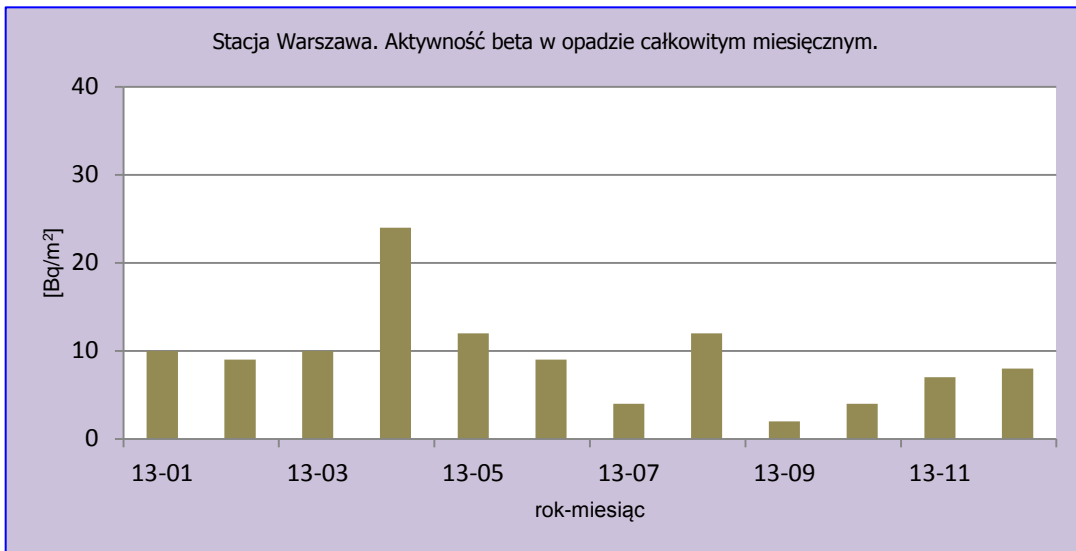
Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego związana jest, podobnie jak ma to miejsce w przypadku globalnej aktywności całkowitego opadu dobowego, z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w próbkach całkowitego opadu zbieranych w reżimie miesięcznym.

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

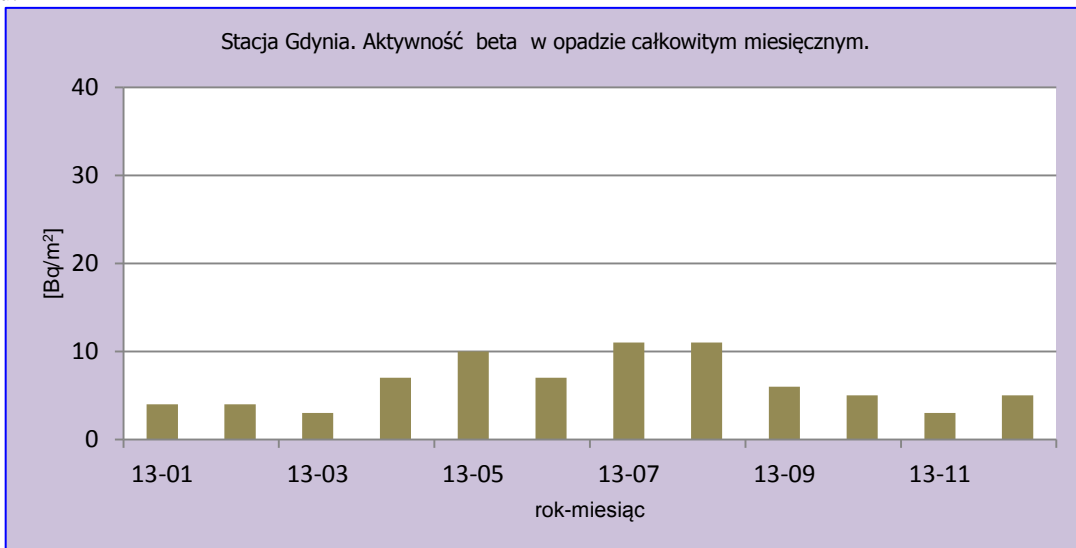
Najniższe aktywności beta miesięcznych próbek opadu całkowitego w 2013 roku odnotowano na stacji Świnoujście, co potwierdzają zarówno wyniki uzyskane dla poszczególnych miesięcy, które oscylowały między 1 - 9 Bq m⁻², jak również średnia obliczona ze wszystkich otrzymanych wyników równa 3,8 Bq m⁻² (Tabela 13, Rys. 51-59). Na pozostałych stacjach średnie stężenia promieniotwórcze beta całkowitego opadu miesięcznego zmieniały się w stosunkowo wąskim zakresie od 6,3 Bq m⁻² na stacji Gdynia do 9,3 Bq m⁻² w Warszawie, gdzie w kwietniu zmierzono najwyższą aktywność równą 24 Bq m⁻². W kolejnych miejscowościach maksymalne odnotowane stężenia były już znacznie niższe i mieściły się w przedziale od 9 do 16 Bq m⁻².

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2013, w Bq m⁻².

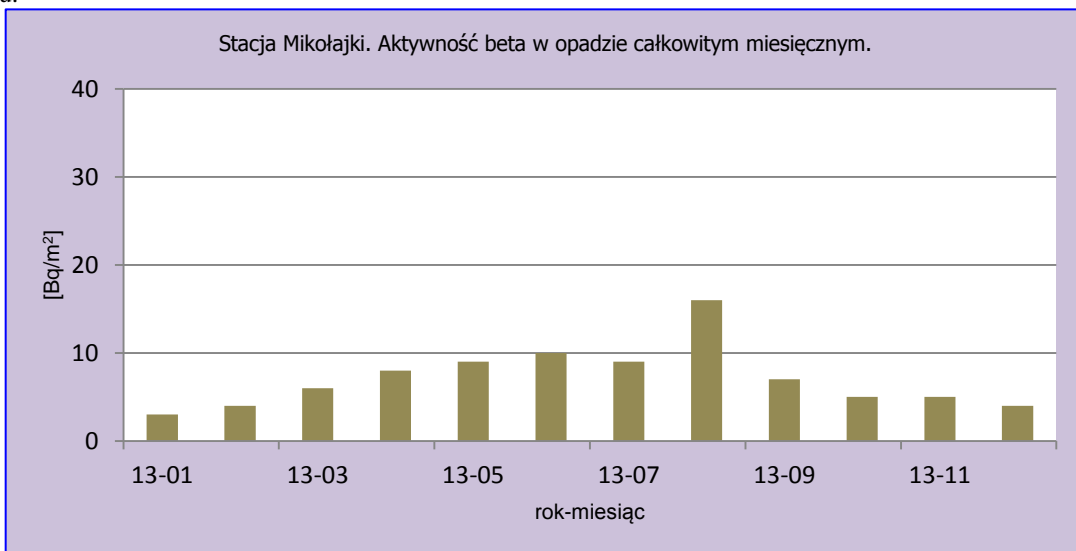
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	10	4	3	6	1	9	9	5	6
Luty	9	4	4	6	1	9	7	5	8
Marzec	10	3	6	11	1	7	6	4	8
Kwiecień	24	7	8	6	4	7	7	4	5
Maj	12	10	9	14	5	8	13	11	12
Czerwiec	9	7	10	8	8	11	15	11	11
Lipiec	4	11	9	15	4	8	13	9	8
Sierpień	12	11	16	10	3	12	5	16	6
Wrzesień	2	6	7	10	2	7	8	9	9
Październik	4	5	5	7	9	5	4	8	6
Listopad	7	3	5	5	4	3	5	7	7
Grudzień	8	5	4	5	3	4	3	4	5
Średnia	9,3	6,3	7,2	8,6	3,8	7,5	7,9	7,8	7,6
Maksymalna	24	11	16	15	9	12	15	16	12
Minimalna	2	3	3	5	1	3	3	4	5
Średnia roczna	7,3								
Maks. Roczna	24								
Min. Roczna	1								



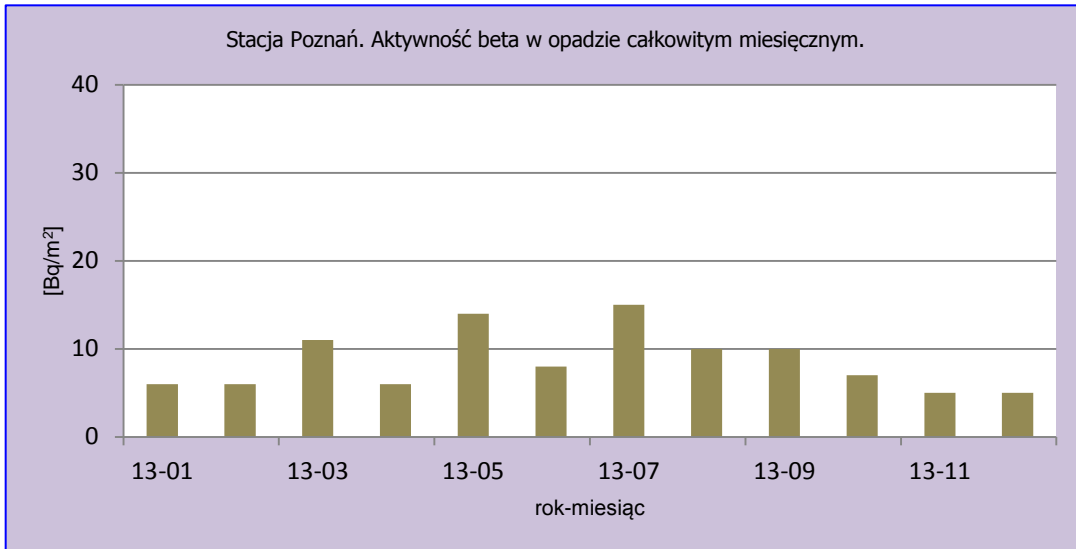
Rys.51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2013 roku.



