



**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 IV RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI ZA ROK 2014**



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 Apanel  
Mgr Andrzej Czuryłowski  
Mgr Paweł Miszczuk  
Mgr Michał Saniewski  
Dr inż. Tamara Zalewska

WARSZAWA 2015

## **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 2014 roku i w odniesieniu do okresu 2000-2013
  - 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  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.5. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  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 2013-2015<sup>1</sup>. 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 to, 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 <sup>137</sup>Cs i wybranych naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.
- e) Radiochemiczne oznaczanie <sup>90</sup>Sr w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki uzyskane w roku 2014 wraz z komentarzem uwzględniającym dane z lat poprzednich. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.

---

<sup>1</sup> <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 polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do kuwety o powierzchni 1500 cm<sup>2</sup> napełnionej warstwą wody o grubości 1 cm eksponowanej przez okres 24 godzin, od godziny 6 UTC. Po zakończeniu ekspozycji próbki 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. 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<sup>-3</sup>, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- b) Pobór próbek całkowitego opadu miesięcznego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do trzech kuwet o łącznej powierzchni 4500 cm<sup>2</sup> 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. 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<sup>-3</sup>, 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 w powietrzu – Sonda TDSG

Sonda TDSG służy do ciągłego pomiaru mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu oraz rozróżniania mocy dawki pochodzącej od izotopów naturalnych i sztucznych poprzez pomiar spektrometryczny promieniowania gamma.

Sonda TDSG, zainstalowana ok. 1 metr nad powierzchnią ziemi, dokonująca równoczesnego i niezależnego pomiaru:

- równoważnika mocy dawki H\*(10) opartego o czuły detektor Geigera–Mullera,
- spektrum promieniowania gamma w powietrzu przy pomocy toru spektrometrycznego opartego o detektor scyntylacyjny ze scyntylatorem NaI(Tl).

Sonda TDSG, poprzez pojedynczy kabel, jest zasilana i współpracuje z komputerem po łączu RS-485. Sterowanie oraz wizualizacja i archiwizacja wyników pomiarowych odbywa się z poziomu komputera poprzez zainstalowane specjalizowane oprogramowanie TDSG.

We wspólnej obudowie sondy TDSG, zainstalowane są następujące główne zespoły pomiarowe:

1. Tor do pomiaru równoważnika mocy dawki

$H^*(10)$  z czułym licznikiem Geigera-Mullera wraz z układami elektronicznymi (HV, wzmacniacze, układ przeliczający impulsy na moc dawki w nSv/h) o podstawowych parametrach:

- a. czułość około 800-900 imp/min/ $\mu$ Sv/h,
  - b. pomiar równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  w nSv/h,
  - c. zakres pomiarowy 0,01 – 3000  $\mu$ Sv/h,
  - d. charakterystyka energetyczna skompensowana do pomiaru równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  w zakresie 35 keV do 1,3 MeV
2. Tor spektrometryczny ze scyntybłokiem wraz z układami elektronicznymi (HV, dzielnik HV, przedwzmacniacz ładunkowy, wzmacniacz spektrometryczny).
3. Układ i czujniki do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza,
4. Układ zegara i kalendarza z podtrzymaniem bateryjnym,
5. Układ archiwizujący wszystkie dane pomiarowe za okres ostatnich czterech miesięcy, oparty o przemysłową kartę NAND Flash SLC microSD .

W sondzie TDSG zastosowano następujące detektory wartości fizycznych:

1. Licznik GM do pomiaru mocy dawki promieniowania gamma,
2. Scyntybłok (fotopowielacz ze scyntylatorem NaI(Tl) do pomiaru spektrum promieniowania gamma,
3. Termometr do pomiaru wewnętrznej temperatury w sondzie,
4. Czujnik wilgotności wewnątrz sondy.

## **Rejestracja danych pomiarowych**

Specjalistyczne oprogramowanie komputera w języku polskim, sterujące i współpracujące z sondą TDSG, o następujących funkcjach:

1. zadawanie parametrów pracy (HV, wzmocnienia zgrubnego i precyzyjnego, parametrów układu stabilizacji widma, czasu pojedynczego pomiaru, współczynników kalibracyjnych),
2. zapis i odczyt danych pomiarowych (bieżących i archiwalnych) – mocy dawki, spektrum, czasu pomiaru, ilości impulsów, temperatury, wilgotności,
3. prezentacja na monitorze komputera danych pomiarowych (bieżących i archiwalnych) w postaci cyfrowej i wykresów,
4. analiza danych pomiarowych w oparciu o zadane algorytmy w celu wykrycia obecności w powietrzu i rozróżnienia sztucznych i naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych, odpowiedzialnych za wzrost mocy dawki,
5. algorytm rozpoznawania izotopów w sposób ręczny lub automatyczny,
6. zapis wszystkich danych pomiarowych bieżących i archiwalnych do plików tekstowych i XML,
7. współpraca oprogramowania z sondą TDSG z komputera lokalnego (przez port szeregowy jak i LAN) oraz z komputerów zdalnych (przez intranet),
8. przeprowadzanie wstępnej autokalibracji,
9. autodiagnostyka prawidłowości pracy i zbieranych wyników pomiarowych,
10. tworzenie raportów zawierających wyniki pomiarów oraz wykresy (w formacie txt oraz PDF) za dowolny okres,
11. funkcja statystyki danych pomiarowych (określanie wyników każdego pomiaru w postaci średnich godzinnych oraz średnich, maksymalnych i minimalnych za dobę oraz inny dowolny okres, obliczanie odchylenia standardowego dla dowolnej serii danych pomiarowych oraz zapis obliczeń w plikach txt oraz możliwość dołączenia ich do raportu.

## **Pomiar radioaktywności próbek aerozoli powietrza – Zestaw Berthold LB9128.**

Monitor Berthold LB9128 z filtrem taśmowym posiada następujące cechy:

- Przesuw filtru może być ciągły lub skokowy. Taśma filtracyjna prowadzona jest w obszarze gromadzenia pyłów na cylindrycznych łożyskach, przez który przepływa powietrze. Zapewnia to równomierne gromadzenie pyłu przy ciągłym i jednostajnym przesuwie filtru, bez ryzyka zerwania taśmy filtracyjnej.
- Szybki detektor Alfa/Beta umieszczony jest bezpośrednio nad powierzchnią gromadzącą pył i mierzy radioaktywność cząsteczek pyłu.
- Zespół gromadzenia pyłu i detektor ekranowane są osłoną ołowiovą w kącie  $4\pi$ . Daje to w wyniku małe tło własne i niską czułość na promieniowanie otoczenia. Gdyby to nie wystarczało dla zastosowań w fluktuacyjnych polach gamma, opcjonalnie może zostać zamontowany detektor gamma dla kompensacji ich wpływu.
- Duża powierzchnia gromadzenia pyłów pozwala na dużą prędkość przepływu  $> 20 \text{ m}^3/\text{godz.}$ , stąd niskie progi detekcji.
- Jeżeli to konieczne, automatyczne rozszerzenie zakresu pomiarowego może być uzyskiwane przez zastosowanie szybkiego przesuwu taśmy filtru.
- Przy pomiarze Alfa-Beta, wpływ naturalnej radioaktywności kompensowany jest metodą stosunku Alfa/Beta lub opcjonalnie metodą połączenia pseudo koincydencji alfa-beta (ABPD) z dyskryminacją energii cząstek alfa (spektroskopia AED).
- Do rejestracji danych i ich oceny użyty jest wielokanałowy rejestrator typu LB9000 połączony z komputerowym rejestratorem danych typu PC.

Monitor LB 9128-MAXI składa się z następujących bloków:

Zespół gromadzenia pyłów LB 9128-MAXI. Zespół ten pozwala na zainstalowanie szybkiego pomiaru Alfa-Beta oraz szybkiego pomiaru Gamma. Detektor Beta lub Alfa-Beta zamontowany jest u góry obszaru gromadzenia pyłu, co zapewnia pomiar w czasie gromadzenia aktywności.

Detektor Beta lub odpowiednio Alfa/Beta mierzy bezpośrednio na powierzchni gromadzenia pyłu, aby nie występowało żadne opóźnienie oceny. Próbkowane powietrze jest wciągane przez płaską dyszę z filtrem z włókna szklanego.

Cząstki Alfa/Beta mierzone są w czasie rzeczywistym za pomocą diody krzemowej (Si-diode CAM-PIPS) o powierzchni 1700 mm<sup>2</sup>. Zarówno dla sygnałów Beta, jak i Alfa dostępna jest kompensacja wpływu produktów rozpadu radonu metodą pseudo koincydencji. Oddzielny próg wysokiej energii cząstek Alfa (nastawiany w zakresie od 6 do 10 MeV) może być używany do oddzielnej oceny zawartości toronu (produkt rozpadu Rn-220) w powietrzu, na podstawie rozpadu Po-212 (Ea 8.78 MeV), względnie do poprawiania metody ABPD z dyskryminacją energii Alfa, poprzez wybór progu dyskryminacji Alfa powyżej 6 MeV.

Kaseta ze stali nierdzewnej o stopniu zabezpieczenia przed wodą IP68 oraz przednie drzwiczki z przezroczystego pleksiglasu otaczają części narażone na wilgoć. Z tylnej strony kasety zamontowany jest mechanizm napędowy i czujniki taśmy filtracyjnej. Mechanizm napędowy zapewnia przesuw filtru przy małym naprężeniu i czyni go mniej wrażliwym na zerwanie, nawet w przypadku wilgotnej taśmy filtracyjnej. Kaseta wykonana jest w standardzie 19" i przystosowana do zamontowania w obudowie 19". Przednie drzwiczki zabezpieczone są 5 zamknięciami śrubowymi i opcjonalnym czujnikiem "Otwarte drzwiczki".

Zespół napędowy PLC i mechanizm przesuwu filtra z silnikiem krokowym. Zespół pompy, wyposażony w nie wymagającą konserwacji pompę z boczną dmuchawą, przystosowany do temperatury maksymalnej 45 0C i przeznaczony do wytwarzania przepływu próbki, wynoszącego 8 m<sup>3</sup>/godz., wyposażony w czujnik przepływu lub opcjonalnie w przepływomierz (o zasadzie pomiaru typu Vortex lub kalorymetrycznej).

Elektronika oceny pomiaru oparta jest na rejestratorze LB 9000. Sercem rejestratora jest komputer PC z systemem operacyjnym Windows XP. Detektory i czujniki firmy Berthold łączą się z komputerem przez interfejsy, oparte na inteligentnych modułach peryferyjnych i komunikują się z panelem PC przy użyciu szyny danych CAN. W tej koncepcji elementy detektora Gamma komunikują się przy użyciu jednego z interfejsów USB komputera PC. Możliwości wielozadaniowości, właściwe systemowi Windows XP, pozwalają na jednoczesne uruchomienie 2 programów (LB9000 - GammaVision).

#### Kompensacja produktów rozpadu radonu

Aby móc wykrywać najniższe poziomy sztucznej radioaktywności w obecności naturalnego promieniowania (produkty rozpadu radonu lub toronu), które mogą wahać się od 1 do kilkuset Bq/m<sup>3</sup>, zależnie od miejsca, pory roku, pory dnia lub nocy, warunków pogodowych - wymagana jest pełna dyskryminacja naturalnej aktywności. W monitorze cząstek Beta może być to uzyskane przy użyciu kompensacji metodą stosunku Beta/Alfa, a w monitorze Alfa/Beta metodą kompensacji ABPD.

#### Kompensacja metodą stosunku Beta/Alfa

Ta metoda kompensacji polega na założeniu, że aktywność Alfa jest wynikiem naturalnie występujących izotopów. Promieniowanie Beta wskazywane jest jako aktywność sztuczna netto, poprzez korekcję aktywności brutto, pod kątem składowej naturalnego promieniowania, przy użyciu wzoru: Aktywność sztuczna Beta netto =  $K_b * (B - aA)$ , gdzie: A i B - częstości zliczeń w kanałach Alfa i Beta, po korekcji tła;  $K_b$  - współczynnik kalibracji kanału Beta; a - współczynnik kompensacji na podstawie stosunku zliczeń Beta/Alfa, zmierzonego bez obecności sztucznej aktywności.



## **Pomiar globalnej aktywności izotopów emitujących promieniowanie beta w próbkach całkowitego opadu dobowego i miesięcznego – Zestaw TDSPI**

Zestaw do pomiaru aktywności całkowitej beta oraz gamma badanych próbek składa się z:

- Dwutorowego spektrometru TDSPI,
- Sondy SSU-TD-BETA umieszczonej w ołowianym domku osłonnym DO-1,
- Rejestratora komputerowego z oprogramowaniem do sterowania spektrometrem i archiwizacji danych pomiarowych.

Spektrometr TDSPI jest samodzielnym, dwutorowym, urządzeniem przeznaczonym do współpracy z dwiema niezależnymi sondami scyntylacyjnymi z fotopowielaczem. Tor pierwszy może współpracować z sondą SSU-TD-BETA lub SSU-70. Tor drugi przystosowany jest do współpracy z sondą gamma z przedwzmacniaczem 2007P CANBERRA oraz zainstalowanym wewnątrz urządzenia analizatorem wielokanałowym TUKAN.

Każdy z torów zawiera:

- zasilacz o zadawanym parametrycznie wysokim napięciu, do zasilania fotopowielacza sondy,
- przedwzmacniacz,
- wzmacniacz spektrometryczny o zadawanym parametrycznie wzmocnieniu zgrubnym i precyzyjnym,
- analizator 512-kanałowy.

Spektrometr współpracuje z komputerem po łączu USB. Spektrometr nie posiada wyświetlacza. Sterowanie oraz wizualizacja i archiwizacja wyników pomiarowych odbywa się z poziomu komputera poprzez zainstalowane specjalizowane oprogramowanie TDR.

We wspólnej obudowie TDSPI zainstalowane są:

1. Dwutorowy spektrometr TDSPI zawierający dwa niezależne tory spektrometryczne przystosowane do współpracy z sondami scyntylacyjnymi beta i/lub gamma (tor pierwszy z SSU-TD-BETA lub SSU-70, tor 2 z CANBERRA). Każdy z nich zawiera:
  - a. zasilacz wysokiego napięcia (500-1500V; 0,3mA),
  - b. przedwzmacniacz,
  - c. wzmacniacz spektrometryczny o parametrycznie ustawianym wzmocnieniu zgrubnym (x1, x2, x4, x8) i precyzyjnym (1...4095)
  - d. analizator 512-kanałowy,
  - e. przelicznik do zliczania impulsów z zadanego zakresu energetycznego, w zadanym czasie (do 18 godzin) z zadaną ilością powtórzeń (do 255),
  - f. tor drugi wyposażony jest w wyjście impulsów spektrometrycznych przystosowane do wejścia analizatora wielokanałowego TUKAN (o amplitudzie do 10V).
2. Uchwyty i miejsce umożliwiające zainstalowanie wewnątrz obudowy TDSPI analizatora wielokanałowego TUKAN,
3. Złącze sygnałowe z wyjścia toru drugiego do spektrometru TUKAN,
4. Zasilacze niskich napięć do zasilania:
  - a. huba USB oraz spektrometru TUKAN (+5V / 300mA),
  - b. spektrometru TDSPI,
  - c. przedwzmacniacza sond SSU (+24 V / 15 mA) oraz gamma (+/-12V),
5. Hub USB,
6. Interfejs USB/RS485 do spektrometrów TDSPI,

Sonda scyntylacyjna uniwersalna SSU-TD-BETA z zainstalowanym scyntylatorem BETA, przystosowana jest do instalowania w niej wymiennych scyntylatorów  $\varnothing 40$  (alfa, beta i gamma), poprzez odkręcenie pierścienia na szczycie sondy.

Jest wyposażona w:

- Scyntylator BETA typu SPF-32,
- fotopowielacz,
- podstawkę fotopowielacza zintegrowaną z dzielnik napięcia i przedwzmacniaczem ładunkowym,
- Kable (sygnałowy, HV,)

## Rejestrator komputerowy i oprogramowanie w zestawie TDSPI.

Specjalizowane oprogramowanie komputera komunikuje się z urządzeniem poprzez port szeregowy RS232 i/lub USB, umożliwiając ustawienie wszystkich parametrów pracy urządzenia oraz czytanie wyników pomiarów. Główne funkcje programu:

1. wybór aktywnej sondy scyntylicyjnej,
2. ustawianie parametrów pracy torów spektrometrycznych przy podłączonych sondach pomiarowych (wysokie napięcie, wzmocnienie zgrubne i precyzyjne, czas pomiaru, ilość powtórzeń, próg dyskryminacji, zakres zliczania impulsów przez przelicznik),
3. funkcja przelicznika umożliwiająca zliczania impulsów z zadanego zakresu z obydwu torów spektrometrycznych w zadanym czasie z zadaną ilością powtórzeń,
4. wykonanie pomiarów kalibracyjnych, tła oraz aktywności próbek beta według ściśle założonej, uzgodnionej z Zamawiającym, procedury pomiarowej (wymuszającej przed pomiarem próbki wykonanie pomiaru tła oraz kalibracji wzorcem w zadanym parametrycznie czasie),
5. archiwizacja wyników pomiarowych w pamięci komputera,
6. kontrola prawidłowości mierzonych wartości w odniesieniu do bezwzględnych zakresów zmienności, a także wartości średniej wraz z odchyleniem standardowym,
7. blokowanie możliwości pomiaru poza okresem ważności współczynnika kalibracji,
8. generowanie raportów z przeprowadzonych pomiarów (na drukarce i w postaci plików pdf),
9. obsługa statusu próbek („prawidłowa”, „do ponownego pomiaru”, „do wysłania”, „wysłana”, „zniszczona”),
10. automatyczne wyznaczanie charakterystyki podłączonych sond i prezentacja jej na ekranie,
11. prezentacja wizualna zbieranych widm z podłączonych sond na ekranie oraz możliwość zapisu wykresów w formacie txt, xml, JPG, pdf,
12. zmiana parametrów pracy (HV, próg dyskryminacji, wzmocnienia, zakres zliczania impulsów) wymusza wykonanie ponownej kalibracji,
13. zapis i odczyt wszystkich bieżących i archiwalnych danych pomiarowych w plikach tekstowych oraz XML.

Wzory obliczeniowe:

1. Współczynnik kalibracji
  - a.  $K = A_w / ((N_{wt} - N_t) \cdot S)$  [Bq/(m<sup>2</sup>·imp/min·)]
2. Aktywność próbki
  - a.  $A = K \cdot (N_{pt} - N_t)$  [Bq/m<sup>2</sup>]
3. Błąd statystyczny
  - a.  $\Delta = T \cdot \sqrt{(N_{pt} / t_p + N_t / t_0)}$ , dla pomiaru próbki
  - b.  $\Delta = T \cdot \sqrt{(N_{wt} / t_w + N_t / t_0)}$ , dla pomiaru kalibracji
4. Błąd statystyczny względny
  - a.  $a = \Delta / (N_{pt} - N_t) \cdot 100\%$
  - b.  $b = \Delta / (N_{wt} - N_t) \cdot 100\%$
5. Współczynnik dobroci
  - a.  $Q = (N_{wt} - N_t)^2 / N_t$

Oznaczenia:

- $A_w$  – aktywność wzorca na dzień pomiaru [Bq],
- $S$  – powierzchnia kuwety [m<sup>2</sup>],
- $K$  – odpowiedni współczynnik kalibracji,
- $A$  – aktywność próbki
- $Q$  – współczynnik dobroci,
- $N_{wt}$  – średnia liczba impulsów wzorca na minutę,
- $N_{pt}$  – średnia liczba impulsów próbki na minutę,
- $N_t$  – średnia liczba impulsów tła na minutę,
- $T$  – współczynnik ufności odpowiadający błędowi pierwszego
- $t_p$  – czas pomiaru próbki,
- $t_w$  – czas pomiaru wzorca,
- $t_0$  – czas pomiaru tła.

## 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 aktywności promieniotwórczej izotopów emitujących promieniowanie gamma wykonywane są za pomocą zestawu spektrometrycznego składającego się z detektora HPGe o wydajności 40% i zdolności rozdzielczej 1.9 keV przy energii 1332 keV wraz z analizatorem dołączonym do rejestratora komputerowego z zainstalowanym oprogramowaniem. Analiza widm rejestrowanych w 8000 kanałów prowadzona jest z zastosowaniem oprogramowania Genie – 2000, które umożliwia opracowanie matematyczne widm oraz ich wizualizację i archiwizację.

Detektor umieszczony jest w domku osłonowym o ścianach o grubości 10 cm wykonanych z ołowiu, wyłożonych od wewnątrz blachą wykonaną z miedzi o grubości 4 mm.

Do kalibracji zastosowano wzorce w geometrii naczynia cylindrycznego o średnicy 40 mm stosowanego w pomiarach zawierające mieszaninę izotopów emitujących promieniowanie gamma – „mix gamma” wyprodukowane przez Ośrodek Produkcji i Dystrybucji Izotopów w Świerku. Kalibrację przeprowadzono wykorzystując wzorce o różnych wysokościach: 3, 6, 9, 15 mm, co umożliwia wybór odpowiedniej kalibracji dla próbek o różnej grubości warstwy popiołu. Dla uzyskania gęstości próbek opadu całkowitego w granicach 0,9 – 1,2 g cm<sup>-3</sup>, zbliżonej do gęstości wzorców, próbki są prasowane specjalnym przyrządem, który jednocześnie pozwala wyznaczyć grubość warstwy popiołu.

Charakterystykę wzorców, uwzględniającą grubość warstwy, gęstość i aktywności poszczególnych izotopów zestawiono w tabeli:

Kod wzorca		BW/ Z-62/52/12	BW/ Z-62/53112	BW/ Z-62/54112	BW/ Z-62/55/12	
Grubość warstwy		3 mm	6 mm	9 mm	15mm	
Data referencyjna	1 lipca 2012					
Gęstość	1,15g cm <sup>-3</sup>					
	Okres półrozpadu	Energia (MeV)	Aktywność (kBq)			
<sup>241</sup> Am	432,6 ± 0,6 lat	0,026 0,060	4,94 ± 0,08	4,98 ± 0,09	4,96 ± 0,09	5,09 ± 0,09
<sup>109</sup> Cd	461,4 ± 1,2 dni	0,088	18,96 ± 0,42	19,13 ± 0,43	19,06 ± 0,43	19,57 ± 0,44
<sup>57</sup> Co	271,80 ± 0,05 dni	0,014 0,122 0,136	0,85 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,85 ± 0,01	0,87 ± 0,01
<sup>51</sup> Cr	27,703 ± 0,003 dni	0,320	19,32 ± 0,35	19,49 ± 0,35	19,42 ± 0,35	19,94 ± 0,36
<sup>113</sup> Sn	115,09 ± 0,03 dni	0,255 0,392	3,41 ± 0,08	3,44 ± 0,08	3,43 ± 0,08	3,52 ± 0,08
<sup>85</sup> Sr	64,850 ± 0,007 dni	0,514	2,90 ± 0,05	2,93 ± 0,05	2,92 ± 0,05	3,00 ± 0,05
<sup>137</sup> Cs	30,05 ± 0,08 lat	0,662	3,82 ± 0,08	3,85 ± 0,08	3,84 ± 0,08	3,94 ± 0,08
<sup>54</sup> Mn	312,13 ± 0,03 dni	0,835	4,79 ± 0,09	4,83 ± 0,09	4,81 ± 0,09	4,94 ± 0,09
<sup>65</sup> Zn	244,01 ± 0,09 dni	1,116	9,51 ± 0,15	9,60 ± 0,15	9,56 ± 0,15	9,82 ± 0,15
<sup>60</sup> Co	5,2710 ± 0,0008 lat	1,173 1,332	5,26 ± 0,07	5,31 ± 0,07	5,29 ± 0,07	5,43 ± 0,07

Wydajność dla poszczególnych linii energetycznych opisana jest równaniem:

$$\varepsilon(E) = \frac{N}{t y A_w K_w} \quad (1)$$

gdzie:

$\varepsilon(E)$  – wydajność detektora dla fotonów o energii E

N – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła

t – czas pomiaru w sekundach

$y$  – wydajność kwantowa  
 $A_w$  – aktywność wzorca (izotopu) na datę referencyjną  
 $K_w$  – współczynnik korekcji rozpadu

$$K_w = e^{\frac{\ln(2)t_w}{T_{1/2}}} \quad (2)$$

$t_w$  – czas jaki upłynął od daty referencyjnej wzorca (izotopu) do czasu kalibracji aparatury  
 $T_{1/2}$  – połowiczny czas rozpadu izotopu

Przygotowanie próbki do pomiarów spektrometrycznych obejmuje homogenizację próbki zbiorczej uzyskanej przez połączenie próbek opadu miesięcznego z 9 stacji, umieszczenie jej w cylindrycznych pojemnikach o średnicy 40 mm i zagęszczenie do uzyskania żądanej gęstości. Masa popiołu pojedynczych próbek, jak i zbiorczej, jest wyznaczana z dokładnością do 0,05 mg. 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:

$$A_i = \frac{N_i}{t \varepsilon(E) y} \quad (3)$$

gdzie:  $N_i$  – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła,  
 $\varepsilon(E)$  – wydajność detektora dla fotonów o energii  $E$   
 $y$  – wydajność kwantowa  
 $t$  – 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. W pomiarach realizowanych metodą spektrometrii gamma i przy wykorzystaniu oprogramowania GENIE 2000, za granicę oznaczalności definiowaną jako najmniejsza ilość lub najmniejsze stężenie substancji możliwe do ilościowego oznaczenia daną metodą analityczną z założoną dokładnością i precyzją przyjmuje się minimalną mierzalną aktywność (MDA – ang. *Minimum Detectable Activity*) wyznaczoną metodą Curie. Metoda ta bazuje na dwóch podstawowych parametrach: (i) poziomie krytycznym ( $L_C$  – ang. *critical level*), który jest definiowany jako poziom, poniżej którego całkowity sygnał nie może być wiarygodnie zidentyfikowany i (ii) limicie detekcji ( $L_D$  ang. – *detection limit*) określającym najmniejszy sygnał, który może być w sposób wiarygodny określony ilościowo. Minimalna mierzalna aktywność (MDA) obliczana jest na podstawie limitu detekcji  $L_D$ .

$$MDA = \frac{L_D}{t \varepsilon(E) y} \quad (4)$$

Przy czym stosuje się różne metody obliczania wartości  $L_D$ , tutaj przyjęto metodę Loyda A. Currie'go określoną wzorem:

$$L_D = 0,276 + 1,05\sigma \quad (5)$$

gdzie:  
 $L_D$  – limit detekcji w impulsach.  
 $\sigma$  – odchylenie standardowe tła w badanym pikcie.

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

Aktywność właściwą poszczególnych radionuklidów wyznaczano na podstawie zależności:

$$C_i = \frac{A_i}{b S} \exp(\lambda_i t_d) \quad (6)$$

gdzie:

$A_i$  – aktywność i-tego izotopu w próbce,

$\lambda_i$  – stała rozpadu,

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

$b$  – część masy próbki zbiorczej wziętej do analizy,

$S$  – powierzchnia naczynia do zbierania opadu całkowitego (1500 cm<sup>2</sup>),

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

### Radiochemiczne oznaczanie <sup>90</sup>Sr w miesięcznym opadzie całkowitym

Stężenie promieniotwórcze <sup>90</sup>Sr oznaczane jest w zintegrowanej próbce miesięcznego opadu całkowitego, uprzednio analizowanego nieniszczącą metodą spektrometrii gamma. Oznaczenie <sup>90</sup>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 <sup>90</sup>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 HNO<sub>3</sub> (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) HNO<sub>3</sub> (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 mufowym 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 HNO<sub>3</sub> (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 HNO<sub>3</sub> (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 <sup>90</sup>Sr z <sup>90</sup>Y 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 HNO<sub>3</sub>, 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 HNO<sub>3</sub> (1:1). Następnie dodajemy ok. 25 ml wody destylowanej, 15 – 20 kropli nasyconego roztworu kwasu szczawowego 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 <sup>90</sup>Y równoważnej aktywności <sup>90</sup>Sr powinien być wykonany nie później niż 2 godziny od chwili oddzielenia Y(OH)<sub>3</sub> od reszty roztworu. Jeżeli pomiar zostanie przeprowadzony później należy uwzględnić rozpad promieniotwórczy <sup>90</sup>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 <sup>90</sup>Y o znanej aktywności i geometrii identycznej z geometrią próbek.

Obliczanie aktywności <sup>90</sup>Sr w próbach opadu całkowitego:

$$A = \frac{N_0 \times \eta}{S}, \text{ gdzie: } A - \text{aktywność [Bq m}^{-2}\text{]}$$

N<sub>0</sub> – ilość impulsów na minutę netto (wynikająca z różnicy pomiędzy całkowitą ilością impulsów na minutę – N i ilością impulsów na minutę tła – N<sub>t</sub>)

η - współczynnik kalibracji [Bq/imp/min]

S – powierzchnia zbierająca [m<sup>2</sup>]

W przypadku, gdy czas, który upłynął od chwili oddzielenia  $Y(OH)_3$  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:

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

$\sigma$  – błąd pomiaru [Bq m<sup>-2</sup>]

$t_p$  – czas pomiaru próby [min]

$t_{pt}$  – czas pomiaru tła [min]

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

### 3. Wyniki i omówienie wyników z 2014 roku i w odniesieniu do okresu 2000-2013

#### 3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu

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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

W 2014 roku wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były 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), od najniższej średniej miesięcznej wartości  $74,9 \text{ nGy h}^{-1}$  uzyskanej w lutym na stacji Warszawa do maksymalnej zarejestrowanej w czerwcu, w Zakopanem –  $122,9 \text{ nGy h}^{-1}$  (Tabela 1).

Na trzech stacjach: Gorzów Wlkp., Świnoujście i Gdynia średnie miesięczne uzyskane z wartości dobowych były na porównywalnym poziomie dla poszczególnych miesięcy. Różnice między maksymalną a minimalną średnią wartością z poszczególnych miesięcy na pozostałych stacjach przekraczały  $5,2 \text{ nGy h}^{-1}$ .

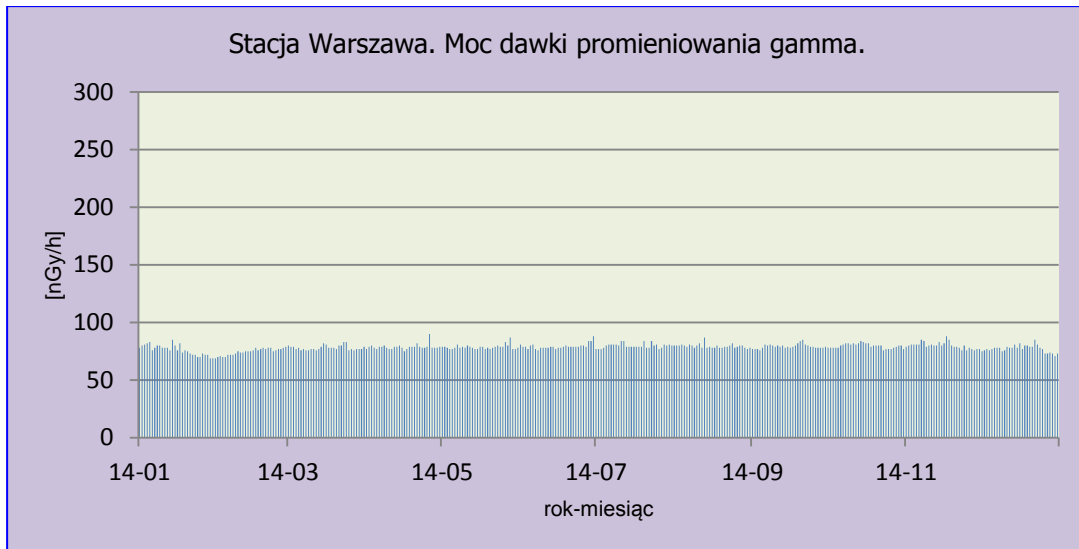
W skali roku najniższe średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma charakteryzowały okolice Świnoujścia, gdzie średnia roczna dobowa uzyskana ze wszystkich miesięcy wyniosła  $76,2 \text{ nGy h}^{-1}$ . W Mikołajkach oraz w południowej części Polski gdzie zazwyczaj występuje podwyższony poziom promieniowania, średnie dobowe były na poziomie 101,8; 104,4; 119,7  $\text{nGy h}^{-1}$ . Wyniki te odzwierciedlają poziomy rejestrowane w ciągu całego roku odpowiednio na stacjach: Mikołajki, Lesko i Zakopane.

Biorąc pod uwagę wyniki średnich wartości obliczonych dla poszczególnych miesięcy ze wszystkich stacji, wahały się one w granicy od  $89,7 \text{ nGy h}^{-1}$  w lutym do  $93,4 \text{ nGy h}^{-1}$  w lipcu. Otrzymane wyniki wskazują na brak zmienności sezonowej, co oznacza, że głównym elementem determinującym moc dawki promieniowania gamma jest lokalizacja geograficzna.

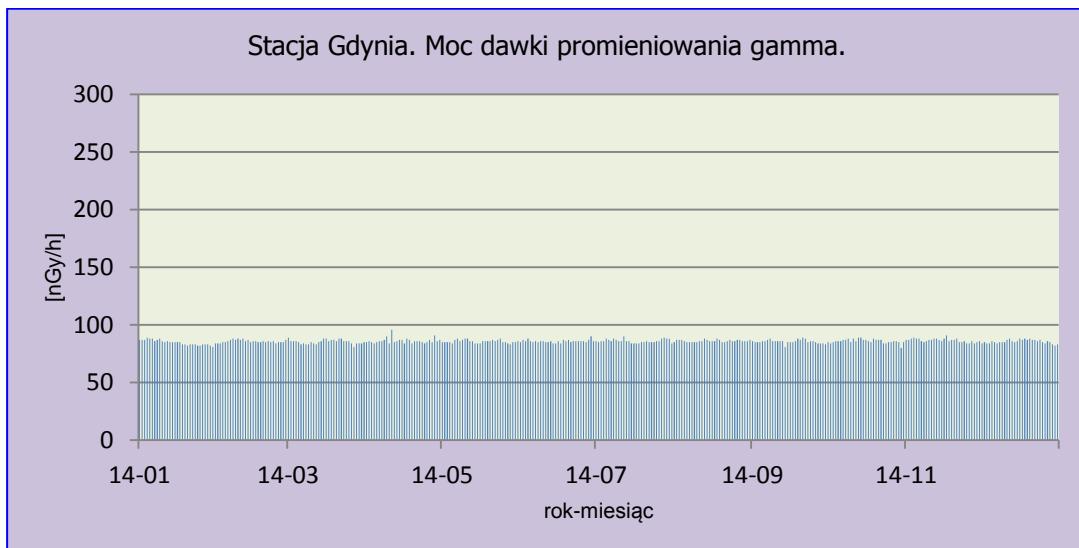
Tabela 1. Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu w 2014 roku,  $\text{nGy h}^{-1}$ .