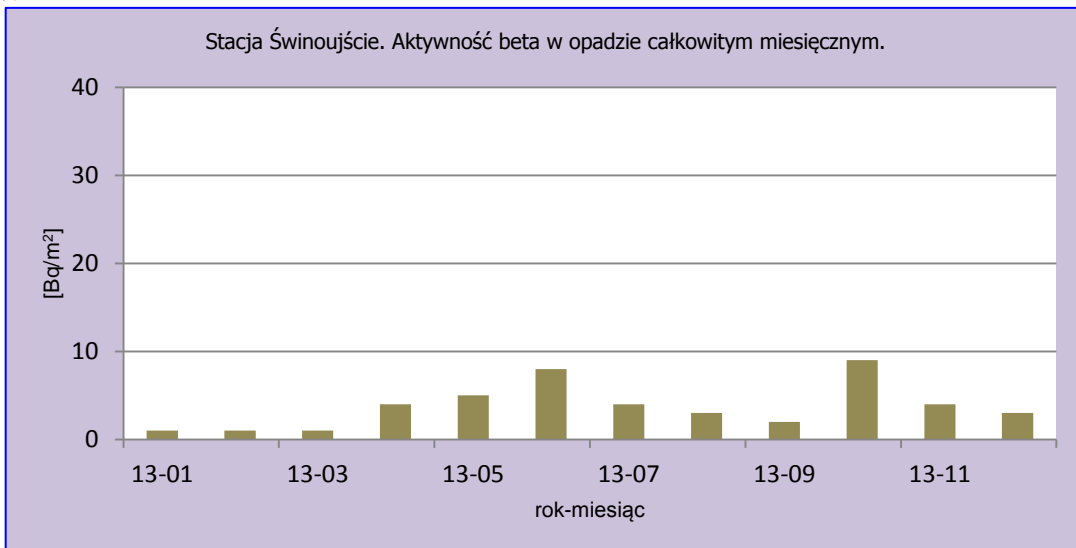
Rys.52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2013 roku.



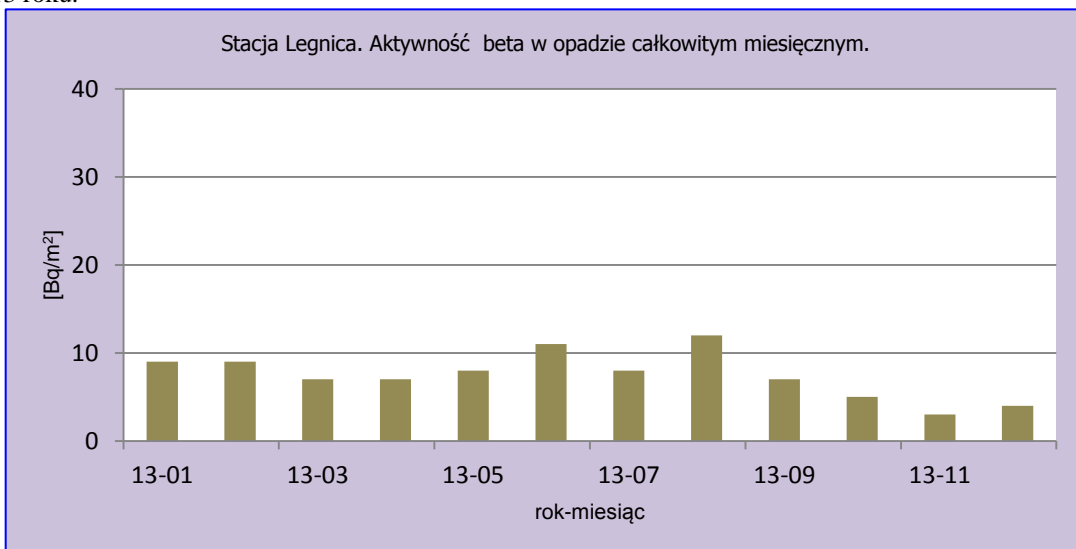
Rys.53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2013 roku.



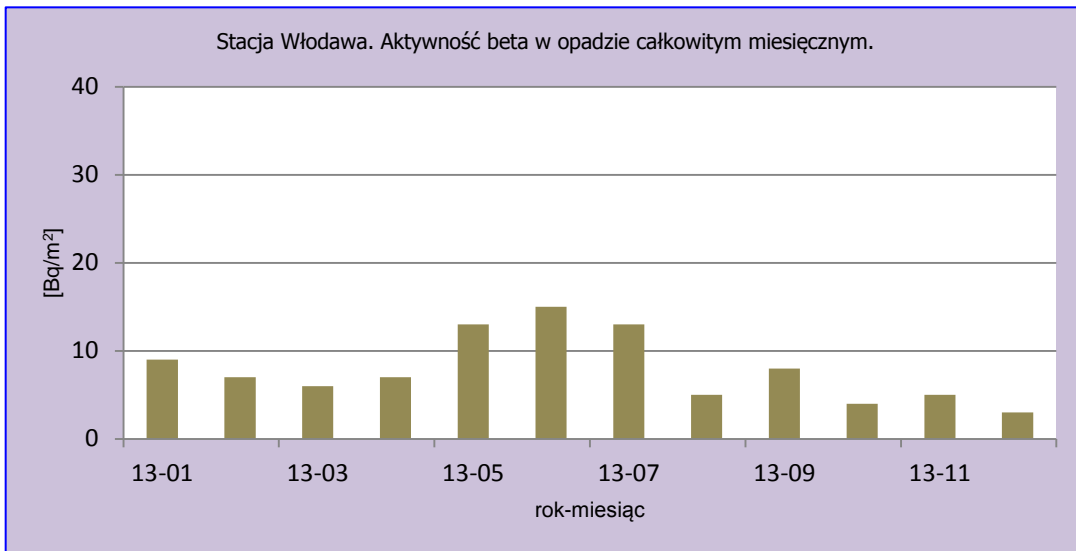
Rys.54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2013 roku.



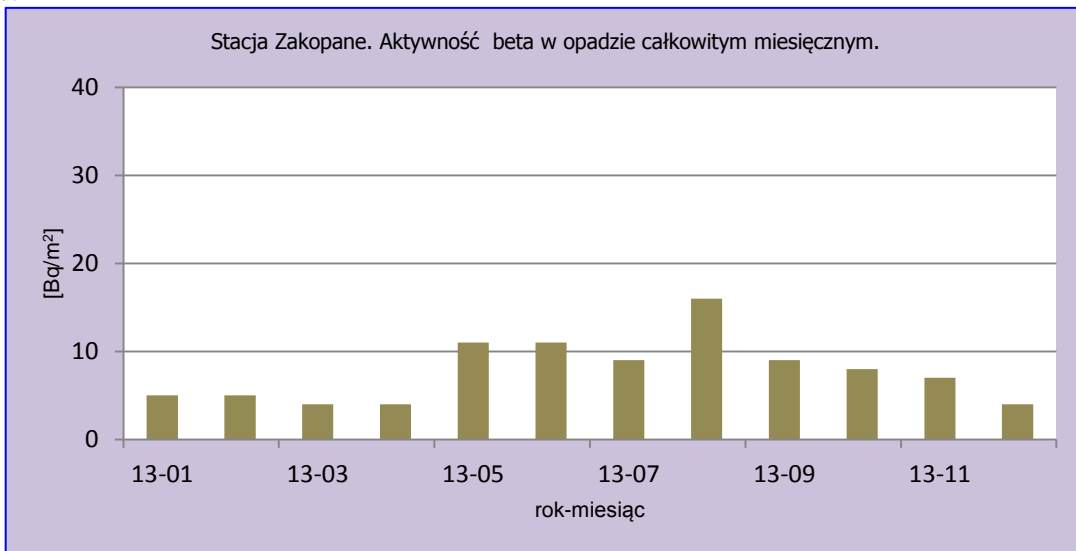
Rys.55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2013 roku.



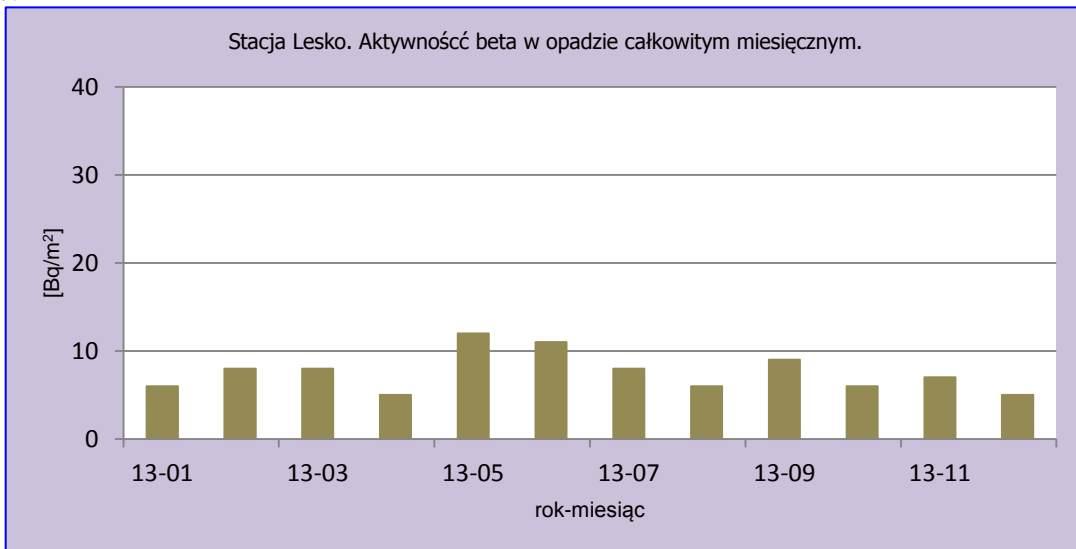
Rys.56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2013 roku.



Rys.57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2013 roku.



Rys.58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2013 roku.



Rys.59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta w miesięcznym opadzie całkowitym charakterystyczna dla roku 2013 ($7,3 \text{ Bq m}^{-2}$) była identyczna z wartością średnią obliczoną w ubiegłym roku, a także zbliżona do wartości średniej wyznaczonej dla okresu 2000-2013. Wartości otrzymane dla poszczególnych lat zmieniały się w zakresie od 6,0 do $8,2 \text{ Bq m}^{-2}$ (Tabela 14).

Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2013, Bq m^{-2} .

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
2000	6,1
2001	7,1
2002	6,7
2003	6,6
2004	6,4
2005	6
2006	6,2
2007	6,5
2008	6,4
2009	7,8
2010	8,2
2011	8
2012	7,3
2013	7,3
Średnia	7
Minimalna	6
Maksymalna	8

3.4 Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

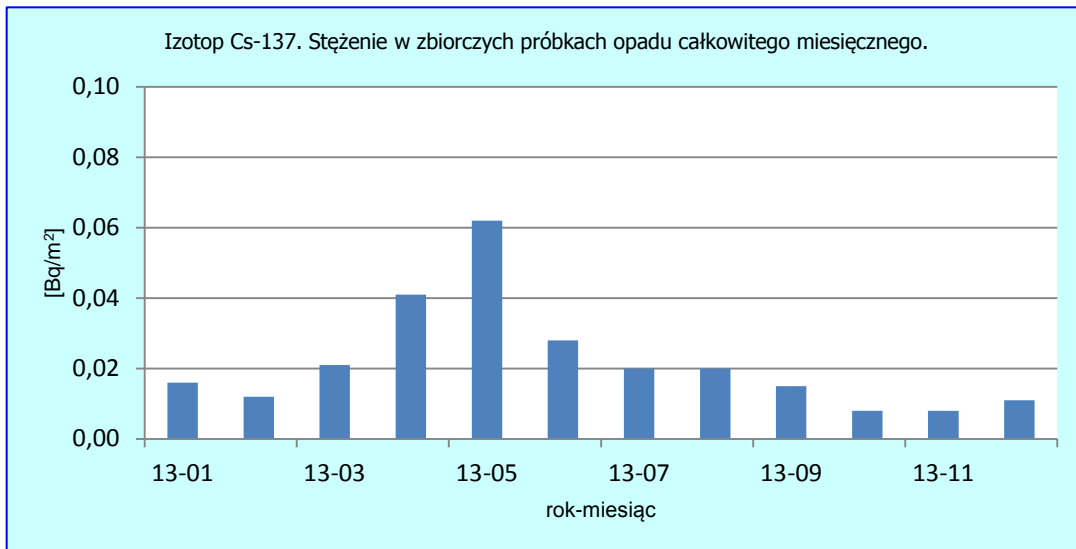
Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego, o stosunkowo długim czasie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku ^{137}Cs i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku ^{134}Cs . Ich stężenie promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) oznaczane jest w zbiorczych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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

Najniższe stężenia ^{137}Cs odnotowano w październiku i listopadzie ($0,008 \text{ Bq m}^{-2}$) oraz grudniu ($0,011 \text{ Bq m}^{-2}$) – (Tabela 15 i Rys. 60). W styczniu i lutym i we wrześniu stężenia były tylko nieznacznie wyższe i wynosiły odpowiednio $0,016 \text{ Bq m}^{-2}$, $0,012 \text{ Bq m}^{-2}$ i $0,015 \text{ Bq m}^{-2}$. Najwyższe wartości stężeń wystąpiły w miesiącach wiosenno-letnich z maksimum w maju ($0,062 \text{ Bq m}^{-2}$). Nieznacznie niższy dopływ ^{137}Cs odnotowano kolejno w miesiącach kwiecień, czerwiec i marzec odpowiednio: $0,041 \text{ Bq m}^{-2}$, $0,028 \text{ Bq m}^{-2}$, $0,021 \text{ Bq m}^{-2}$. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego zbieranych w 2013 roku wynosiło $0,025 \text{ Bq m}^{-2}$. Jednocześnie stężenie promieniotwórcze ^{134}Cs w badanym roku nie przekroczyło limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej.

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2013 r., Bq m^{-2} .

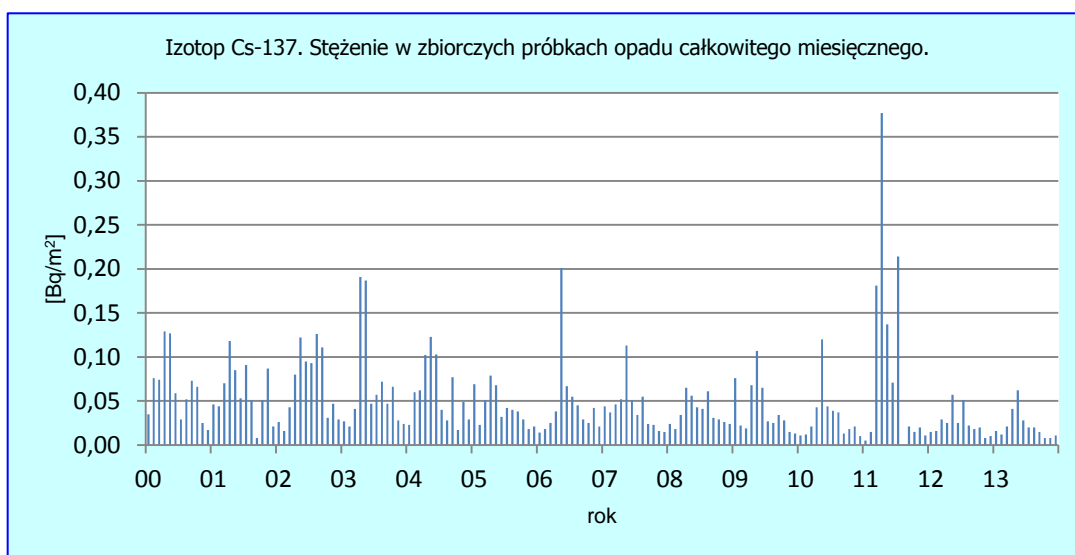
Miesiąc	Aktywność Bq m^{-2} Cs-137	Aktywność Bq m^{-2} Cs-134
Styczeń	$0,016 \pm 0,004$	$< 0,004$
Luty	$0,012 \pm 0,004$	$< 0,004$
Marzec	$0,021 \pm 0,004$	$< 0,004$
Kwiecień	$0,041 \pm 0,004$	$< 0,004$
Maj	$0,062 \pm 0,006$	$< 0,004$
Czerwiec	$0,028 \pm 0,004$	$< 0,003$
Lipiec	$0,020 \pm 0,004$	$< 0,003$
Sierpień	$0,020 \pm 0,004$	$< 0,004$
Wrzesień	$0,015 \pm 0,004$	$< 0,003$
Październik	$0,008 \pm 0,005$	$< 0,003$
Listopad	$0,008 \pm 0,005$	$< 0,003$
Grudzień	$0,011 \pm 0,008$	$< 0,004$
Suma roczna	0,262	-
Średnia	0,022	-
Maksymalna	0,062	-
Minimalna	0,008	-