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	76,0	84,7	96,0	85,3	77,2	96,1	77,5	120,2	102,7	90,6
Luty	74,9	85,8	97,6	84,2	77,1	95,7	75,7	117,3	98,8	89,7
Marzec	78,2	85,4	100,2	85,2	76,4	97,4	79,6	120,8	105,0	92,0
Kwiecień	78,8	86,3	100,3	84,4	76,0	95,4	79,8	121,3	107,8	92,2
Maj	78,8	85,7	102,6	84,2	75,8	95,8	80,4	121,8	105,0	92,2
Czerwiec	79,4	85,9	105,0	84,2	75,7	97,4	79,9	122,9	106,3	93,0
Lipiec	79,9	86,1	104,8	85,2	75,9	99,9	80,3	122,7	106,1	93,4
Sierpień	79,5	86,2	104,5	86,0	76,2	100,9	80,8	120,5	104,7	93,3
Wrzesień	79,3	85,6	103,6	84,9	75,4	97,2	79,6	118,8	104,3	92,1
Październik	79,7	86,0	103,3	85,2	75,9	97,3	80,3	118,6	104,4	92,3
Listopad	80,1	86,6	103,1	85,5	76,8	96,9	81,6	118,2	104,4	92,6
Grudzień	77,3	85,5	99,9	85,7	76,0	94,8	78,8	112,9	102,3	90,4
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	80,1	86,6	105,0	86,0	77,2	100,9	81,6	122,9	107,8	
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	74,9	84,7	96,0	84,2	75,4	94,8	75,7	112,9	98,8	
<b>Średnia roczna dobowa</b>	78,5	85,8	101,8	85,0	76,2	97,1	79,5	119,7	104,4	<b>92,0</b>

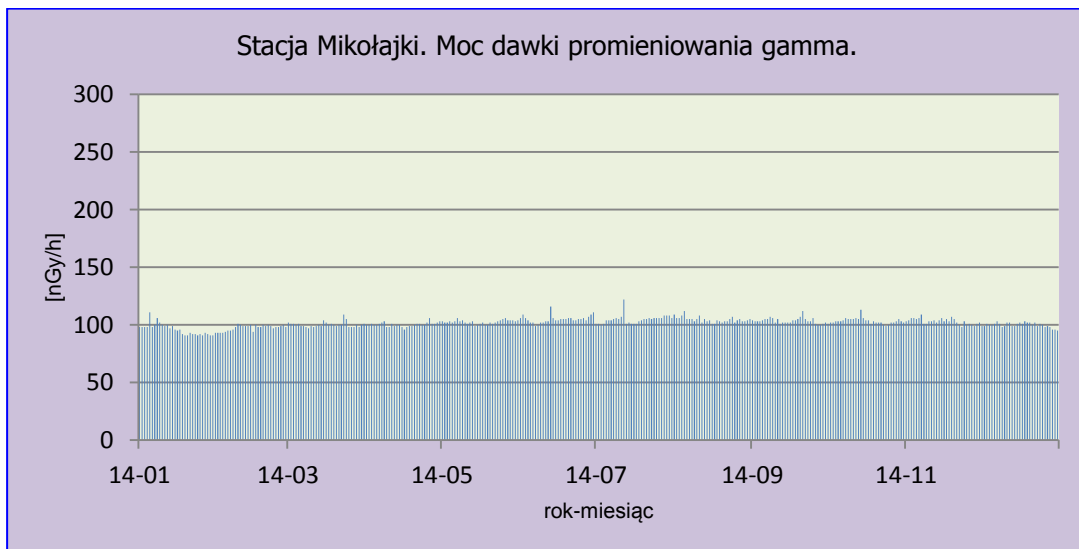




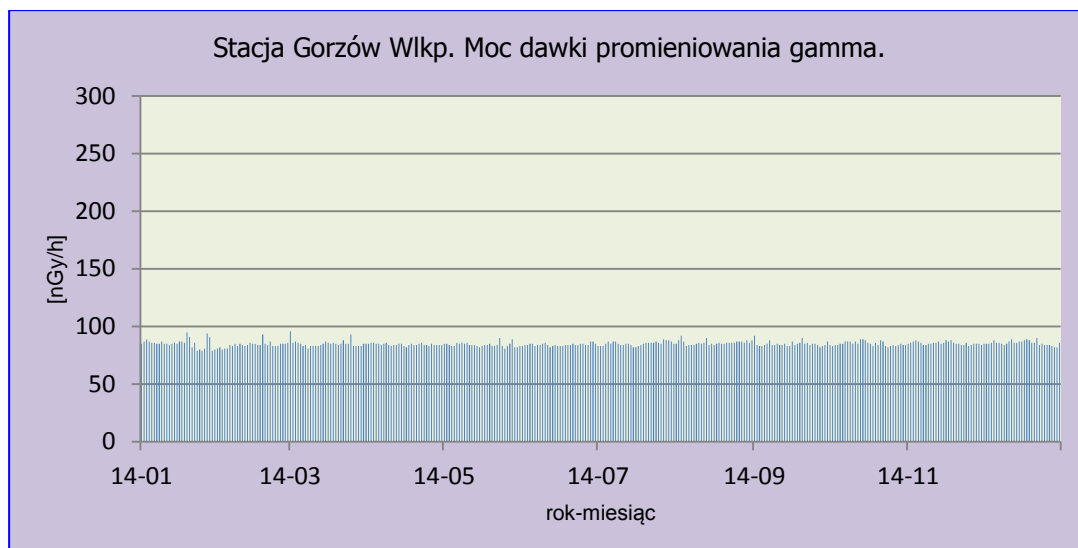
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2014 roku.



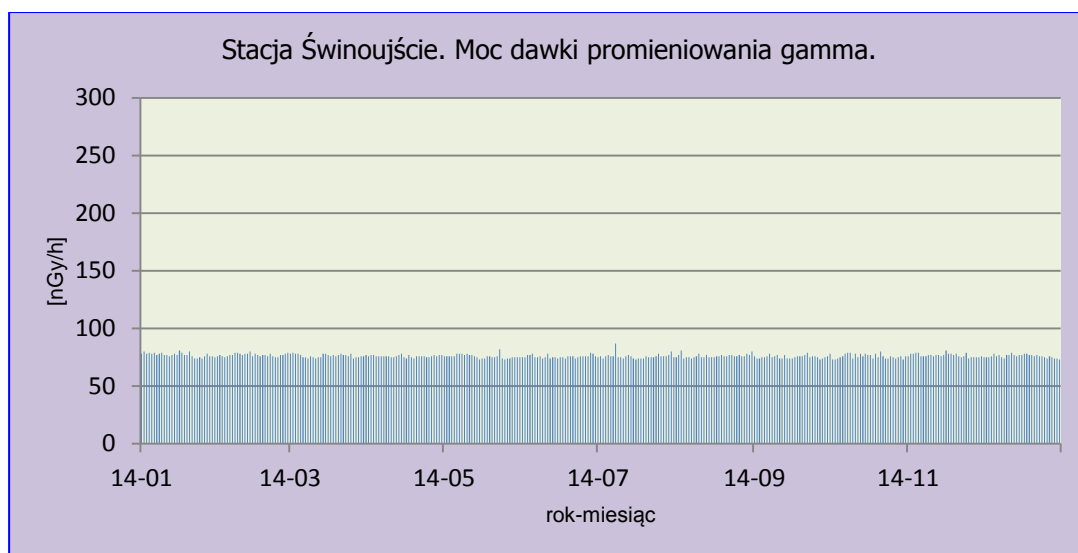
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2014 roku.



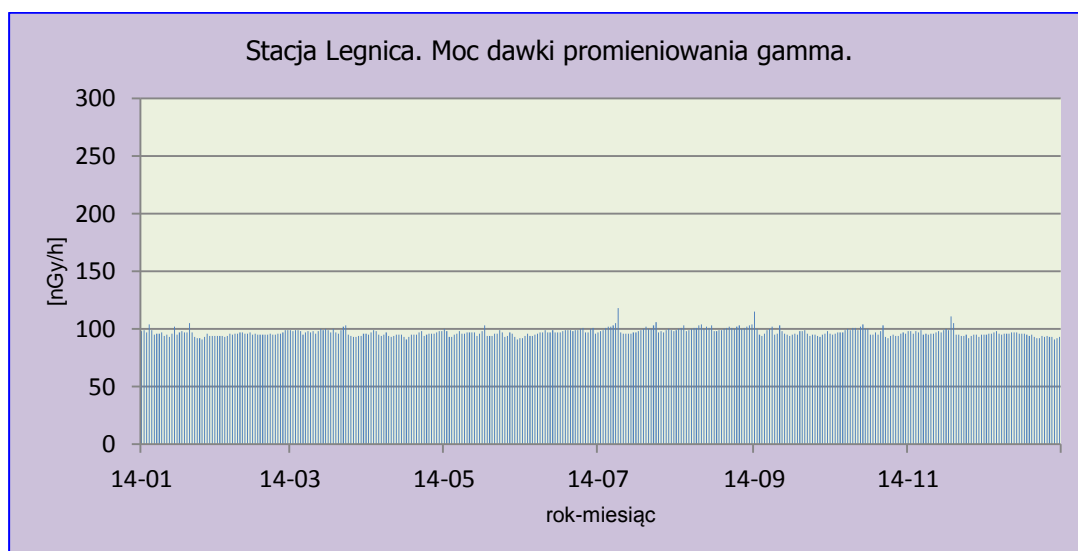
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2014 roku.



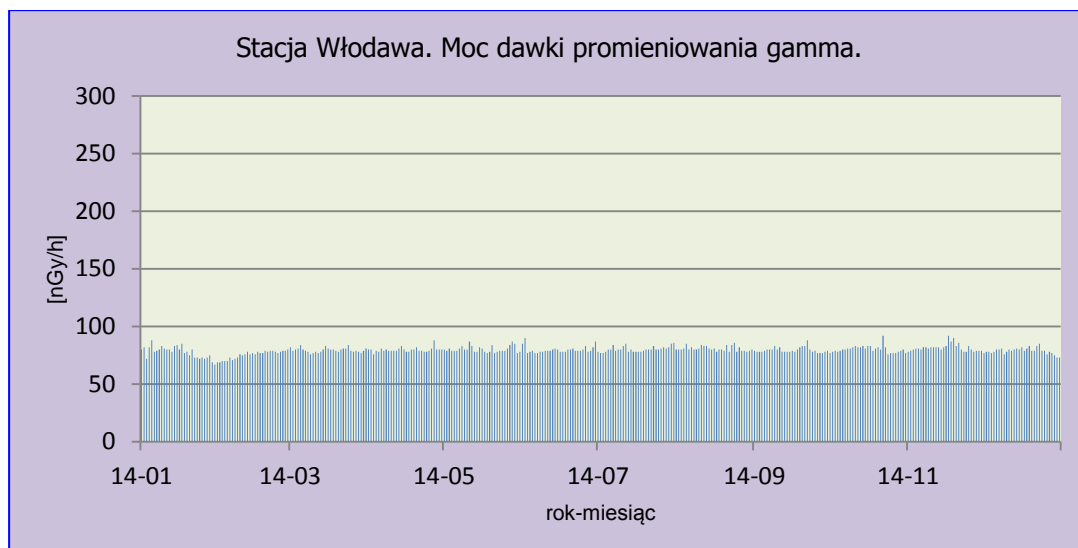
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2014 roku.



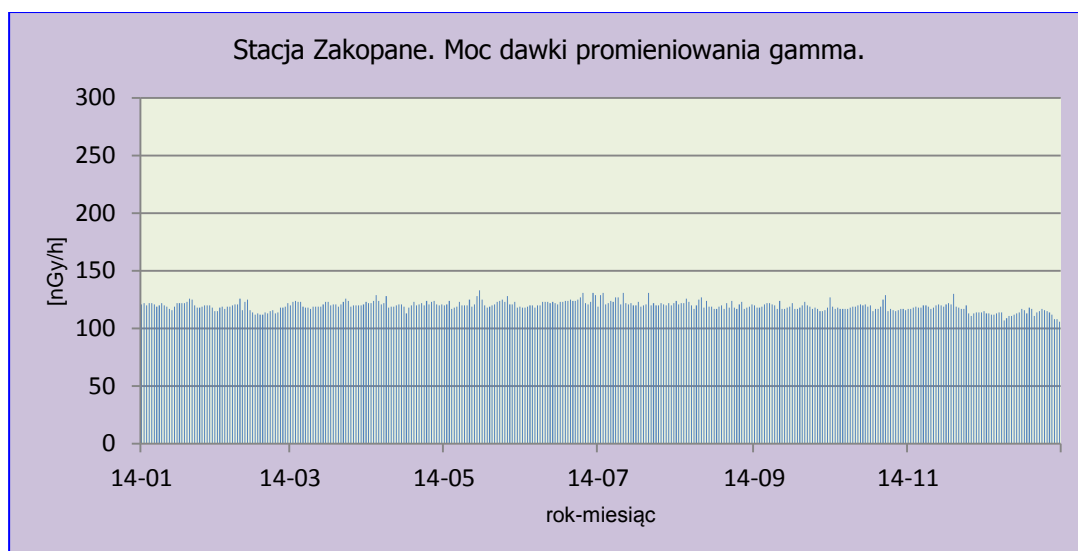
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2014 roku.



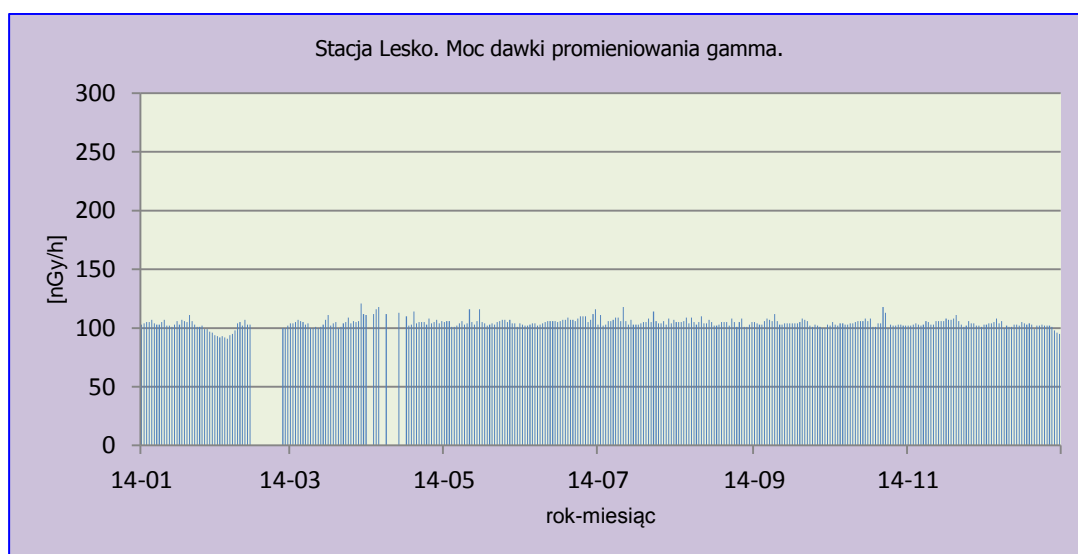
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2014 roku.



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2014 roku.



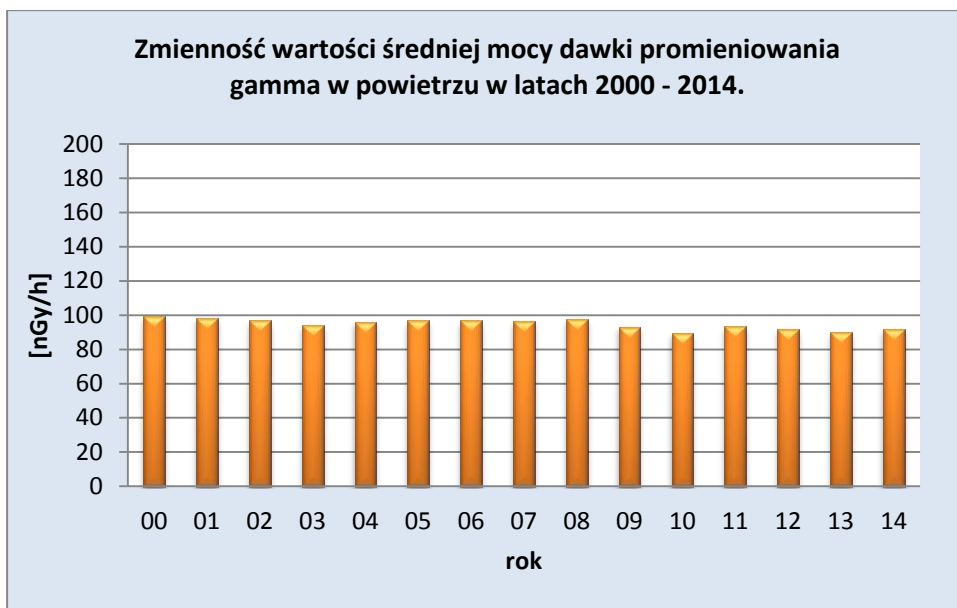
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2014 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 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 2014 roku wynosiła  $92,0 \text{ nGy h}^{-1}$  i była wyższa od obserwowanej w roku poprzednim o  $1,9 \text{ nGy h}^{-1}$  (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 - 2014 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, która charakteryzowała rok 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wyniosła  $94,8 \text{ nGy h}^{-1}$ .

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2014,  $\text{nGy h}^{-1}$ .

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
<b>2014</b>	<b>92,0</b>
Średnia	94,8
Minimalna	89,6
Maksymalna	99,1



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2014.

### 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

W 2014 roku na 7 stacjach badawczych zostały wykonane pomiary poziomu radioaktywności związane z obecnością izotopów, pochodzenia naturalnego i sztucznego, emitujących promieniowanie alfa oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta, w próbkach aerozoli.

#### 3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa

##### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

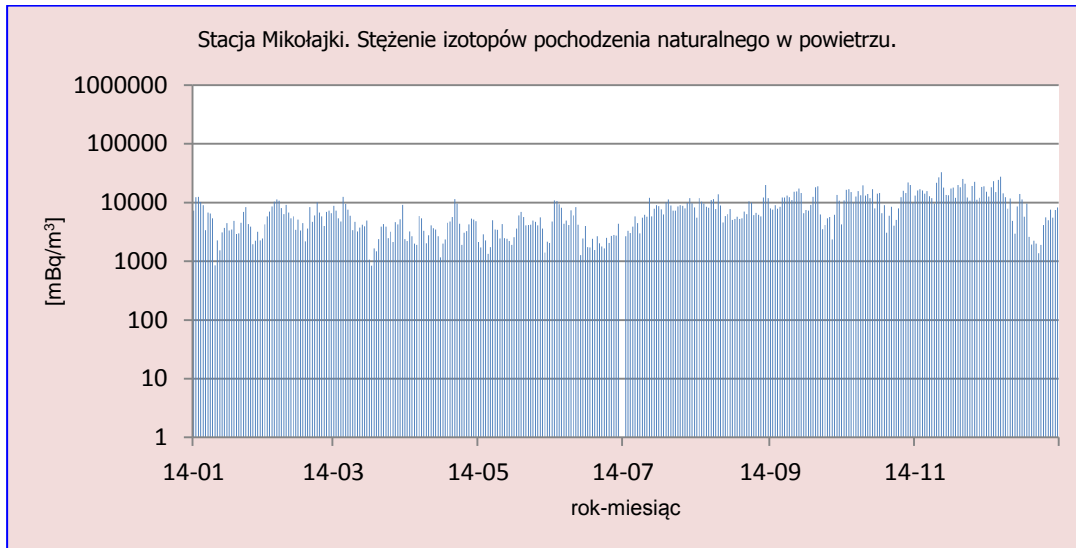
W 2014 roku średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością charakteryzowały się aerozole zbierane w marcu na stacji Świnoujście ( $1,6 \text{ Bq m}^{-3}$ ), gdzie najwyższa uzyskana wartość dla tej miejscowości wynosiła  $9,3 \text{ Bq m}^{-3}$ . Najwyższe średnie miesięczne stężenie izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa ( $29,7 \text{ Bq m}^{-3}$ ) odnotowano w miesiącu grudniu na stacji Zakopane i w następnej kolejności w listopadzie w Mikołajkach ( $17,0 \text{ Bq m}^{-3}$ ) oraz w Legnicy w październiku ( $15,2 \text{ Bq m}^{-3}$ ).

Analizując wszystkie wyniki otrzymane na badanych stacjach stwierdzono, że zdecydowana większość minimalnych wyników pojawia się w pierwszej połowie roku w miesiącach od lutego do czerwca, zaś maksymalne średnie wartości przypadają na okres jesienno – zimowy (od października do grudnia). Średnie wartości stężeń wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z danych uzyskanych na 7 badanych stacjach zmieniały się od wartości  $4,6 \text{ Bq m}^{-3}$  przypadającej na miesiąc maj do wartości obliczonej w listopadzie –  $13,3 \text{ Bq m}^{-3}$ .

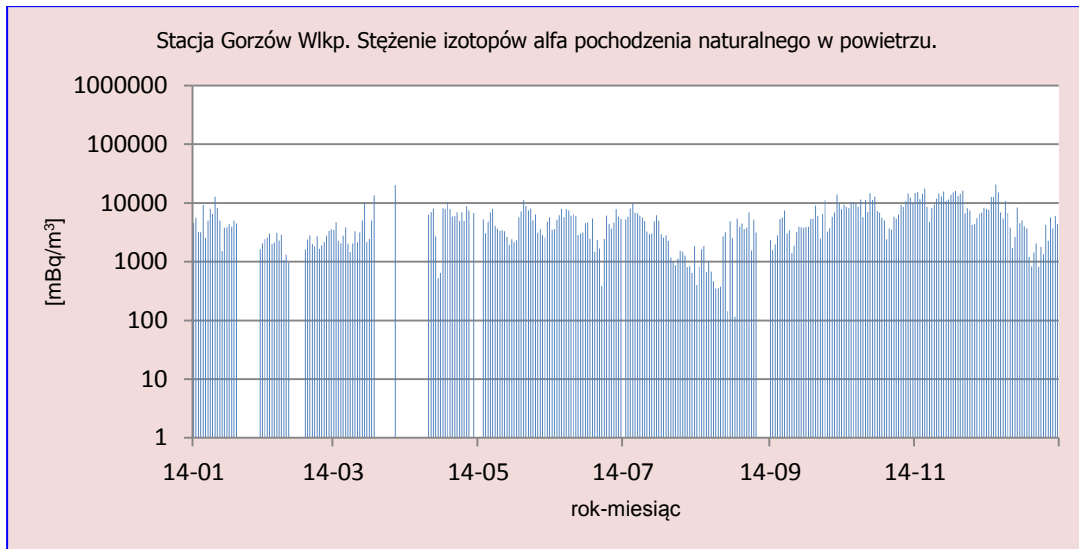
Taka naturalna zmienność parametrów radiologicznych w powietrzu wynika z wahań temperatury, kierunku i prędkości wiatru oraz innych warunków meteorologicznych takich jak ciśnienie, wilgotność, promieniowanie słoneczne, opad deszczu, śnieg itp.

Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w 2014, Bq m<sup>-3</sup>.

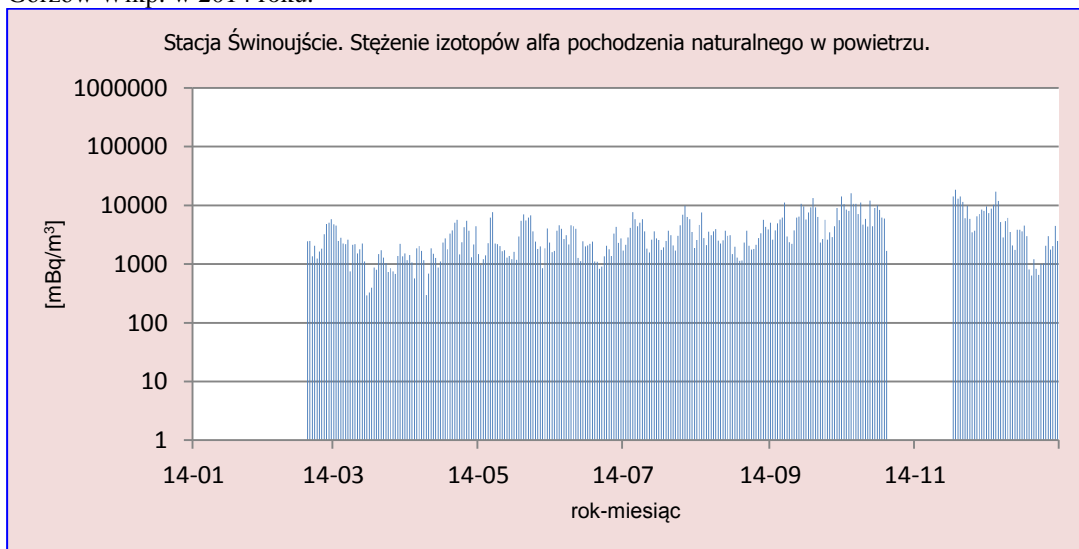
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	4,9	4,9	Brak danych	7,8	4,6	6,3	9,4	6,3
Luty	6,6	2,3	2,9	7,8	5,2	4,1	6,9	5,1
Marzec	4,6	4,8	1,6	10,1	5,3	3,5	6,6	5,2
Kwiecień	4,0	6,2	2,3	7,0	4,8	6,4	6,7	5,3
Maj	3,4	4,8	2,9	5,1	4,0	6,3	5,7	4,6
Czerwiec	4,3	4,6	2,4	8,1	3,8	6,7	6,8	5,2
Lipiec	7,3	3,6	3,8	10,6	5,4	10,0	8,2	7,0
Sierpień	8,4	2,3	3,0	9,7	5,5	9,1	7,3	6,5
Wrzesień	10,1	5,0	5,8	12,1	7,3	10,4	9,9	8,7
Październik	12,0	8,5	8,5	15,2	9,6	11,2	10,2	10,8
Listopad	17,0	11,0	9,3	14,1	14,4	14,1	13,1	13,3
Grudzień	9,5	5,7	4,3	9,7	8,3	29,7	9,6	11,0
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>								
	17,0	11,0	9,3	15,2	14,4	29,7	13,1	
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>								
	3,4	2,3	1,6	5,1	3,8	3,5	5,7	
<b>Średnia roczna dobowa</b>								
	7,7	5,4	3,9	9,8	6,6	9,9	8,4	<b>7,4</b>



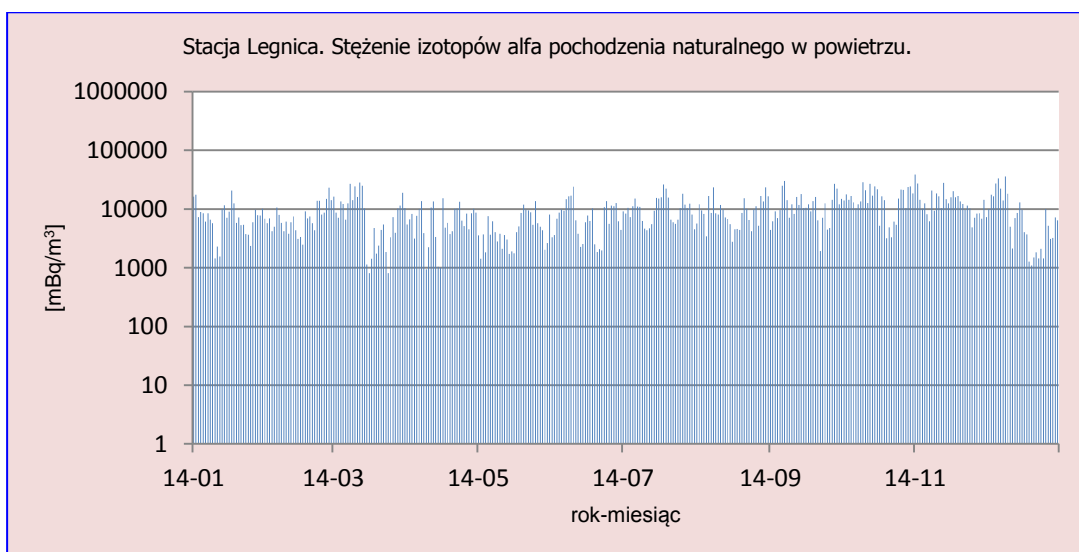
Rys.12. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2014 roku.



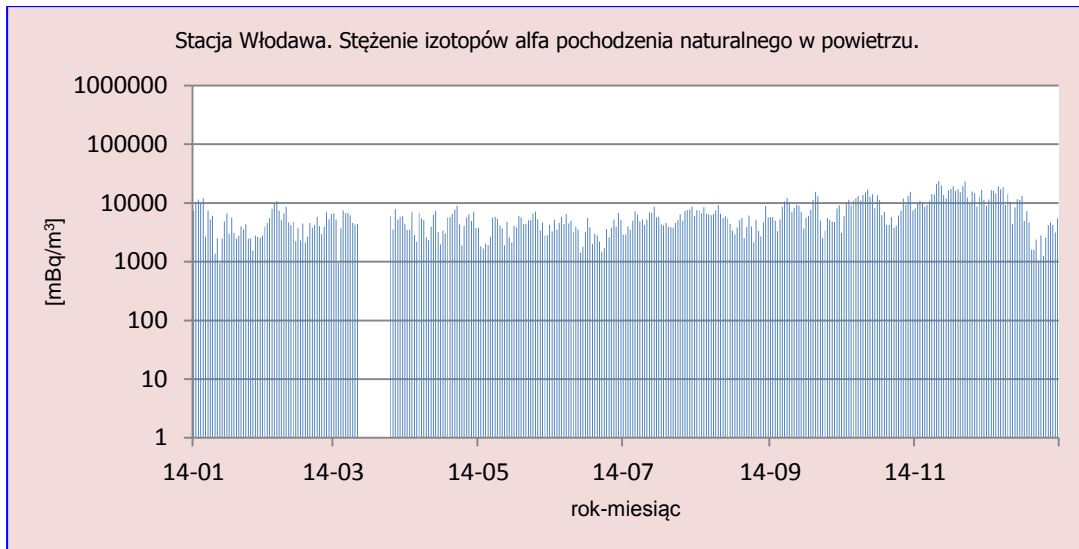
Rys.13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2014 roku.



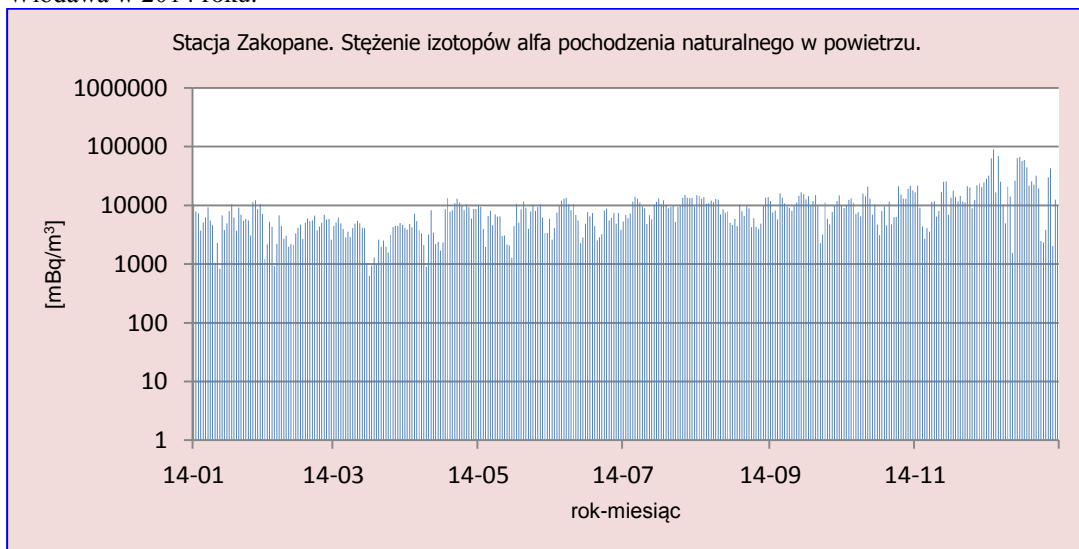
Rys.14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2014 roku.



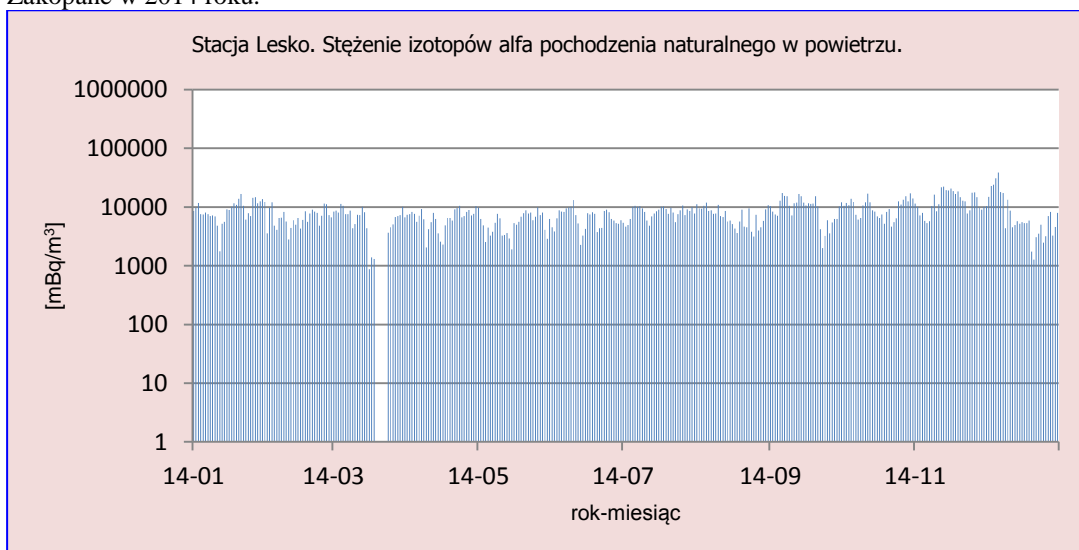
Rys.15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Legnica w 2014 roku.



Rys.16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Zakopane w 2014 roku.



Rys.18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Lesko w 2014 roku.



## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2014 roku średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolu zawieszonych w powietrzu było takie samo jak w roku ubiegłym i wynosiło  $5,3 \text{ Bq m}^{-3}$  oraz niższe o  $0,7 \text{ Bq m}^{-3}$  w stosunku do wartości średniej charakterystycznej dla roku 2012. W porównywanym okresie lat 2000-2014 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. Średnia obliczona ze wszystkich badanych lat jest na poziomie  $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$  (Tabela 4).

Tabela 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2014,  $\text{Bq m}^{-3}$ .

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
<b>2014</b>	<b>5,3</b>
Średnia	7,0
Maksymalna	8,6
Minimalna	4,9

### 3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

Na trzech spośród wszystkich badanych stacji, gdzie prowadzone były pomiary stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa odnotowano miesięczne wartości minimalne pozostające powyżej limitów detekcji, mieściły się one w przedziale od  $0,001 \text{ Bq m}^{-3}$  do  $0,006 \text{ Bq m}^{-3}$  (Legnica, Włodawa, Zakopane). W pozostałych przypadkach otrzymane wartości były poniżej limitu oznaczalności (Tabela 5, Rys. 19-25). Maksymalna średnia miesięczna wartość ( $0,282 \text{ Bq m}^{-3}$ ) wystąpiła na stacji Gorzów

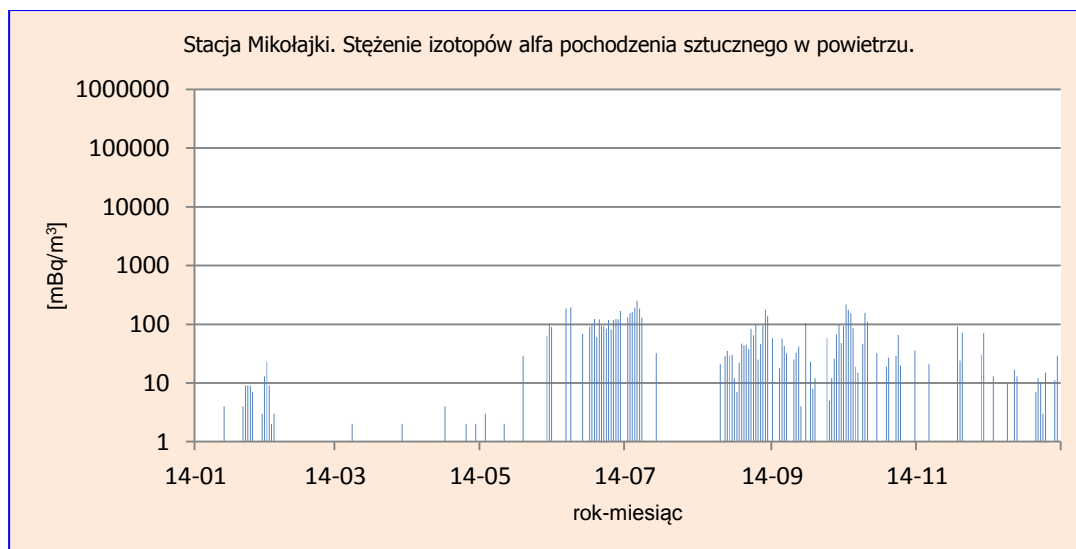
Wlkp., oraz w następnej kolejności w Zakopanem ( $0,132 \text{ Bq m}^{-3}$ ), gdzie w miesiącach od maja do sierpnia wartości były kilkukrotnie wyższe od zarejestrowanych na pozostałych stacjach badawczych.