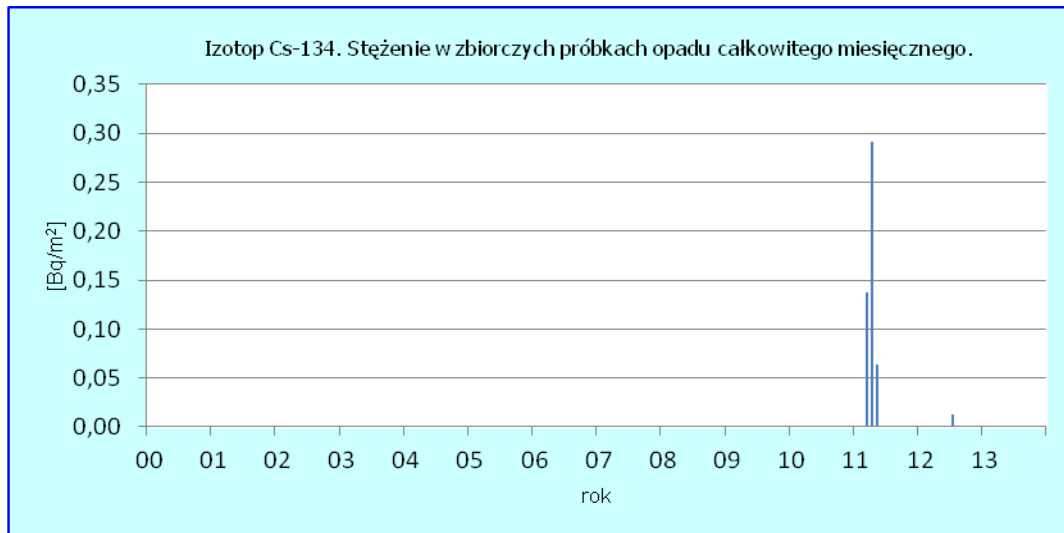
Rys.60. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Z porównania wyników analiz stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego uzyskanych w latach 2000-2013 wynika, że wzrost stężeń w okresie wiosenno-letnim jest powtarzalny (Rys. 61). Maksymalne stężenia ^{137}Cs w omawianym okresie odnotowano w 2011 roku jako efekt dopływu bardziej skażonych mas powietrza po awarii elektrowni atomowej Fukushima Daichii, która miała miejsce w marcu 2011 w Japonii. Potwierdzeniem tego jest również znaczny wzrost stężeń ^{134}Cs w tym samym okresie (Rys. 62) podczas gdy w latach poprzednich jego aktywność pozostawała poniżej progu detekcji stosowanej metody analitycznej.



Rys.61. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2013.

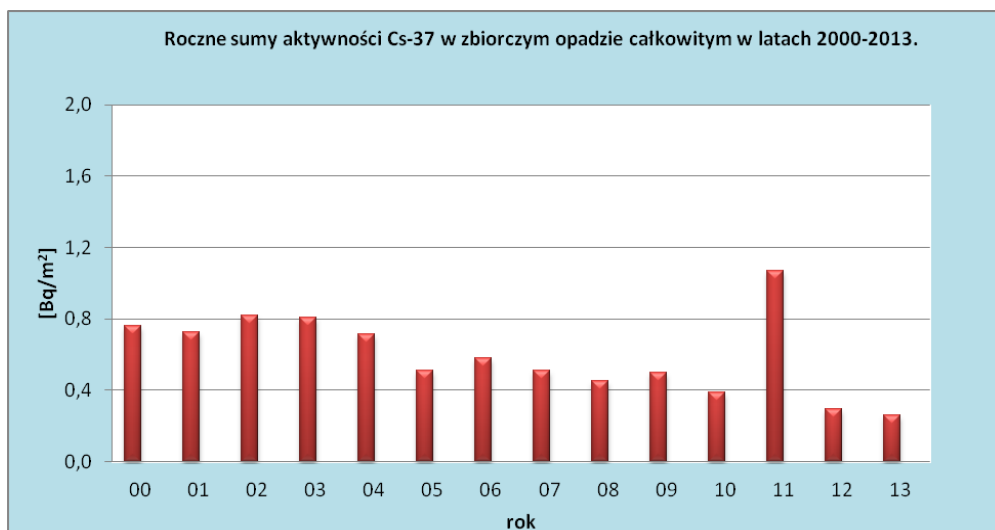


Rys.62. Stężenie promieniotwórcze ¹³⁴Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2013.

Roczny dopływ ¹³⁷Cs z atmosfery przypadający na metr kwadratowy powierzchni obliczony jako suma stężeń promieniotwórczych wyznaczonych dla poszczególnych miesięcy wynosił w 2013 roku 0,262 Bq m⁻² i był najniższy w porównaniu do wartości wyliczonych dla okresu od 2000 do 2013 (Tabela 16). Pomijając rok 2011, w którym wzrost dopływu izotopów cezu z atmosfery był wynikiem awarii elektrowni w Fukushima, w omawianym okresie obserwuje się systematyczny spadek sumarycznego dopływu ¹³⁷Cs z atmosfery (Rys. 63)

Tabela 16. Roczna suma dopływu ¹³⁷Cs w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2013, Bq m².

Rok	¹³⁷ Cs
2000	0,762
2001	0,725
2002	0,819
2003	0,808
2004	0,713
2005	0,510
2006	0,580
2007	0,510
2008	0,452
2009	0,499
2010	0,389
2011	1,067
2012	0,296
2013	0,262
Średnia	0.599
Minimalna	0.262
Maksymalna	1.067



Rys.63. Roczne sumy dopływu ¹³⁷Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2013.

3.5 Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

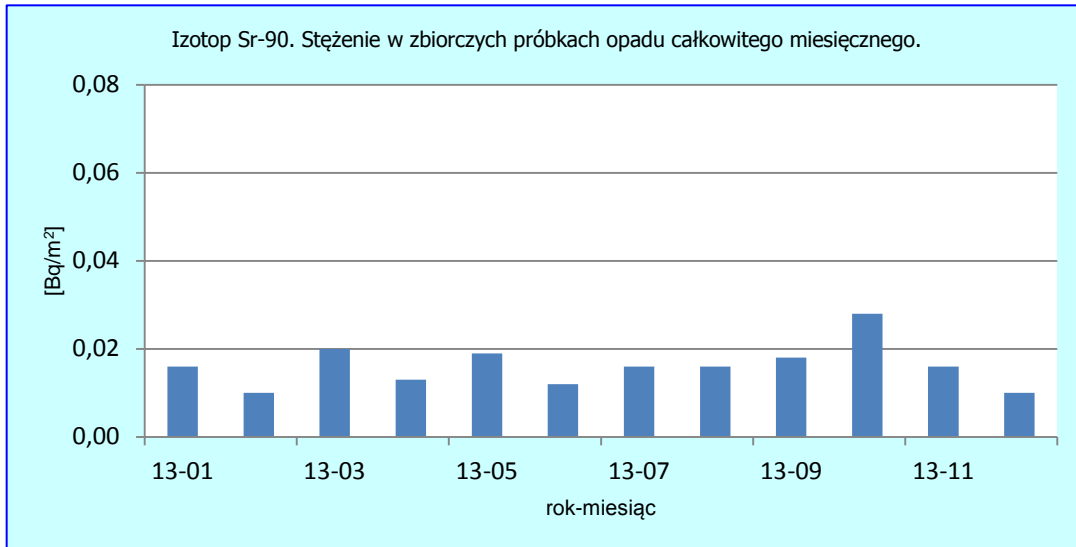
W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu ^{137}Cs i ^{134}Cs przeprowadzono w 2013 roku pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu – ^{90}Sr , który podobnie jak ^{137}Cs charakteryzuje się stosunkowo długim czasem połowicznego rozpadu (28 lat).

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

W przypadku ^{90}Sr najniższe stężenia wystąpiły w miesiącach zimowych w grudniu i lutym: 0,010 – Tabela 17, Rys. 64. Najwyższa wartość wynosząca $0,028 \text{ Bq m}^{-2}$ została zarejestrowana w październiku. Pozostałe stężenia promieniotwórcze w kolejnych miesiącach mieściły się w przedziale od $0,012$ do $0,020 \text{ Bq m}^{-2}$. Średnia otrzymana ze wszystkich miesięcy była tylko o $0,006 \text{ Bq m}^{-2}$ wyższa niż w ubiegłym roku, przy czym roczna suma obliczona z wartości miesięcznych wynosząca $0,194 \text{ Bq m}^{-2}$ była o $0,08 \text{ Bq m}^{-2}$ wyższa niż w roku 2012.

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2013 r, Bq m^{-2} .