Średnia obliczona dla wszystkich miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniała się w stosunkowo wąskim zakresie od  $0,007 \text{ Bq m}^{-3}$  – wartości charakterystycznej dla marca do  $0,067 \text{ Bq m}^{-3}$  – wartości wyznaczonej z danych w lipcu. Dane uzyskane w 2014 roku nie odbiegają od wyników z poprzednich lat, średnia roczna obliczona dla wszystkich stacji w kolejnych miesiącach utrzymuje się na poziomie  $0,030 \text{ Bq m}^{-3}$ .

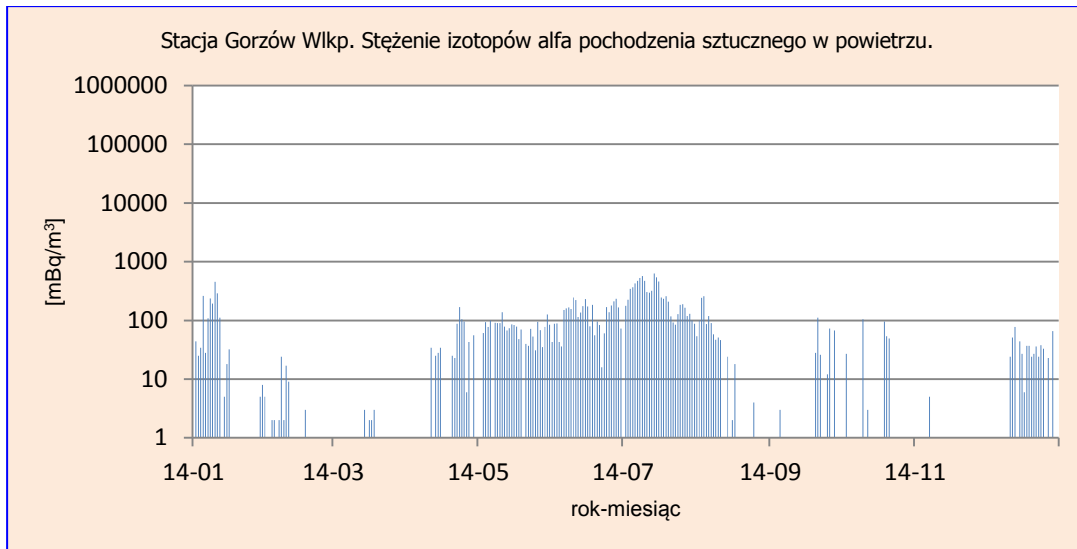
Poziom promieniowania alfa pochodzenia sztucznego stanowił tylko ok. 0,4 % poziomu radioaktywności związanego z promieniowaniem alfa ze źródeł naturalnych.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolach w 2014 roku,  $\text{Bq m}^{-3}$ .

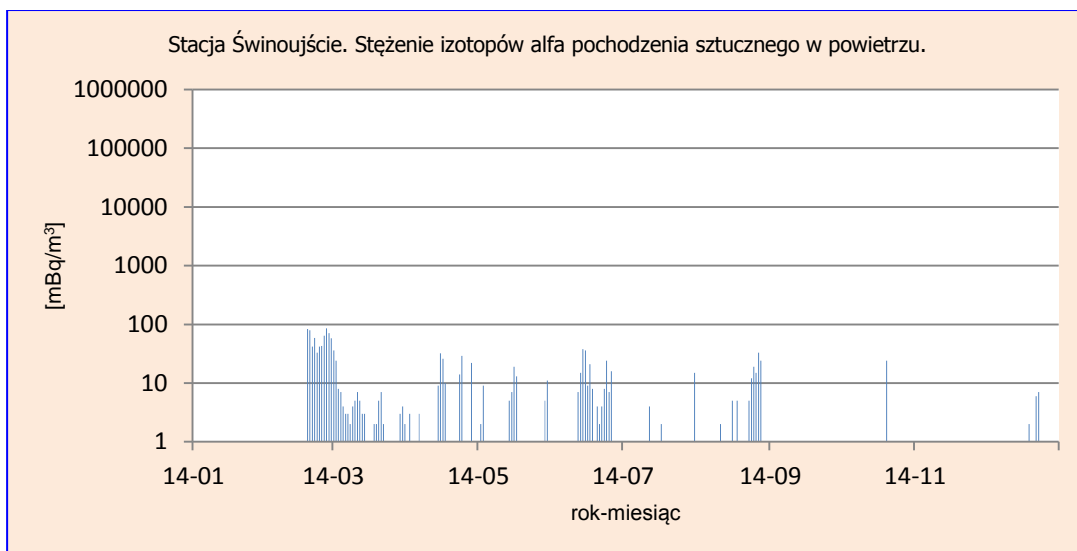
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,003	0,062	Brak danych	0,002	0,015	0,006	0,037	0,021
Luty	0,001	0,003	0,060	0,007	0,014	0,011	0,026	0,017
Marzec	0,000	0,001	0,005	0,007	0,011	0,013	0,013	0,007
Kwiecień	0,000	0,037	0,005	0,010	0,003	0,042	0,000	0,014
Maj	0,009	0,070	0,002	0,055	0,008	0,104	0,001	0,036
Czerwiec	0,067	0,132	0,007	0,056	0,016	0,132	0,007	0,059
Lipiec	0,041	0,282	0,001	0,043	0,013	0,086	0,002	0,067
Sierpień	0,035	0,039	0,004	0,089	0,014	0,114	0,008	0,043
Wrzesień	0,026	0,011	0,000	0,068	0,012	0,031	0,009	0,023
Październik	0,042	0,011	0,001	0,023	0,039	0,044	0,003	0,023
Listopad	0,010	0,000	0,000	0,115	0,011	0,019	0,001	0,022
Grudzień	0,005	0,019	0,000	0,125	0,001	0,014	0,005	0,024
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	0,067	0,282	0,060	0,125	0,039	0,132	0,037	
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,006	0,000	
<b>Średnia roczna dobowa</b>	0,020	0,059	0,005	0,050	0,013	0,052	0,009	<b>0,030</b>



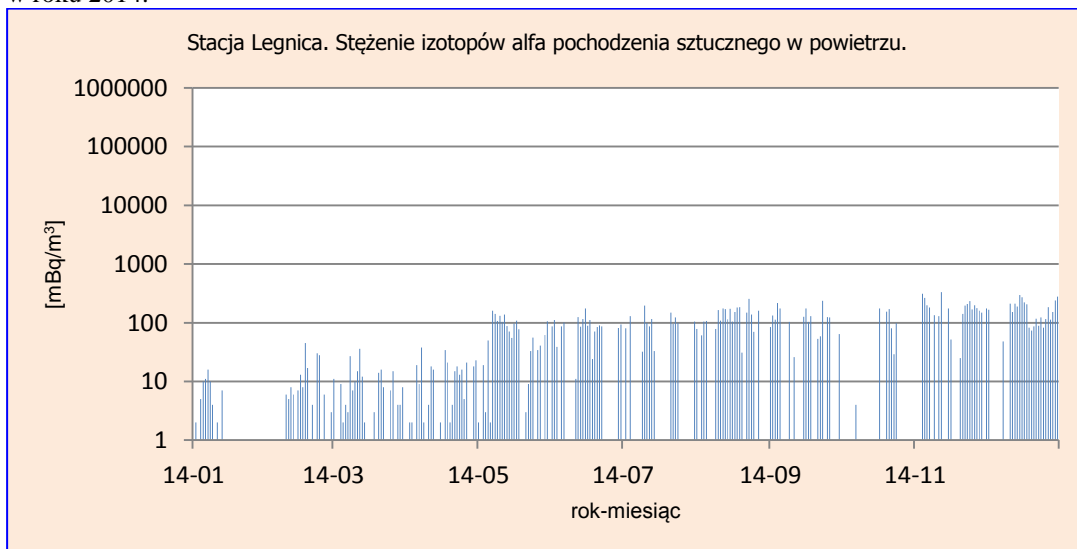
Rys.19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2014 roku.



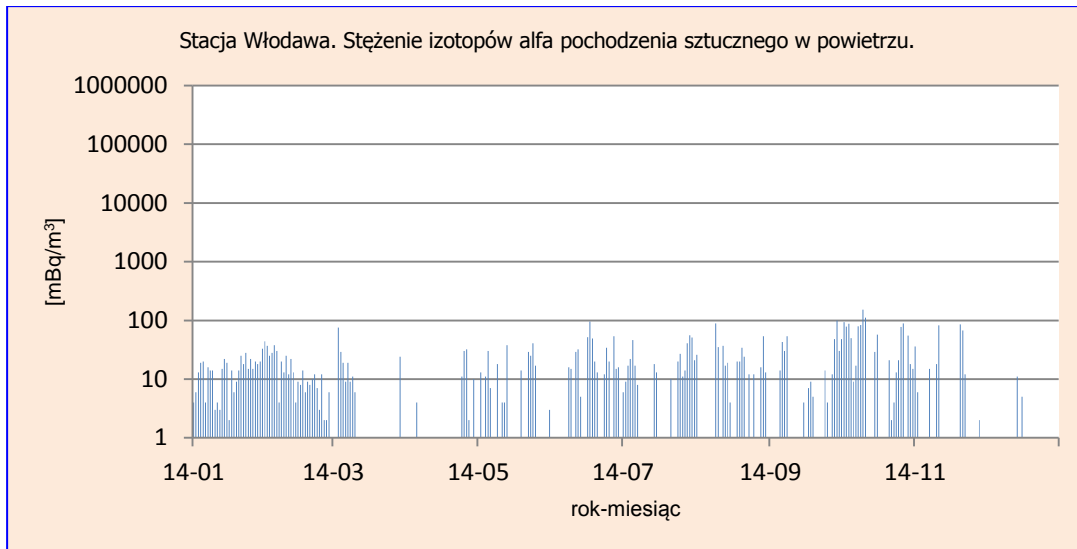
Rys.20. Radioaktywność izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2014 roku.



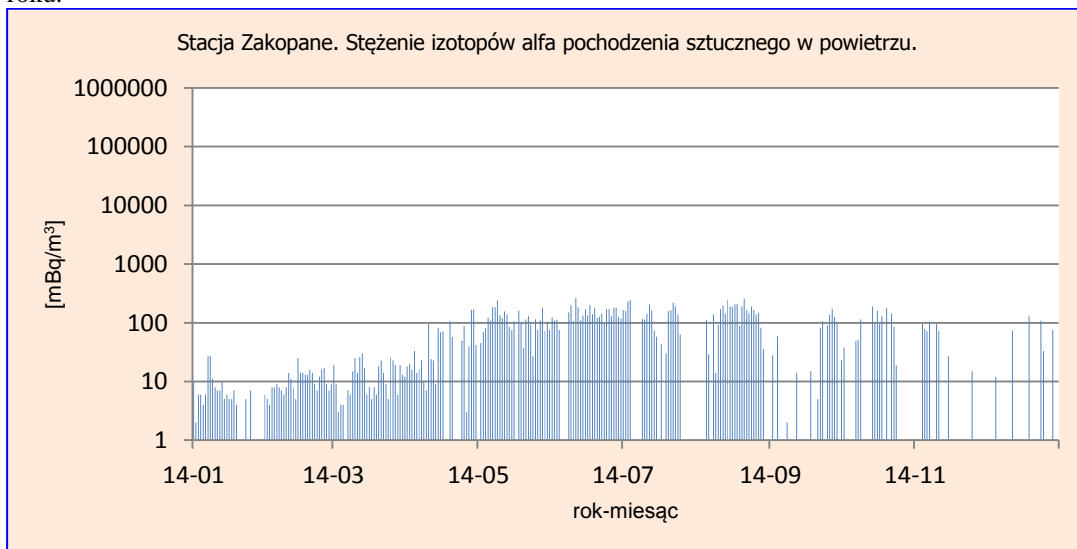
Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w roku 2014.



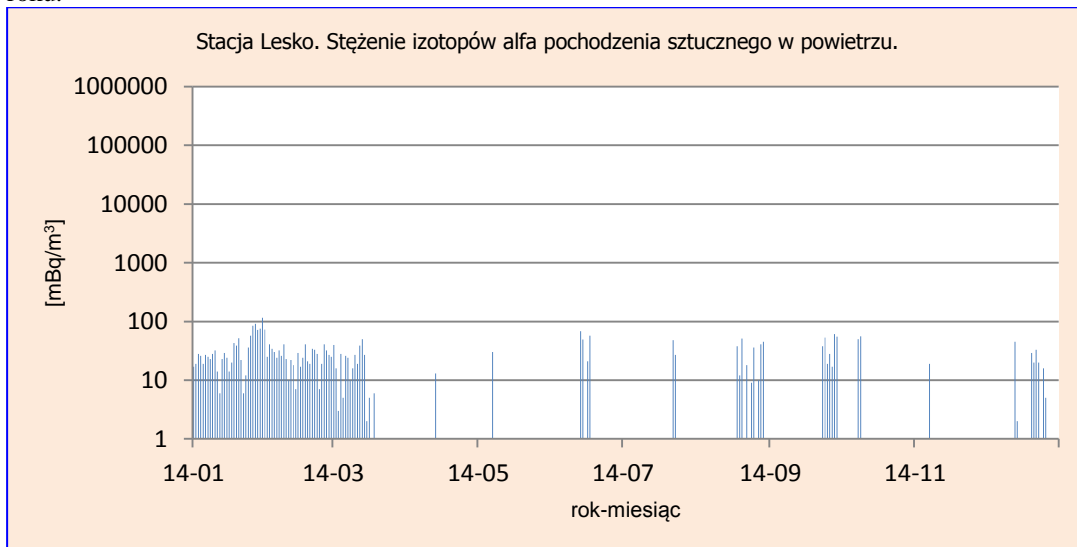
Rys.22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2014 roku.



Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys.24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2014 roku.



Rys.25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2014 roku.

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2014 roku średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa wyniosło  $0,030 \text{ Bq m}^{-3}$  i było nieznacznie niższe od wartości obserwowanej w poprzednim roku ( $0,033 \text{ Bq m}^{-3}$ ). W latach 2000 – 2014 najniższe średnie roczne stężenie równe  $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$  odnotowano w 2001 roku, zaś najwyższe wyniki zarejestrowano w 2009 ( $0,040 \text{ Bq m}^{-3}$ ) (Tabela 6).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa pochodzenia sztucznego w latach 2000 – 2014,  $\text{Bq m}^{-3}$

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
<b>2014</b>	<b>0,030</b>
Średnia	0,025
Maksymalna	0,040
Minimalna	0,004

### 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta

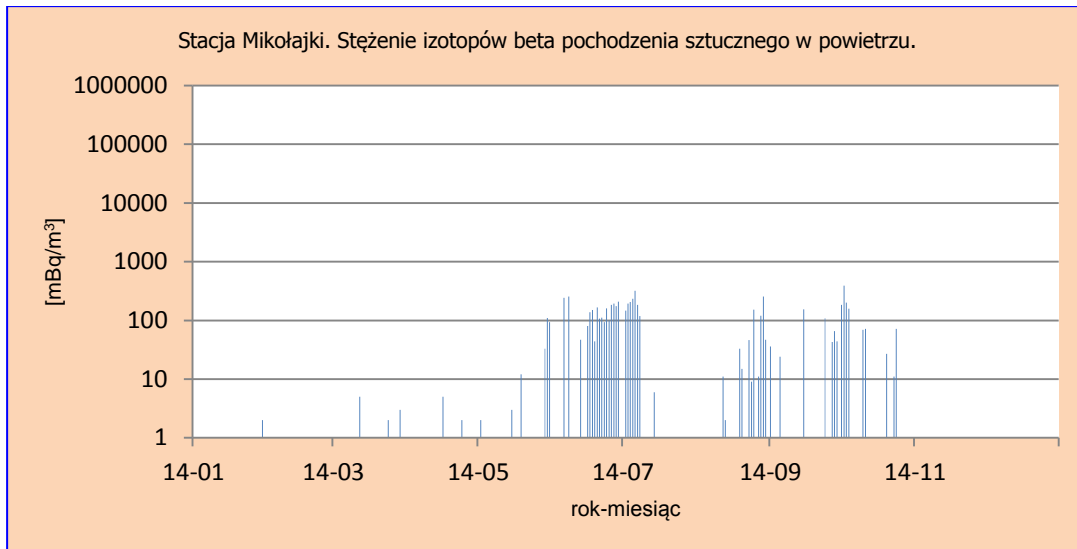
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

Średnie stężenia izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta dla poszczególnych miesięcy dosyć często pozostawały poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej, podobnie jak miało to miejsce w przypadku izotopów antropogenicznych emitujących promieniowanie alfa. Największą częstotliwość (50% w skali roku) występowania takich wyników odnotowano na stacji Mikołajki w miesiącach od listopada do kwietnia (Tabela 7, Rys.26 - 32). Maksymalne wartości średnich miesięcznych stężeń promieniotwórczych zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie, od 0,011 Bq m<sup>-3</sup> na stacji Włodawa do 0,734 Bq m<sup>-3</sup> wartości charakterystycznej dla lipca w Gorzowie Wlkp.

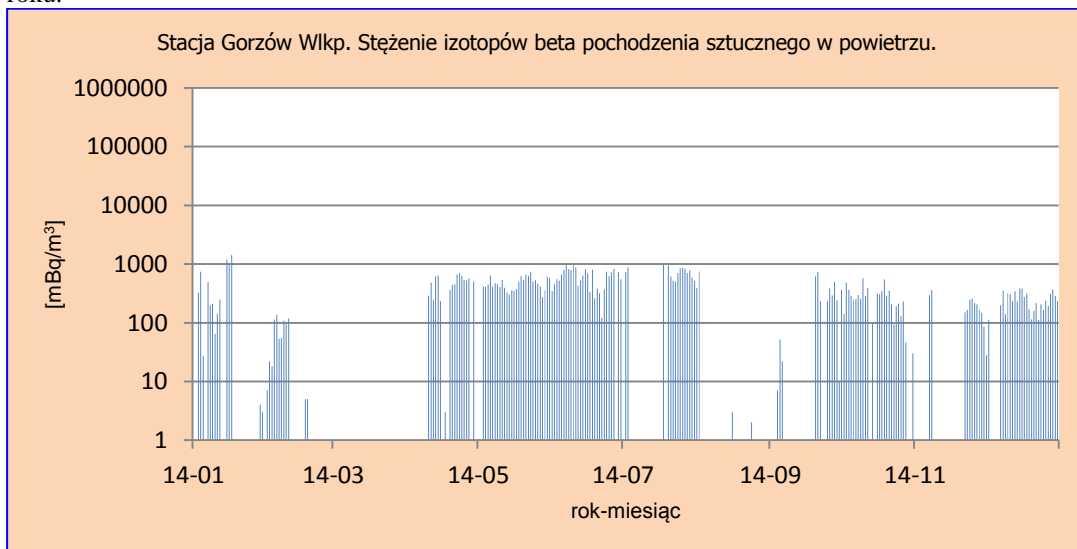
Najwyższe średnie roczne wynoszące 0,264 Bq m<sup>-3</sup> uzyskano na stacjach: Legnica oraz Gorzów Wlkp., w pozostałych przypadkach uzyskane wyniki nie przekraczały 0,19 Bq m<sup>-3</sup>. Dosyć znaczne zróżnicowanie charakteryzowało średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników uzyskanych na 7 stacjach pomiarowych. Najniższe wartości na poziomie 0,029 Bq m<sup>-3</sup> odnotowano w lutym, w kolejnych miesiącach obserwowano wzrost do wartości maksymalnej 0,244 Bq m<sup>-3</sup>, która charakteryzowała poziom radioaktywności związany z obecnością sztucznych emiterów promieniowania beta w czerwcu. Po tym okresie ponownie nastąpił spadek średniego stężenia, co mogłoby sugerować zależność aktywności beta w aerozolu 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 aerozolu w 2014 roku, Bq m<sup>-3</sup>.

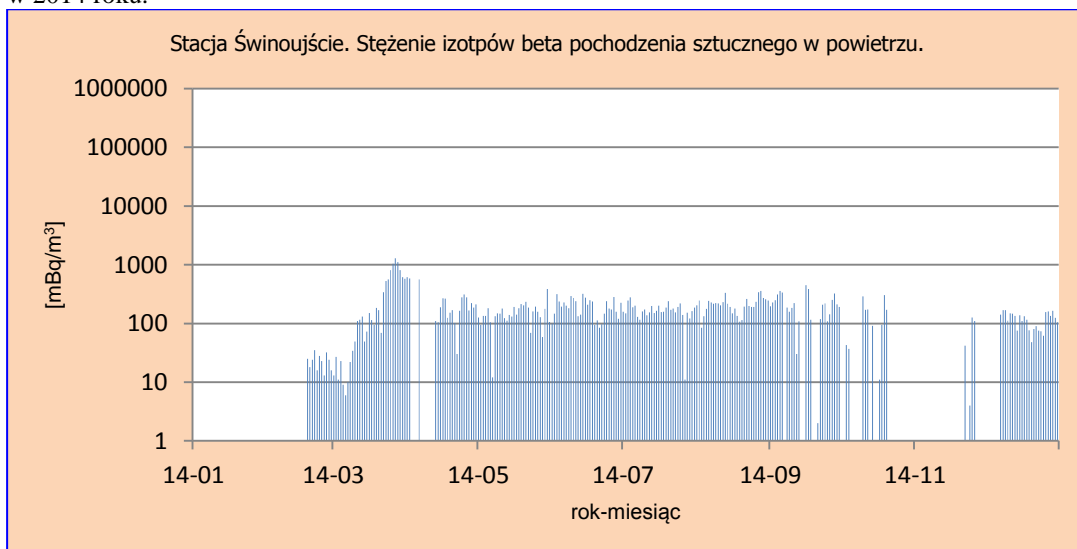
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,202	Brak danych	0,044	0,001	0,068	0,000	0,053
Luty	0,000	0,034	0,023	0,077	0,000	0,065	0,001	0,029
Marzec	0,000	0,000	0,295	0,112	0,006	0,087	0,007	0,072
Kwiecień	0,000	0,395	0,243	0,150	0,000	0,171	0,029	0,141
Maj	0,008	0,473	0,151	0,314	0,001	0,342	0,083	0,196
Czerwiec	0,085	0,609	0,196	0,304	0,011	0,409	0,093	0,244
Lipiec	0,047	0,734	0,169	0,275	0,001	0,317	0,025	0,224
Sierpień	0,023	0,040	0,212	0,436	0,005	0,382	0,148	0,178
Wrzesień	0,016	0,111	0,177	0,348	0,001	0,141	0,144	0,134
Październik	0,038	0,237	0,069	0,140	0,005	0,166	0,141	0,114
Listopad	0,000	0,077	0,020	0,503	0,000	0,072	0,059	0,104
Grudzień	0,000	0,206	0,095	0,451	0,000	0,038	0,135	0,132
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	0,085	0,734	0,295	0,503	0,011	0,409	0,148	
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,000	0,000	0,020	0,044	0,000	0,038	0,000	
<b>Średnia roczna dobowa</b>	0,018	0,246	0,166	0,264	0,002	0,189	0,073	<b>0,137</b>



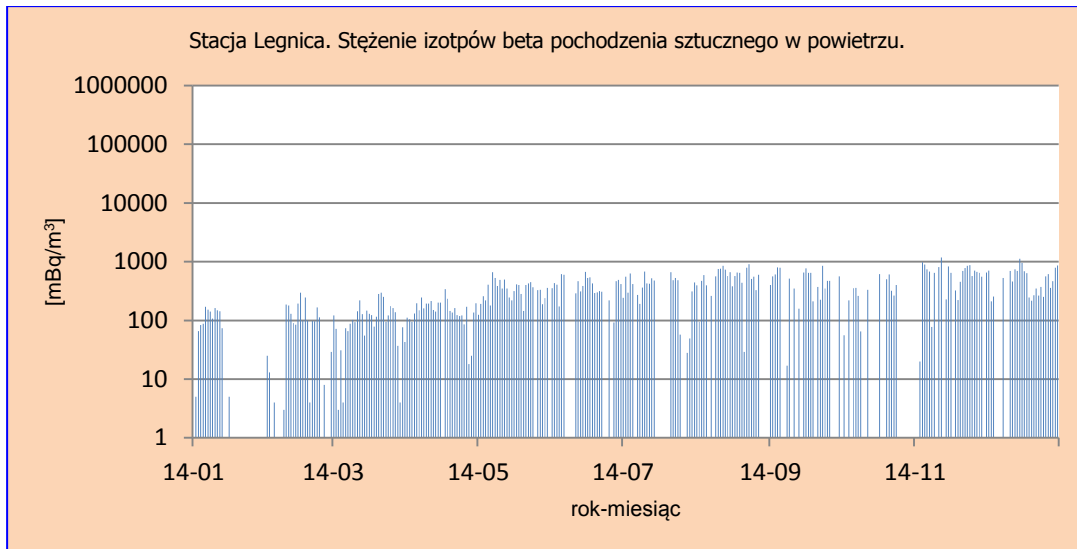
Rys.26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2014 roku.



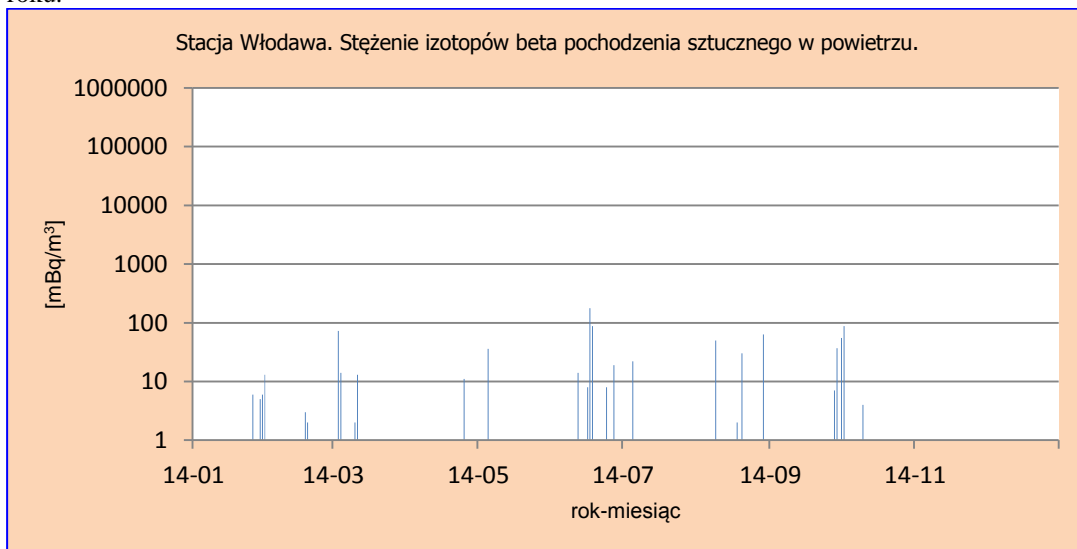
Rys.27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2014 roku.



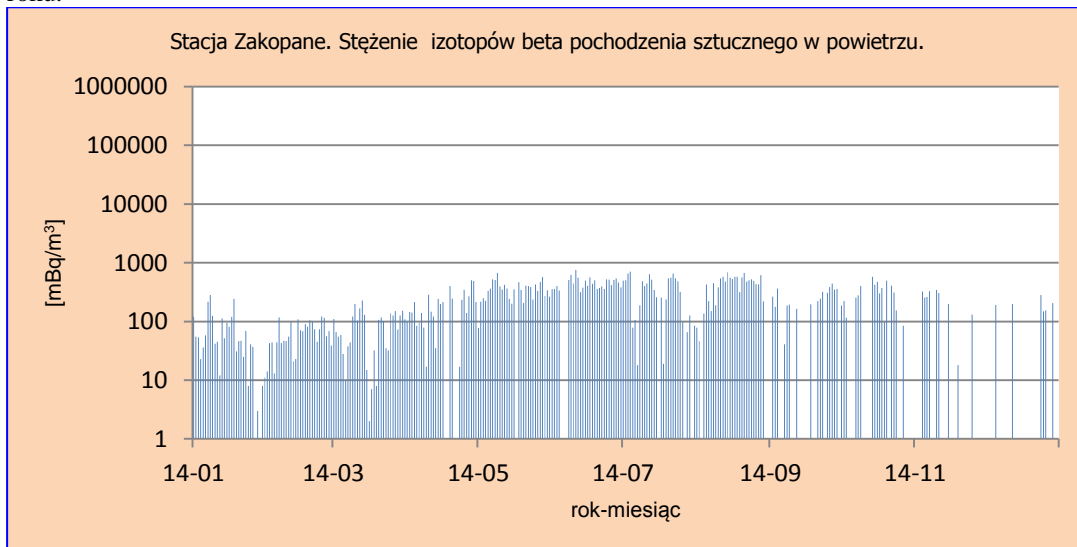
Rys.28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2014 roku.



Rys.29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2014 roku.

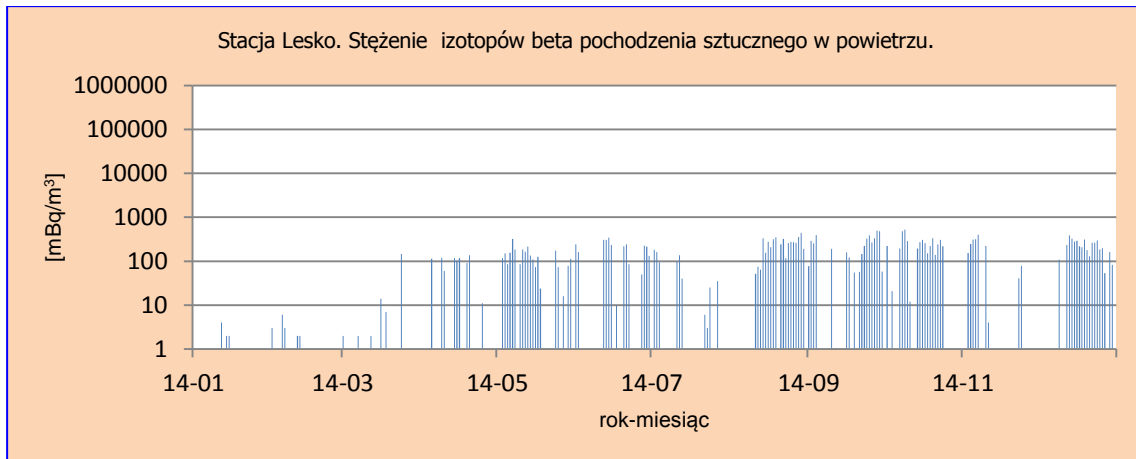


Rys.30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys.31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2014 roku.





Rys.32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2014 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2014 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło  $0,137 \text{ Bq m}^{-3}$  i było o  $0,024 \text{ Bq m}^{-3}$  wyższe niż wartość wyliczona w ubiegłym roku (Tabela 8). Maksymalny wynik uzyskany w 2012 roku ( $0,160 \text{ Bq m}^{-3}$ ) 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 2014 była jedną z najwyższych zarejestrowanych w latach 2000-2014. Najwyższy poziom średniej był zmierzony w roku 2012.

Są to jednak nadal bardzo niskie wartości, szczególnie na tle wartości dobowych oraz z racji tego, że pomiary w powietrzu są powiązane z warunkami meteorologicznymi takimi jak np. wiatr itp., które znacznie zmieniają się w zależności od pory roku jak również położenia geograficznego.

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2014,  $\text{Bq m}^{-3}$

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
<b>2014</b>	<b>0,137</b>
Średnia	0,066
Maksymalna	0,160
Minimalna	0,017

### 3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego

#### 3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego

Całkowitym opadem atmosferycznym (ang. fallout) nazywamy wszystkie cząstki/pyły zanieczyszczeń opadające na powierzchnię ziemi z atmosfery i zawierające izotopy promieniotwórcze. Natomiast globalna aktywność beta opadu całkowitego wynika z obecności w tych cząstkach/pyłach zanieczyszczeń izotopów emitujących promieniowanie beta.

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

W 2014 roku maksymalne wartości dobowe zmieniały się w zakresie od 2,0 Bq m<sup>-2</sup> na stacji Świnoujściu do 7,0 Bq m<sup>-2</sup> - wartości, która charakteryzowała poziom radioaktywności w Warszawie (Tabela 9, Rys 33-41). Otrzymane wyniki nie odbiegają znacznie od wartości uzyskanych w roku poprzednim, gdzie najwyższa maksymalna wartość dobowa odzwierciedlająca poziom radioaktywności w Zakopanem była tylko o 1,0 Bq m<sup>-2</sup> niższa. Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera, a średnia suma dobowa dla całego roku (315,6 Bq m<sup>-2</sup>) była nieznacznie wyższa niż średnia z 2013 (310,2 Bq m<sup>-2</sup>).

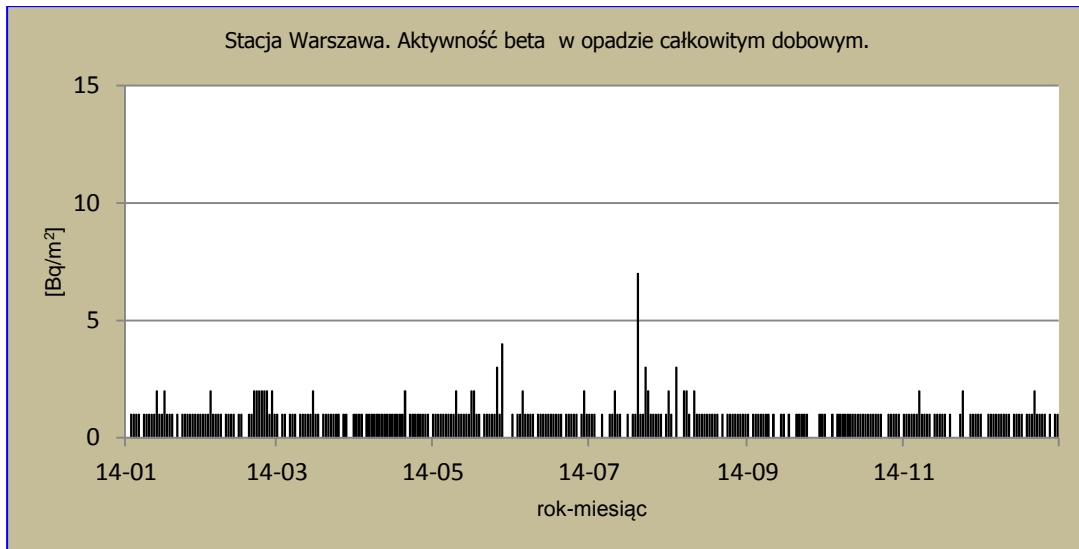
Miesięczne średnie aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w dość wąskim zakresie. Najniższe wartości odnotowano na stacji Świnoujście, gdzie średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta wahały się od 0,2 do 0,5 Bq m<sup>-2</sup>, w przeciwieństwie do Legnicy oraz w następnej kolejności na stacjach w Poznaniu i Zakopanem, gdzie uzyskane aktywności były wyższe i bardziej zróżnicowane.