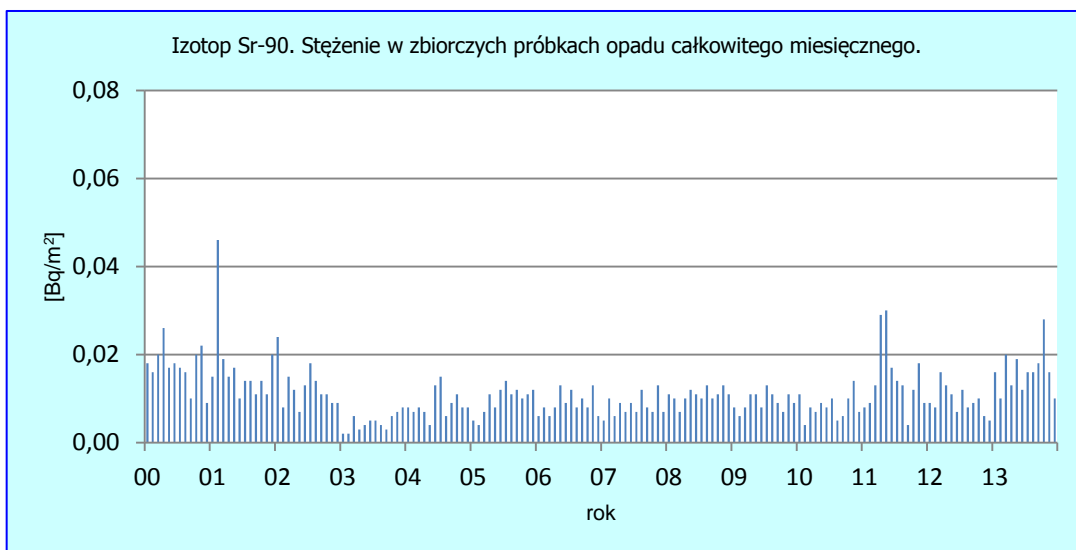
	Aktywność Bq m^{-2}
Miesiąc	Sr-90
Styczeń	$0,016 \pm 0,003$
Luty	$0,010 \pm 0,001$
Marzec	$0,020 \pm 0,001$
Kwiecień	$0,013 \pm 0,001$
Maj	$0,019 \pm 0,001$
Czerwiec	$0,012 \pm 0,001$
Lipiec	$0,016 \pm 0,001$
Sierpień	$0,016 \pm 0,001$
Wrzesień	$0,018 \pm 0,001$
Październik	$0,028 \pm 0,001$
Listopad	$0,016 \pm 0,001$
Grudzień	$0,011 \pm 0,001$
Suma roczna	0,195
Średnia	0,016
Maksymalna	0,028
Minimalna	0,010



Rys.64. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Z porównania wyników analiz stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego uzyskanych w latach 2000-2013 (Rys. 65) wynika, że największe miesięczne aktywności ^{90}Sr obserwowano w latach 2000 – 2002 i następnie w 2011 roku w wyniku dopływu związanego z awarią w Fukushima. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w sumarycznym rocznym dopływie, który w latach 2000 i 2001 był na poziomie $0,200 \text{ Bq m}^{-2}$, natomiast w 2011 roku wynosił $0,176 \text{ Bq m}^{-2}$ (Tabela 18, Rys. 66). W 2013 wyniósł natomiast $0,195 \text{ Bq m}^{-2}$, a minimalna wartość dopływu w omawianym okresie wynosiła $0,055 \text{ Bq m}^{-2}$ i przypadała na 2003 rok. Jednocześnie brak jest w przypadku ^{90}Sr jednoznacznych kierunków zmian, które obserwowane są w przypadku ^{137}Cs . Główną przyczyną tego może być inny chemizm izotopu strontu i inna dystrybucja w atmosferze. Stosunkowo wysoki w porównaniu z poprzednimi latami sumaryczny dopływ ^{90}Sr w 2013 może mieć związek ze specyficznym transportem mas powietrza.

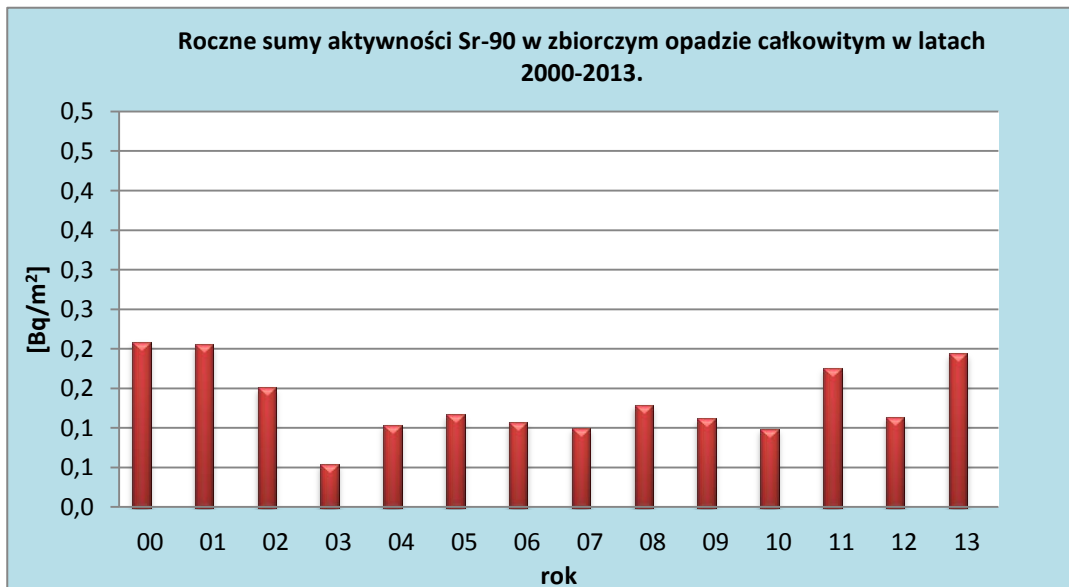


Rys.65. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2013.

Ilość strontu wprowadzona w wyniku awarii w 2011 była zdecydowanie niższa niż miało to miejsce w przypadku cezu. Nie można uznać awarii w Fukushima za znaczące źródło i traktować jako punkt odniesienia w analizie. Brak jest jednoznacznego trendu spadkowego w przypadku strontu i należy się spodziewać, że wartości mogą rosnać okresowo, co jednak nie będzie świadczyło o dodatkowych uwolnieniach.

Tabela 18. Roczna suma aktywności ^{90}Sr w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2013, Bq m^{-2} .

Rok	^{90}Sr
2000	0,209
2001	0,206
2002	0,151
2003	0,055
2004	0,104
2005	0,117
2006	0,107
2007	0,100
2008	0,129
2009	0,112
2010	0,099
2011	0,176
2012	0,114
2013	0,195
Średnia	0,134
Minimalna	0,055
Maksymalna	0,209



Rys.66. Roczne sumy dopływu ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2013.

3.6 Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac , ^{40}K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

W 2013 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac i ^{40}K . Wszystkie izotopy są pochodzenia naturalnego. ^{40}K jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo długim okresem połowicznego rozpadu wynoszącym $1,27 \cdot 10^9$ lat. ^{226}Ra jest produktem rozpadu w szeregu uranowym – radowym (^{238}U), jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1599 lat. ^{228}Ac jest produktem rozpadu w szeregu torowym (^{232}Th) z połowicznym czasem 6,13 godziny. Źródłem ^7Be , którego okres połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki – 53,3 dni, jest natomiast promieniowanie kosmiczne

Analiza wyników uzyskanych w roku 2013

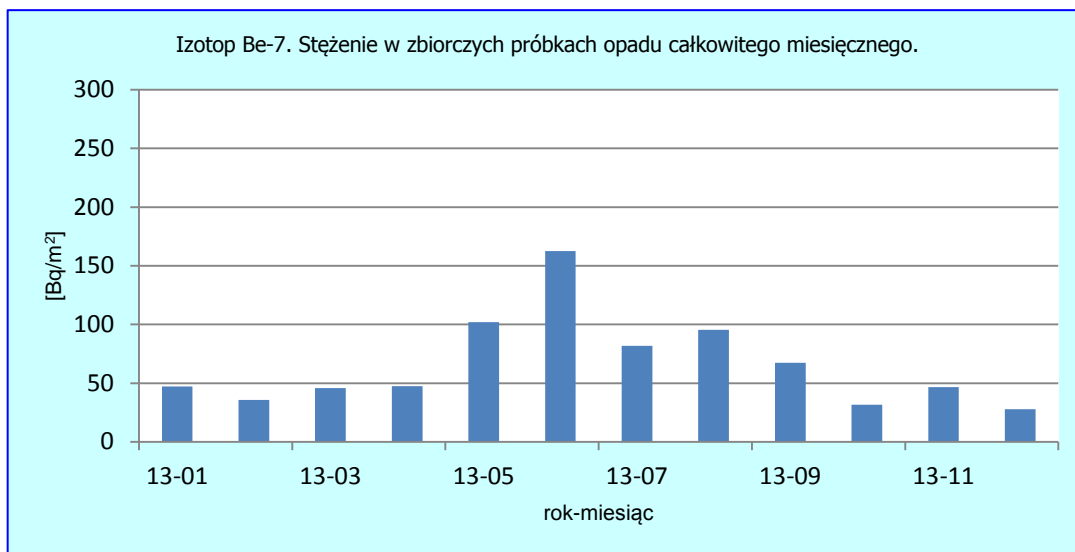
Podobnie jak w latach poprzednich najwyższą aktywnością charakteryzował się ^7Be , którego stężenia zmieniały się w zakresie od $27,7 \text{ Bq m}^{-2}$ w grudniu do $162,5 \text{ Bq m}^{-2}$ wartości zarejestrowanej w czerwcu (Tabela 19, Rys.67). Średnie stężenie w roku 2013 wynosiło $65,9 \text{ Bq m}^{-2}$, a roczny dopływ (obliczony jako suma wartości miesięcznych) wynosił $790,8 \text{ Bq m}^{-2}$ i był wyższy od średniej z okresu 2000 - 2013 ($698,6 \text{ Bq m}^{-2}$) – Tabela 20. Stężenia ^{40}K zmieniały się w zakresie od $0,7$ do $3,7 \text{ Bq m}^{-2}$, a roczny dopływ wynosił $22,5 \text{ Bq m}^{-2}$ i był najwyższy zarówno w porównaniu do średniej z lat 2000 – 2013 ($17,8 \text{ Bq m}^{-2}$) jak i wartości obserwowanych w poszczególnych latach. Stężenia promieniotwórcze ^{226}Ra w 2013 roku zmieniały się w zakresie od $0,065$ do $0,135 \text{ Bq m}^{-2}$. Średnia dla tego pierwiastka wyniosła $0,106 \text{ Bq m}^{-2}$, a suma roczna wynikająca z wartości miesięcznych wynosiła $0,848 \text{ Bq m}^{-2}$ i była nieznacznie niższa niż w roku poprzednim oraz o ponad połowę mniejsza od wartości średniej wyznaczonej dla okresu 2000-2013 (Tabela 20). Najniższymi stężeniami promieniotwórczymi zmieniającymi się w zakresie od $0,014$ do $0,078 \text{ Bq m}^{-2}$ charakteryzował się ^{228}Ac . Średnia roczna wyniosła zaledwie $0,045 \text{ Bq m}^{-2}$, a suma dopływu była równa $0,544 \text{ Bq m}^{-2}$.