Porównując średnie wartości roczne wyznaczone na podstawie danych dobowych w 2014 roku można stwierdzić, że najmniejszy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta (0,3 Bq m<sup>-2</sup>) charakteryzował okolice Świnoujścia, co może mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej. Najwyższe średnie roczne aktywności beta (1,1 Bq m<sup>-2</sup>) charakteryzowały stacje w Legnicy i Zakopanem.

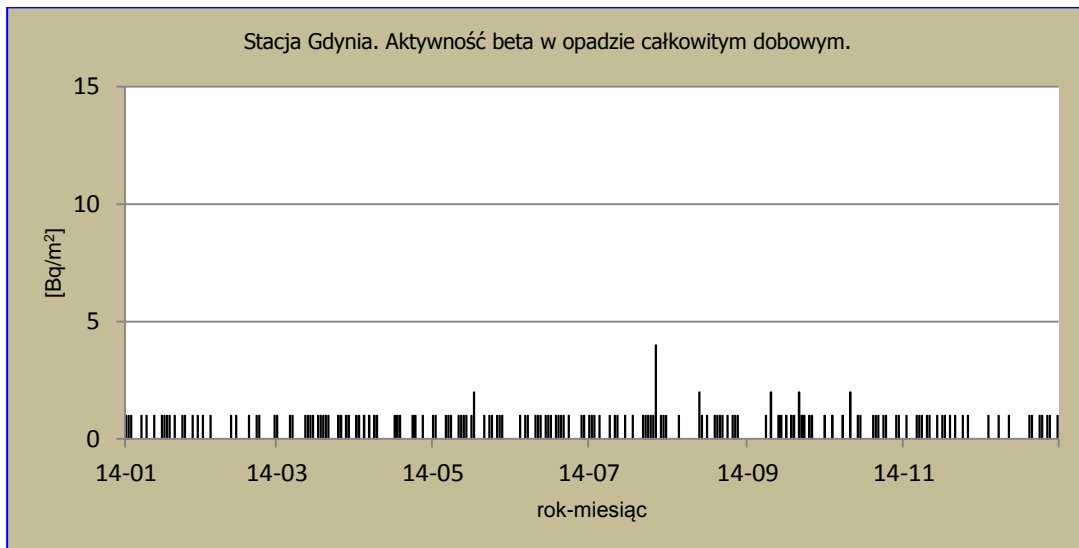
Średnie stężenia promieniotwórcze izotopów beta w poszczególnych miesiącach charakterystyczne dla obszaru całej Polski (wyznaczone z wyników dobowych uzyskanych na wszystkich stacjach) zmieniały się w bardzo wąskim zakresie od 0,7 do 1,1 Bq m<sup>-2</sup>, średnia roczna dla wszystkich stacji w 2014 roku była na poziomie 0,9 Bq m<sup>-2</sup>.

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2014 roku, Bq m<sup>-2</sup>.

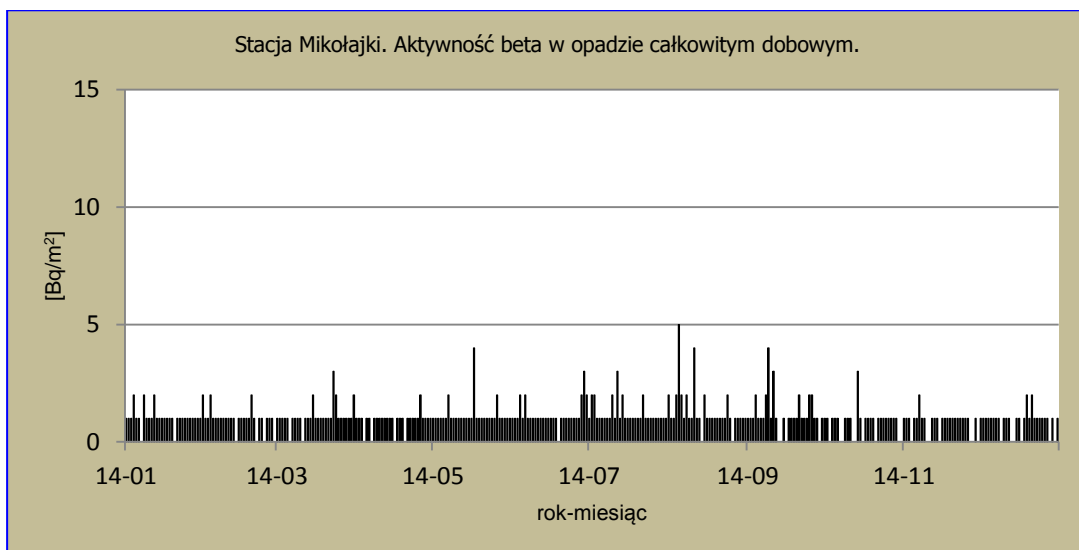
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,9	0,5	1,1	1,5	0,3	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8
Luty	1,1	0,3	0,9	1,1	0,3	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8
Marzec	0,8	0,5	1,1	1,1	0,4	1,3	0,8	1,0	0,8	0,9
Kwiecień	0,9	0,4	0,9	1,2	0,4	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8
Maj	1,1	0,6	1,2	1,0	0,5	1,0	1,3	1,1	1,2	1,0
Czerwiec	0,9	0,5	1,2	0,8	0,2	1,3	1,2	1,2	0,9	0,9
Lipiec	1,1	0,7	1,2	1,1	0,5	1,4	1,2	1,5	1,1	1,1
Sierpień	1,0	0,4	1,4	0,6	0,3	1,0	1,2	1,7	1,1	1,0
Wrzesień	0,6	0,5	1,2	0,8	0,4	1,0	0,6	1,2	1,0	0,8
Październik	0,8	0,5	0,8	0,9	0,3	1,0	0,9	1,0	0,7	0,7
Listopad	0,8	0,4	0,8	1,1	0,3	1,6	0,7	1,0	0,7	0,8
Grudzień	0,8	0,3	0,9	1,1	0,4	0,6	0,9	0,9	0,6	0,7
<b>Maksymalna śred. Mies.</b>	1,1	0,7	1,4	1,5	0,5	1,6	1,3	1,7	1,2	1,1
<b>Minimalna śred. Mies.</b>	0,6	0,3	0,8	0,6	0,2	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7
<b>Maksymalna war. Dob.</b>	7,0	4,0	5,0	5,0	2,0	4,0	6,0	4,0	4,0	4,6
<b>Minimalna war. Dob.</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
<b>Średnia wartość roczna</b>	0,9	0,5	1,0	1,0	0,3	1,1	0,9	1,1	0,9	<b>0,9</b>
<b>Śred. suma rocz. dobowa</b>	<b>315,6</b>									



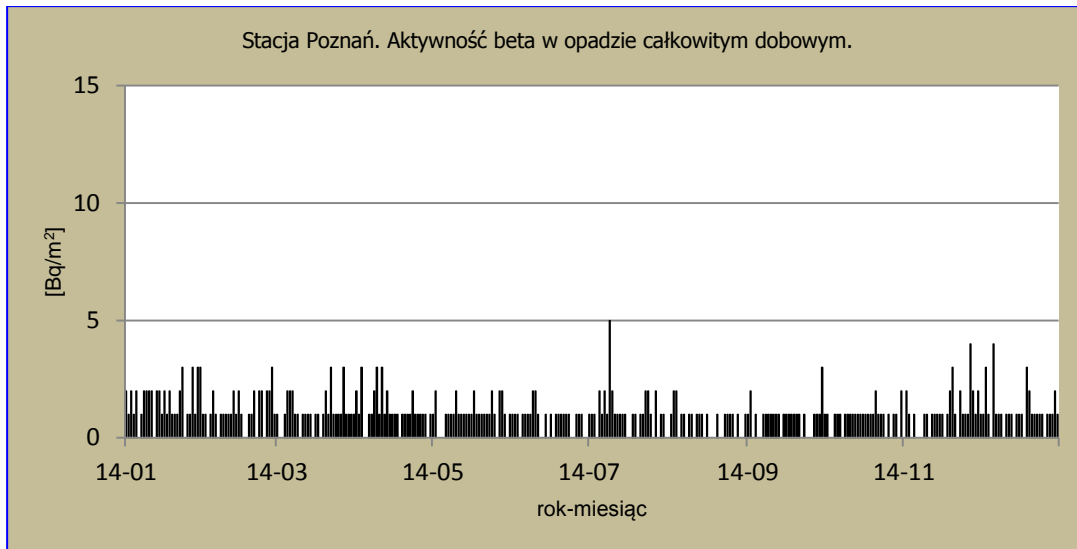
Rys.33. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Warszawa w 2014 roku.



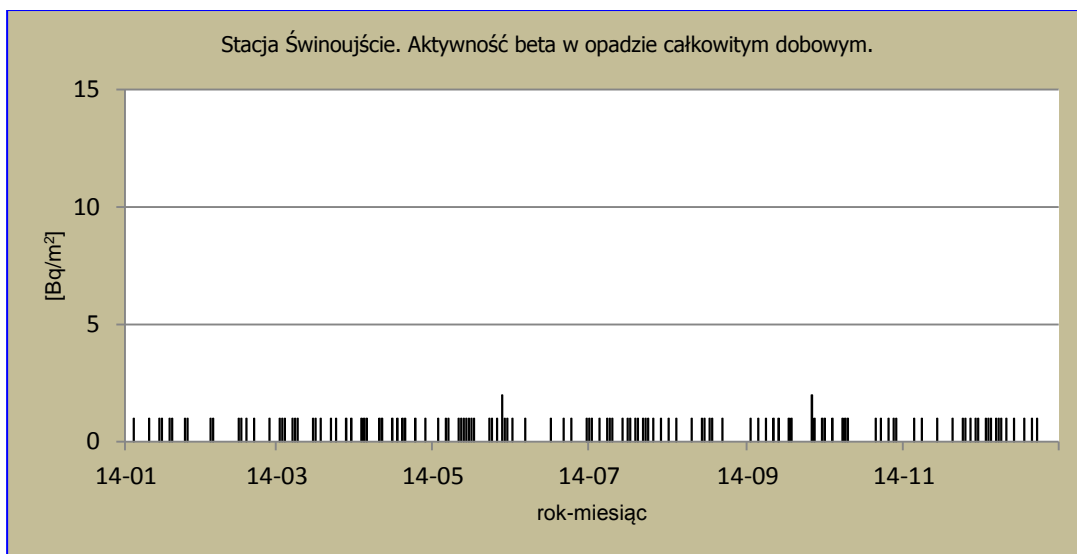
Rys.34. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Gdynia w 2014 roku.



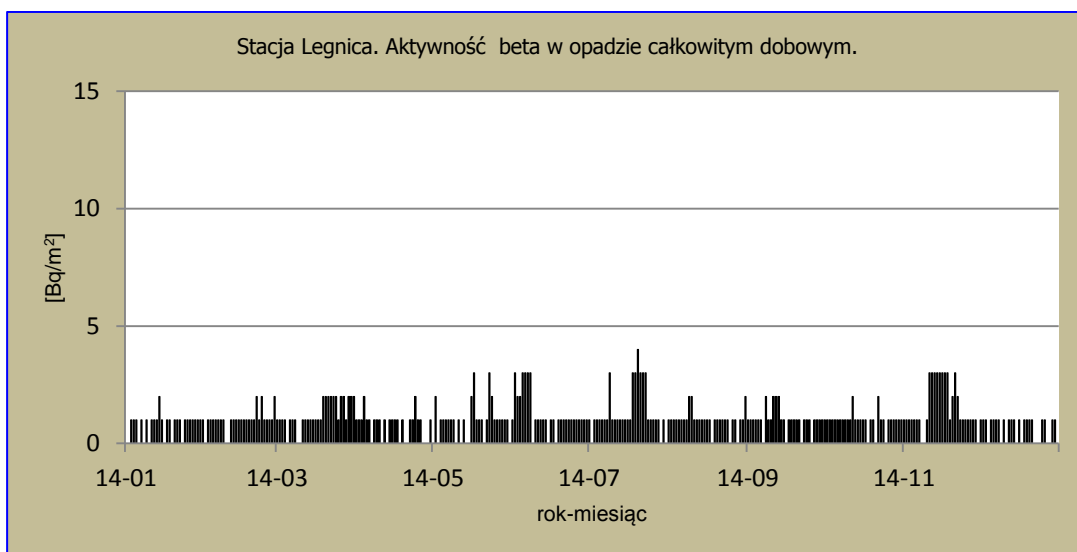
Rys.35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Mikołajki w 2014 roku.



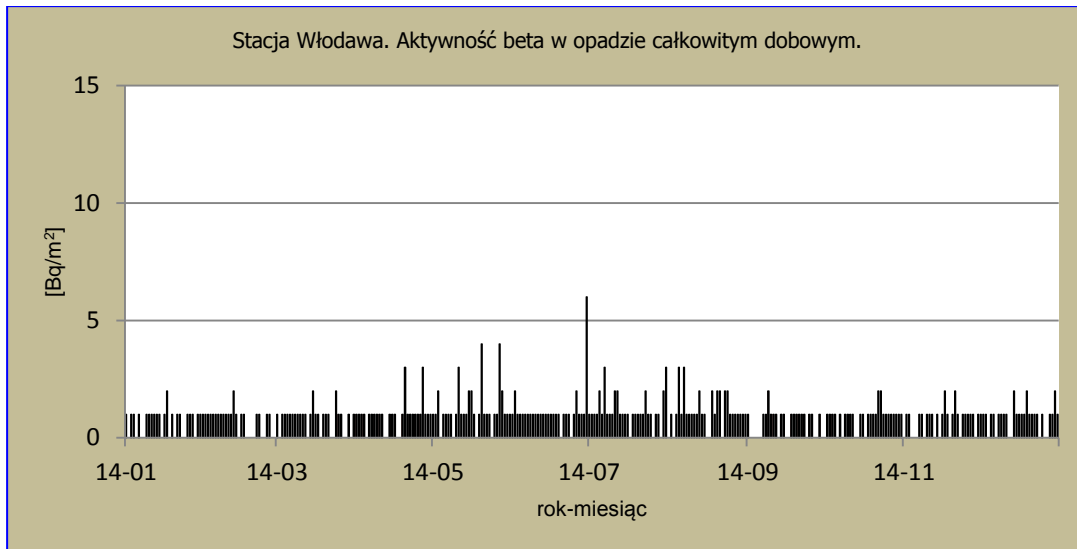
Rys.36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Poznań w 2014 roku.



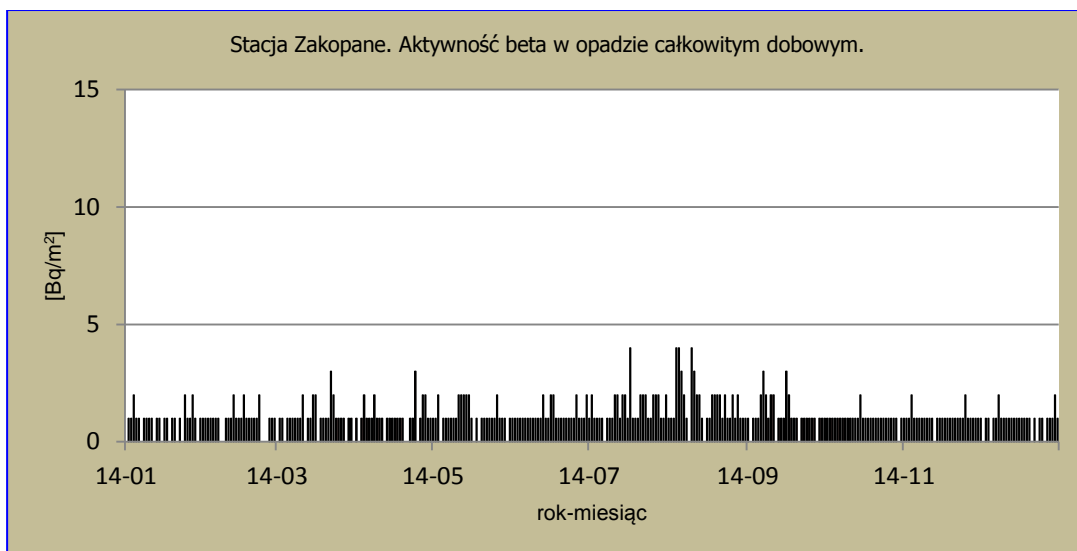
Rys.37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Świnoujście 2014 roku.



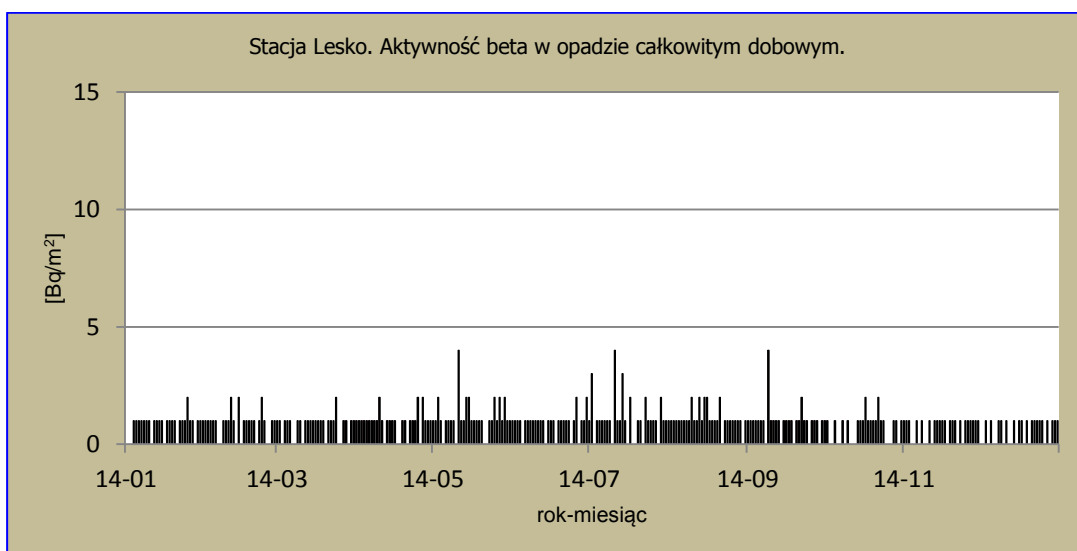
Rys.38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Legnica w 2014 roku.