W przypadku wszystkich izotopów obserwowano niższe aktywności w miesiącach zimowych oraz wzrost stężeń w sezonie letnim, co można zauważyć szczególnie w przypadku ^7Be (Rys. 67-70).

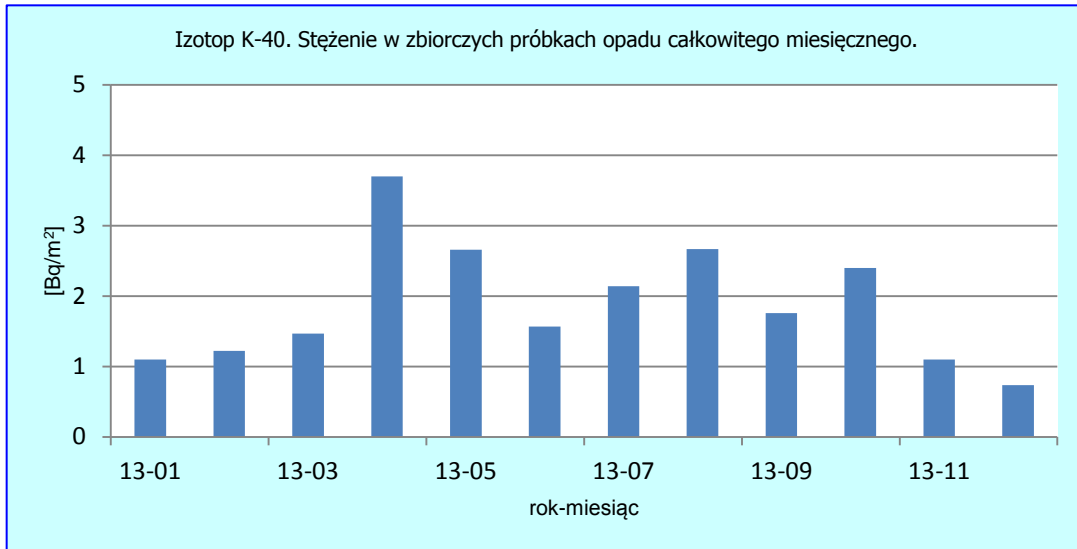
Zgodnie z oczekiwaniem, izotopy pochodzenia naturalnego nie wykazują widocznych trendów zmian stężeń promieniotwórczych w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego (Rys. 71-74), jak również w rocznych dopływach (Tabela 20).

Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac i ^{40}K w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2013 r., Bq m^{-2} .

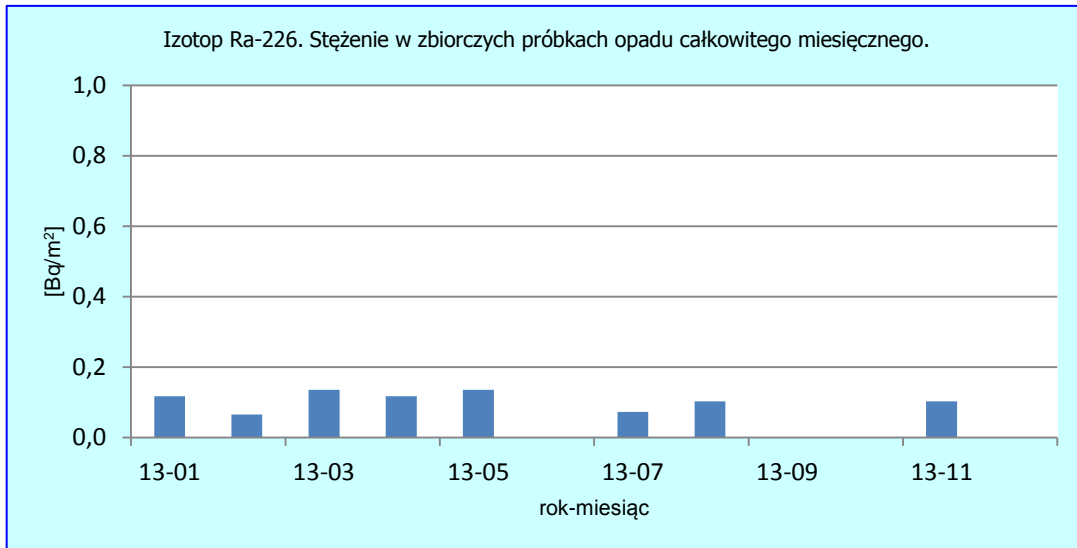
	Aktywność Bq m^{-2}	Aktywność Bq m^{-2}	Aktywność Bq m^{-2}	Aktywność Bq m^{-2}
Miesiąc	Be-7	K-40	Ra-226	Ac-228
Styczeń	47,27 ± 0,62	1,099 ± 0,123	0,117 ± 0,069	0,024 ± 0,013
Luty	35,59 ± 0,62	1,224 ± 0,135	< 0,043	0,039 ± 0,016
Marzec	45,81 ± 0,66	1,470 ± 0,141	0,135 ± 0,068	0,045 ± 0,016
Kwiecień	47,35 ± 0,77	3,699 ± 0,202	0,117 ± 0,067	0,075 ± 0,018
Maj	101,92 ± 1,24	2,658 ± 0,173	0,135 ± 0,076	0,078 ± 0,018
Czerwiec	162,48 ± 2,06	1,567 ± 0,133	< 0,054	0,037 ± 0,013
Lipiec	81,83 ± 1,09	2,141 ± 0,149	0,073 ± 0,064	0,050 ± 0,015
Sierpień	95,35 ± 1,32	2,668 ± 0,164	0,103 ± 0,064	0,057 ± 0,016
Wrzesień	67,33 ± 0,91	1,759 ± 0,139	< 0,057	0,038 ± 0,015
Październik	31,63 ± 0,59	2,400 ± 0,150	< 0,035	0,014 ± 0,010
Listopad	46,51 ± 0,75	1,100 ± 0,120	0,103 ± 0,079	0,018 ± 0,012
Grudzień	27,70 ± 1,18	1,69 ± 0,12	< 0,037	0,069 ± 0,030
Suma roczna	790,77	22,519	0,848	0,544
Średnia	65,90	1,877	0,106	0,045
Maksymalna	162,48	3,699	0,135	0,078
Minimalna	27,70	0,734	0,065	0,014



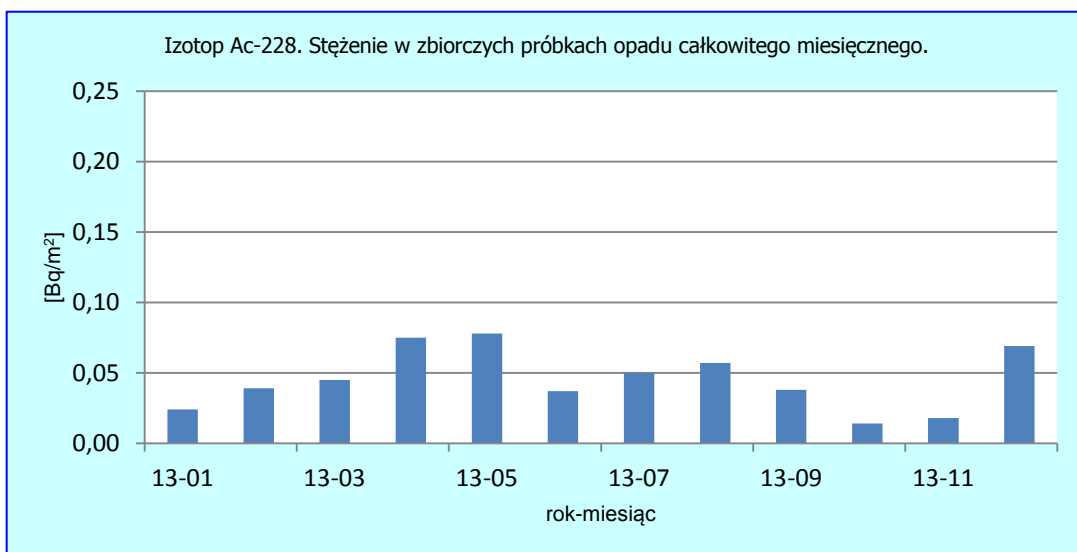
Rys.67. Stężenie promieniotwórcze ^7Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2013 roku.



Rys.68. Stężenie promieniotwórcze ⁴⁰K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2013 roku.



Rys.69. Stężenie promieniotwórcze ²²⁶Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2013 roku.



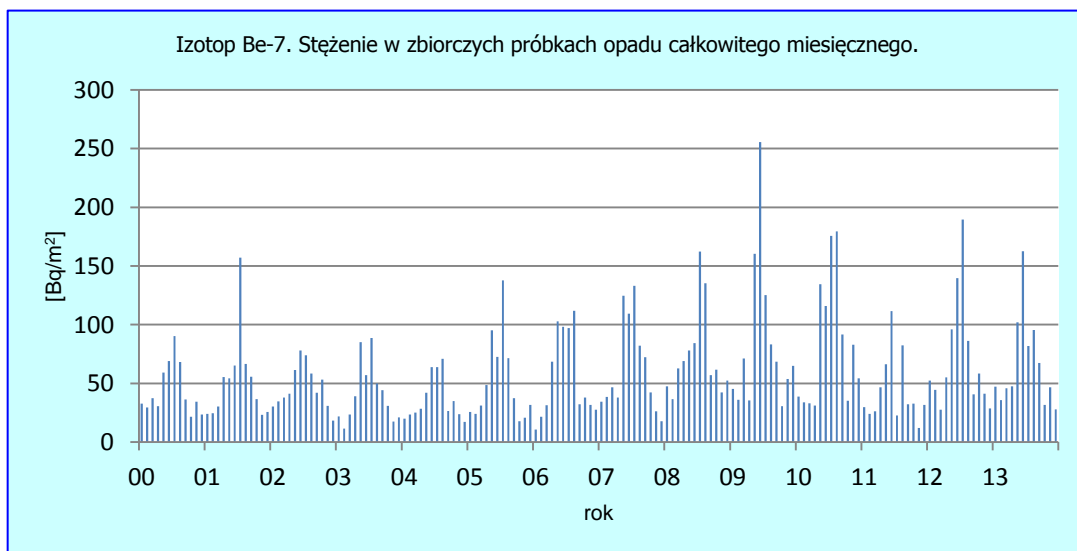
Rys. 70. Stężenie promieniotwórcze ²²⁸Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2013 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2013 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.

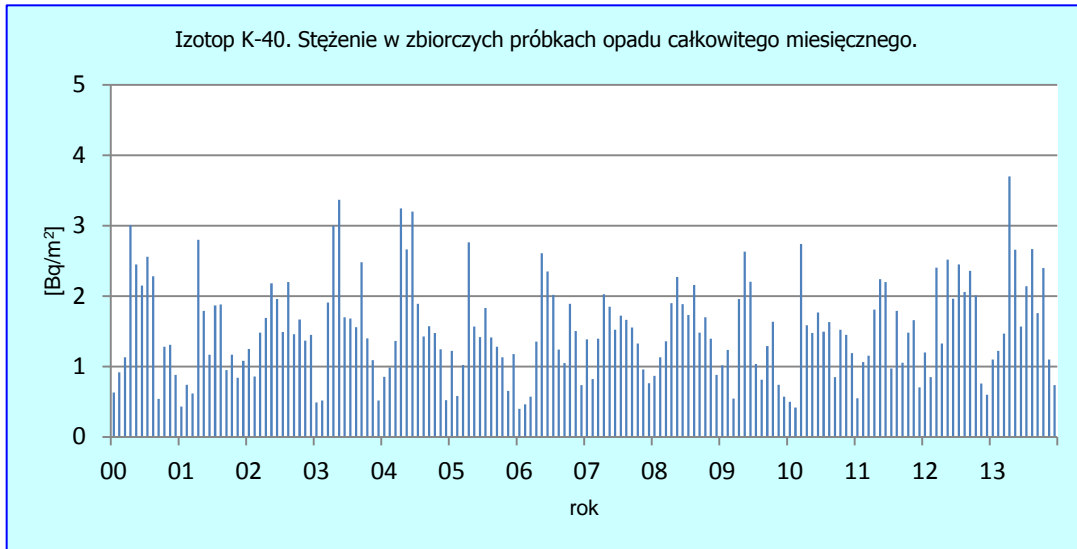
Analizując tabelę widzimy, że wartości dla poszczególnych izotopów pochodzenia naturalnego podlegają zmienności w środowisku ziemskim. Jednak możemy też zauważyć, że wartości mieszczą się w pewnych charakterystycznych dla siebie rzędach wielkości, które jednocześnie wyznaczają poziom tła.

Tabela 20. Roczna suma aktywności ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac , ^{40}K w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2013, Bq m^{-2}

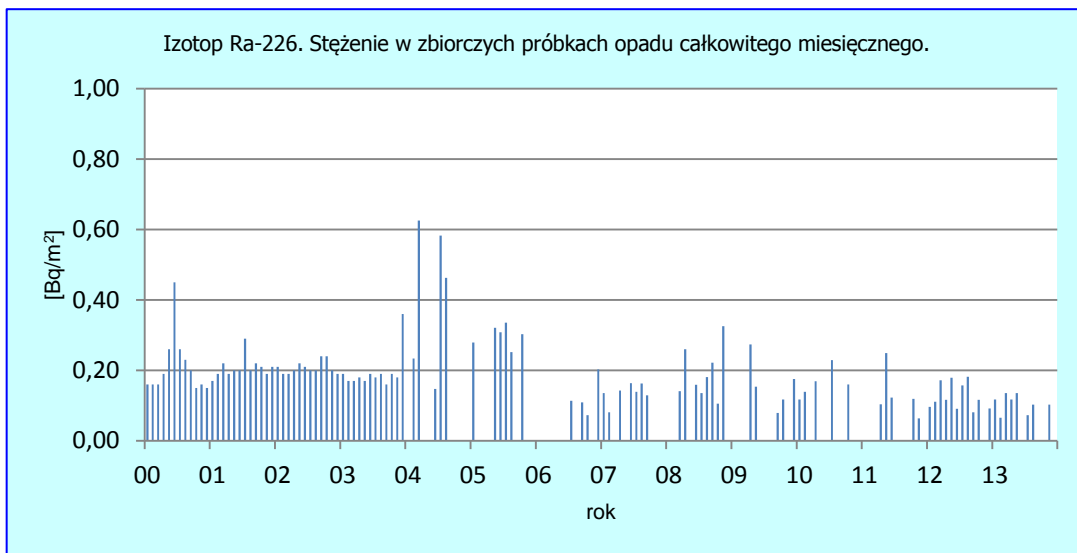
Rok	^7Be	^{40}K	^{226}Ra	^{228}Ac
2000	531,960	19,140	2,530	
2001	618,030	15,340	2,490	
2002	559,700	19,060	2,490	
2003	489,520	19,720	2,330	
2004	439,582	20,447	2,974	
2005	614,147	16,064	2,584	0,402
2006	670,895	16,184	1,068	0,450
2007	764,630	16,991	1,299	0,493
2008	888,322	18,764	1,817	0,614
2009	1029,896	15,692	1,414	0,676
2010	1005,669	16,629	0,814	0,366
2011	517,800	16,686	0,659	0,194
2012	859,883	20,504	1,393	0,528
2013	790,772	22,519	0,848	0,069
Średnia	698,629	18,124	1,765	0,421
Minimalna	439,582	15,340	0,659	0,069
Maksymalna	1029,896	20,504	2,974	0,676



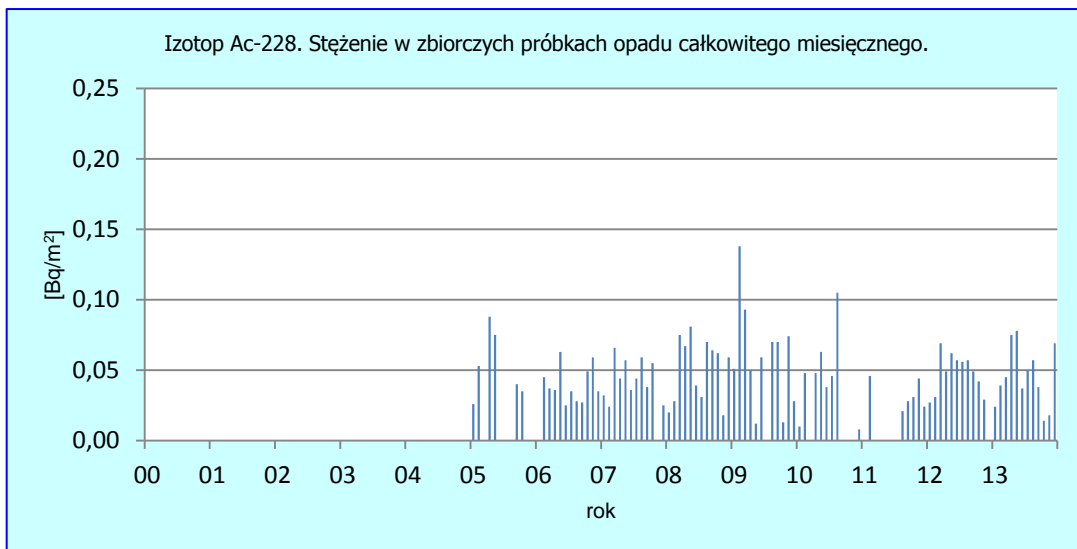
Rys.71. Stężenie promieniotwórcze ^7Be w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2013.



Rys. 72. Stężenie promieniotwórcze ^{40}K w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2013.



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze ^{226}Ra w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2013.



Rys.74. Stężenie promieniotwórcze ^{228}Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2013.

4. Podsumowanie

Monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy powietrza prowadzono w roku 2013 w ramach Umowy nr 13/F/2013 pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym.

Pomiar prowadzono na stacjach sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych działających w ramach infrastruktury IMGW. Stacje IMGW zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu², Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2013 roku prowadzono pomiary parametrów:

1. Moc dawki promieniowania gamma
2. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w powietrzu.
3. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach w powietrzu
4. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach w powietrzu
5. Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego oraz wody opadowej
6. Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego
7. Pomiar spektrometryczny stężenia promieniotwórczego izotopów sztucznych: ¹³⁷Cs i ¹³⁴Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
8. Pomiar spektrometryczny izotopów naturalnych w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
9. Pomiar radiochemiczny aktywności izotopu ⁹⁰Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

Wyniki uzyskane w roku 2013³ zestawiono w Tabeli 21.

Tabela 21. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2013.

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna	
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 90,1 nGy/h Str. 33	
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 5,3 Bq/m³ Str. 35	
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,033 Bq/m³ Str. 36	
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,113 Bq/m³ Str. 37	
5.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego oraz roczna suma aktywności beta całkowitego opadu dobowego. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,8 Bq/m² Str. 40	Suma roczna 0,310 kBq/m² Str. 40

² Z racji uzupełniającego się programu pomiarowego stacja Gorzów Wlkp. oraz Poznań są traktowane jako jedna stacja.

³ Suma roczna dotyczy tylko wyników spektrometrycznych oraz opadu całkowitego dobowego.

6.	Globalna aktywność beta wody opadowej Wartości na poziomie tła	Wartość średnia 315 mBq/litr Str. 41			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego Wartości na poziomie tła	Wartość średnia 7,3 Bq/m² Str. 42			
8.	Stężenie promieniotwórcze ¹³⁷ Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą	Wartość średnia 0,022 Bq/m² Str. 45		Suma roczna 0,262 Bq/m² Str. 45	
9.	Stężenie promieniotwórcze ¹³⁴ Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego Bardzo niskie wartości na poziomie zdolności detekcyjnych aparatury	Poniżej zdolności detekcji		Poniżej zdolności detekcji	
10.	Stężenie promieniotwórcze ⁹⁰ Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą	Wartość średnia 0,16 Bq/m² Str. 49		Suma roczna 0,194 Bq/m² Str. 49	
12.	Sumy roczne aktywności ⁷ Be, ⁴⁰ K, ²²⁶ Ra, ²²⁸ Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. Str. 53. Wartości na poziomie tła	Be-7 790,8 Bq/m²	K-40 22,5 Bq/m²	Ra-226 0,85 Bq/m²	Ac-228 0,54 Bq/m²

5. Wnioski

W 2013 roku poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery związany z obecnością izotopów promieniotwórczych sztucznych i naturalnych nie odbiegał w sposób zasadniczy od poziomu, który obserwowano w latach poprzednich.

Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2013 roku wynosiła 90,1 nGy h⁻¹ i była niższa od obserwowanej w roku 2013. Najniższe wartości w ciągu całego roku rejestrowano na stacji Włodawa (roczna wartość średnia wynosiła 64,4 nGy h⁻¹), najwyższe natomiast na stacji Zakopane z wartością średnią 114,1 nGy h⁻¹. W latach 2000 - 2013 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. Zróżnicowanie wartości mocy dawki na obszarze Polski wynikało głównie z lokalizacji stacji rejestrujących.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu w 2013 roku wynosiło 5,3 Bq m⁻³ i było niższe zarówno od wartości średniej charakterystycznej dla roku 2012 (6,0 Bq m⁻³), jak i wartości średniej (6,9 Bq m⁻³) wyznaczonej dla okresu 2000-2013. W przypadku izotopów pochodzenia sztucznego średnie roczne stężenie promieniotwórcze wyniosło 0,033 Bq m⁻³ i było nieznacznie wyższe od wartości obserwowanej w roku ubiegłym (0,029 Bq m⁻³). Reasumując stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu, zarówno pochodzenia naturalnego, jak i sztucznego pozostały na poziomie bardzo zbliżonym do lat poprzednich.

W roku 2013 stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolu zmieniały się w bardzo szerokim zakresie od średniej wartości rocznej równej $0,001 \text{ Bq m}^{-3}$ obserwowanej na stacji Włodawa do wartości $0,311$ w Gorzowie Wlkp. Jednocześnie średnia roczna obliczona na podstawie danych ze wszystkich stacji była zbliżona do wartości uzyskanej w roku ubiegłym. Aktywność promieniotwórcza związana z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolu w 2013 była również około trzykrotnie wyższa od aktywności wynikającej z udziału izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa.

Najniższa średnia roczna wartość globalnej aktywności beta ($0,3 \text{ Bq m}^{-2}$) charakteryzowała całkowity opad dobowy zbierany na stacji Świnoujście, natomiast najwyższe średnie roczne aktywności beta w 2013 roku ($1,1 \text{ Bq m}^{-2}$) otrzymano w Mikołajkach i Legnicy. Sumaryczna aktywność beta, opisująca dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta do powierzchni ziemi, charakterystyczna dla całego obszaru Polski obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2013 roku wyniosła $0,31 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ i była bardzo zbliżona do wartości średniej otrzymanej dla okresu 2000-2013 ($0,31 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$).

Średnia aktywność beta wody opadowej charakterystyczna dla 2013 roku (315 mBq l^{-1}) jest najniższą wartością obserwowaną w latach 2000-2013. Maksymalny wynik otrzymany w badanym okresie przypada na rok 2003 i wynosi 376 mBq l^{-1} , natomiast wartość średnia uzyskana ze wszystkich lat jest równa 348 mBq l^{-1} .

Średnia aktywność beta w miesięcznym opadzie całkowitym charakterystyczna dla roku 2013 ($7,3 \text{ Bq m}^{-2}$) była identyczna z wartością średnią obliczoną w ubiegłym roku, a także zbliżona do wartości średniej wyznaczonej dla okresu 2000-2013. Wartości otrzymane dla poszczególnych lat zmieniały się w zakresie od $6,0$ do $8,2 \text{ Bq m}^{-2}$.

Analiza wyników stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego uzyskanych w latach 2000-2013 wykazuje, że wzrost stężeń w okresie wiosenno-letnim jest powtarzalny. Roczny dopływ ^{137}Cs z atmosfery przypadający na metr kwadratowy powierzchni obliczony jako suma stężeń promieniotwórczych wyznaczonych dla poszczególnych miesięcy wynosił w 2013 roku $0,262 \text{ Bq m}^{-2}$ i był najniższy w porównaniu do wartości wyliczonych w omawianym okresie. Maksymalne stężenia ^{137}Cs odnotowano w 2011 roku jako efekt dopływu bardziej skażonych mas powietrza po awarii elektrowni atomowej Fukushima Daichii, która miała miejsce w marcu 2011 w Japonii.

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego mieściły się w zakresie od $0,010$ do $0,028 \text{ Bq m}^{-2}$. Zarówno średnia aktywność otrzymana ze wszystkich miesięcy w 2013 roku jak i roczna suma obliczona z wartości miesięcznych, były zbliżone do wyników uzyskanych w poprzednim roku. Największe miesięczne aktywności ^{90}Sr obserwowano w latach 2000 – 2002 i następnie w 2011 roku w wyniku dopływu związanego z awarią w Fukushimie.

Ilość strontu wprowadzona w wyniku awarii w 2011 była zdecydowanie niższa niż miało to miejsce w przypadku cezu. Nie można więc uznać awarii w Fukushimie za znaczące źródło i traktować jako punkt odniesienia w analizie. Brak jest jednoznacznego trendu spadkowego w przypadku strontu i należy się spodziewać, że wartości mogą rosnąć okresowo, co jednak nie będzie świadczyło o dodatkowych uwolnieniach.

W przypadku pozostałych izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie gamma wartości stężeń promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego nie odbiegały w sposób znaczący wartości rejestrowanych w latach poprzednich. Zarówno stężenia izotopów beta promieniotwórczych w aerozolu, jak i w miesięcznych próbkach opadu całkowitego oraz stężenia promieniotwórcze izotopów: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^7Be , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ac w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego wykazywały zmiany sezonowe wskazując na wzrost aktywności obserwowany w okresie wiosenno-letnim.