Rys.39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys.40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Zakopane w 2014 roku.



Rys.41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Lesko w 2014 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Aktywność beta w całkowitym opadzie dobowym dla całego obszaru Polski, opisująca dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta do powierzchni ziemi, obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2014 roku ( $0,32 \text{ kBq m}^{-2}\text{rok}^{-1}$ ) była taka sama jak w latach 2003, 2005 i 2012. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2014 utrzymuje się również na tym samym poziomie (Tabela 10).

Tabela 10. Średnia sumaryczna aktywność beta całkowitego opadu dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2014,  $\text{kBq m}^{-2}\text{rok}^{-1}$

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
<b>2014</b>	<b>0,32</b>
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 2014

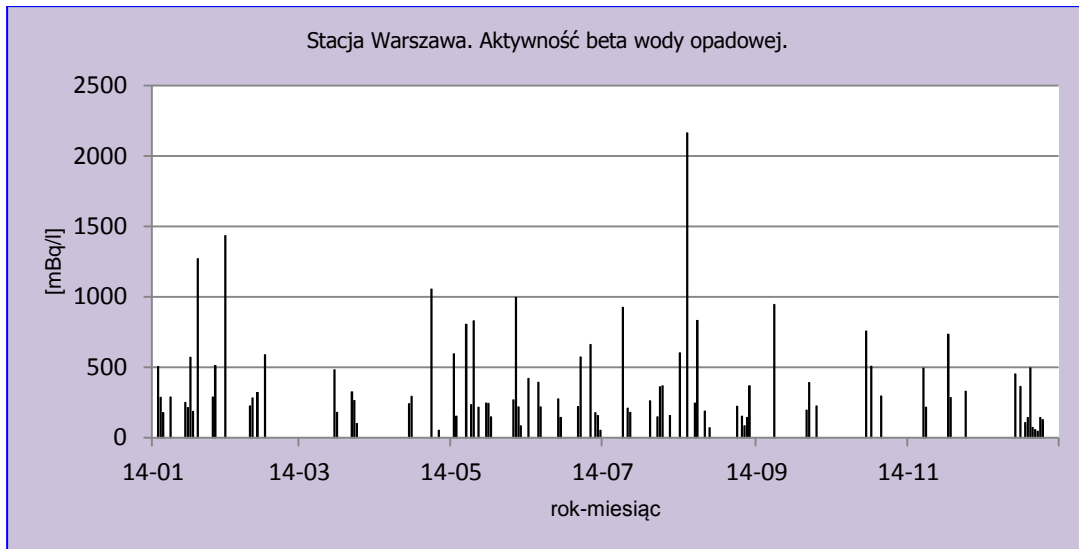
Na dwóch spośród wszystkich stacji pomiarowych, zarejestrowane maksymalne wartości dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej w 2014 roku nie przekraczały 1000 mBq l<sup>-1</sup> odpowiednio w Świnoujściu – 585,0 mBq l<sup>-1</sup> i Gdyni mBq l<sup>-1</sup> – 840,0 (Tabela 11, Rys. 42-50). Najwyższa maksymalna wartość dobową wynosząca 2164,0 mBq l<sup>-1</sup> charakteryzowała okolice Warszawy, dla porównania w ubiegłym roku maksymalną wartość odnotowano na stacji Gorzów Wielkopolski (1991,0 mBq l<sup>-1</sup>). Minimalne dobowe wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od zaledwie 3 mBq l<sup>-1</sup> w Świnoujściu od 75 mBq l<sup>-1</sup> w Mikołajkach. Na tych samych stacjach pomiarowych zarejestrowano skrajne średnie wyznaczone dla poszczególnych miesięcy.

W Legnicy w miesiącu lutym nie wyliczono średniej miesięcznej wartości globalnej aktywności beta wody opadowej, co było spowodowane brakiem opadów w tym miesiącu. Na pozostałych stacjach średnie miesięczne mieściły się w granicy od 56,2 mBq l<sup>-1</sup> w kwietniu na stacji Świnoujście do 658,1 mBq l<sup>-1</sup> w listopadzie na stacji Mikołajki oraz adekwatnie w tych okolicach pojawiają się skrajne średnie wartości roczne w 2014.

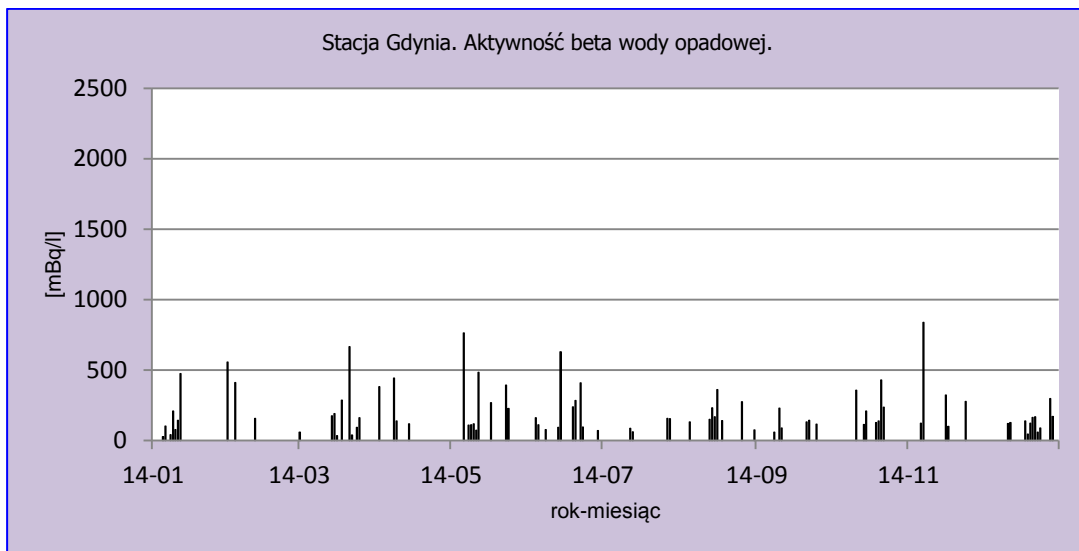
Analizując kolejne wyniki stwierdza się brak znaczących różnic pomiędzy średnimi aktywnościami beta wyznaczonymi dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji. Porównując dane z zeszłego roku, średnia roczna na stacjach pomiarowych w roku 2013 była zaledwie o 4,4 mBq l<sup>-1</sup> wyższa niż tegoroczna.

Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2014 roku, mBq l<sup>-1</sup>.

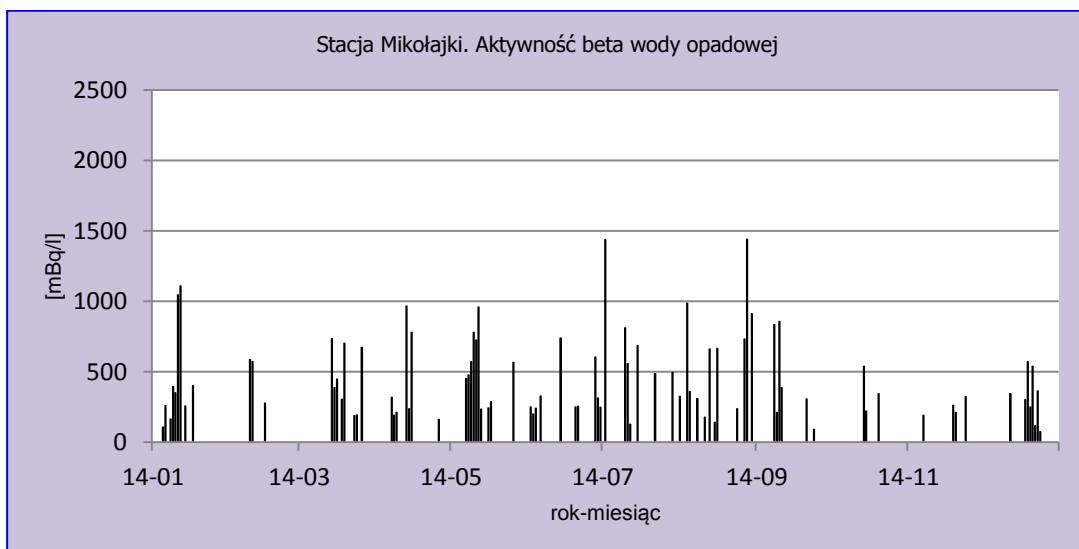
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	499,3	204,4	455,2	428,5	124,7	284,7	254,1	401,1	455,5	345,3
Luty	354,5	285,5	479,7	260,0	176,8		401,0	350,5	486,0	
Marzec	271,2	189,8	454,4	318,5	83,0	503,1	389,3	189,6	300,7	300,0
Kwiecień	411,3	270,8	409,7	155,2	56,2	307,9	358,8	302,6	367,8	293,4
Maj	387,8	283,7	529,9	441,5	238,5	238,7	228,6	230,6	276,5	317,3
Czerwiec	299,9	218,1	343,5	345,0	59,6	378,6	326,9	371,0	484,8	314,2
Lipiec	326,6	115,5	658,1	331,8	141,9	277,6	453,1	269,6	263,7	315,3
Sierpień	462,2	192,4	579,3	257,9	130,6	379,9	287,0	339,4	386,7	335,0
Wrzesień	439,8	128,3	448,0	293,1	170,6	207,3	215,4	272,4	176,2	261,2
Październik	520,3	230,7	368,7	293,2	108,9	232,4	317,7	203,3	149,3	269,4
Listopad	412,0	333,0	247,5	416,5	97,7	499,0	529,8	303,0	398,3	359,6
Grudzień	201,5	137,4	320,5	235,9	130,3	340,7	361,9	376,6	417,7	280,3
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	520,3	333,0	658,1	441,5	238,5	503,1	529,8	401,1	486,0	359,6
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	201,5	115,5	247,5	155,2	56,2		215,4	189,6	149,3	
<b>Maksymalna dobową wartość</b>	2164,0	840,0	1442,0	1111,0	585,0	1412,0	1361,0	1180,0	1777,0	1319,1
<b>Minimalna dobową wartość</b>	46	27	75	39	3	43	7	16	30	31,8
<b>Średnia roczna</b>	376,0	208,3	456,1	323,9	136,4	317,9	325,6	299,7	351,4	<b>310,6</b>



Rys.42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2014 roku.

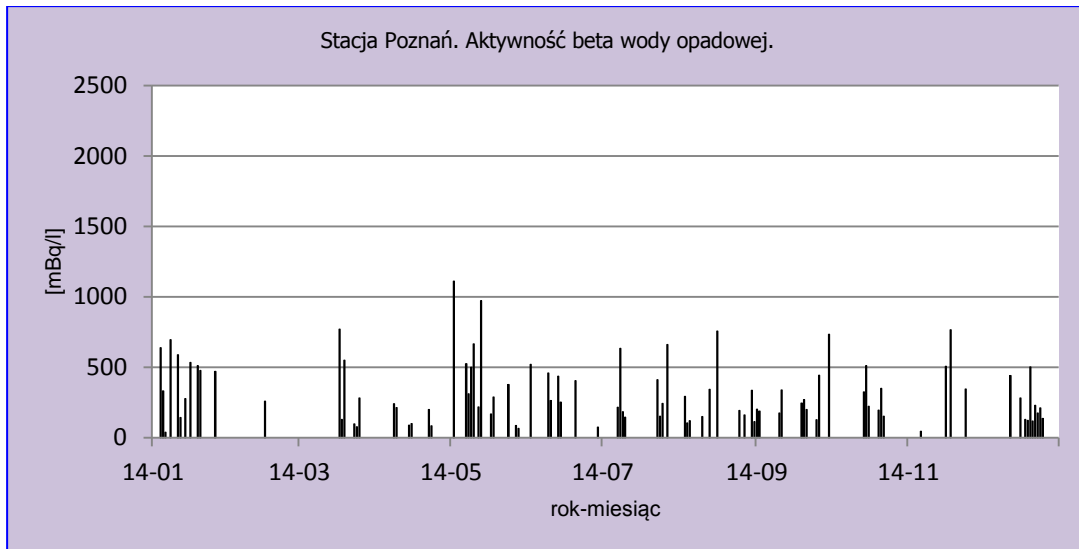


Rys.43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2014 roku.

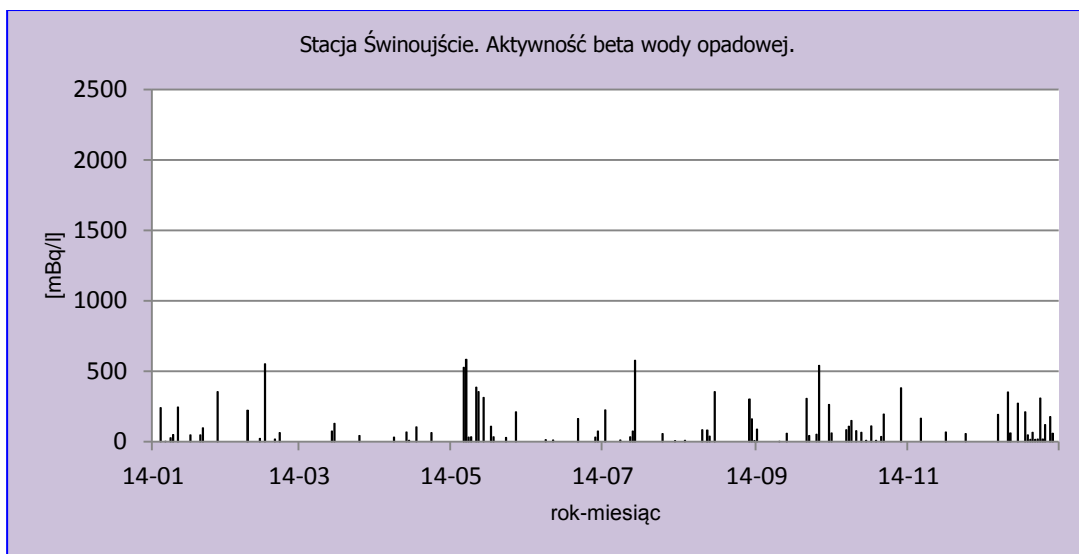


Rys.44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2014 roku.

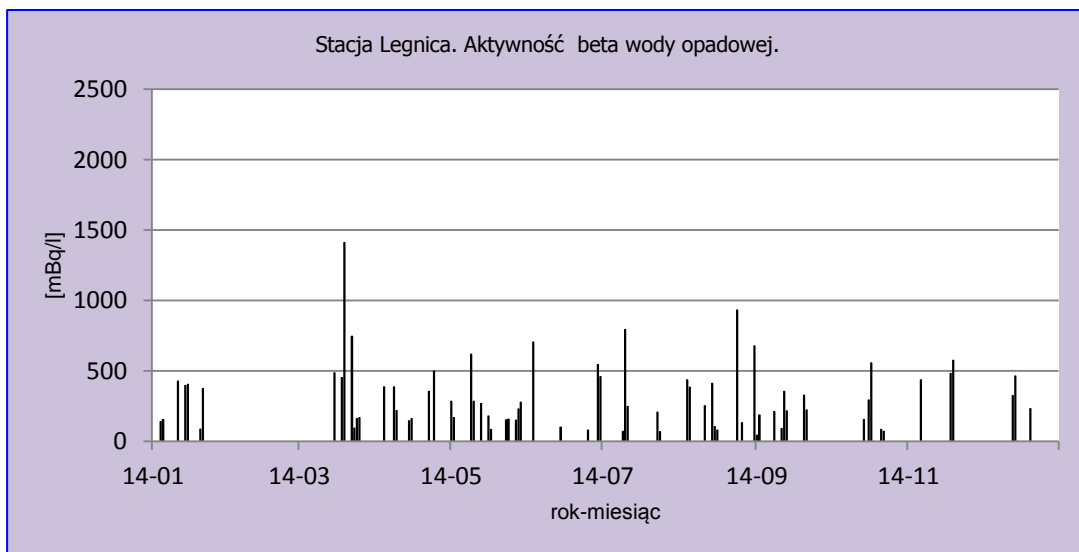




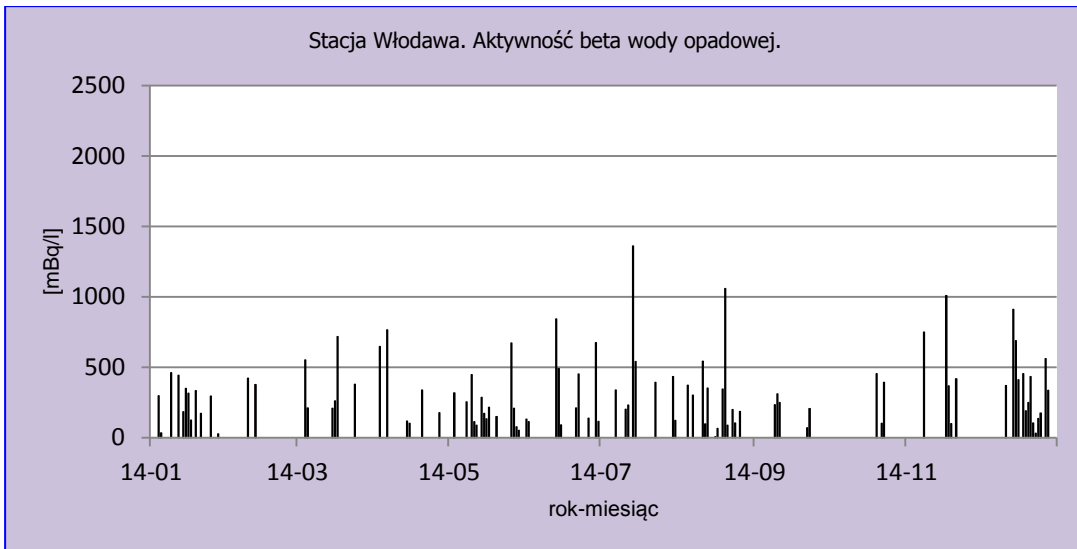
Rys.45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2014 roku.



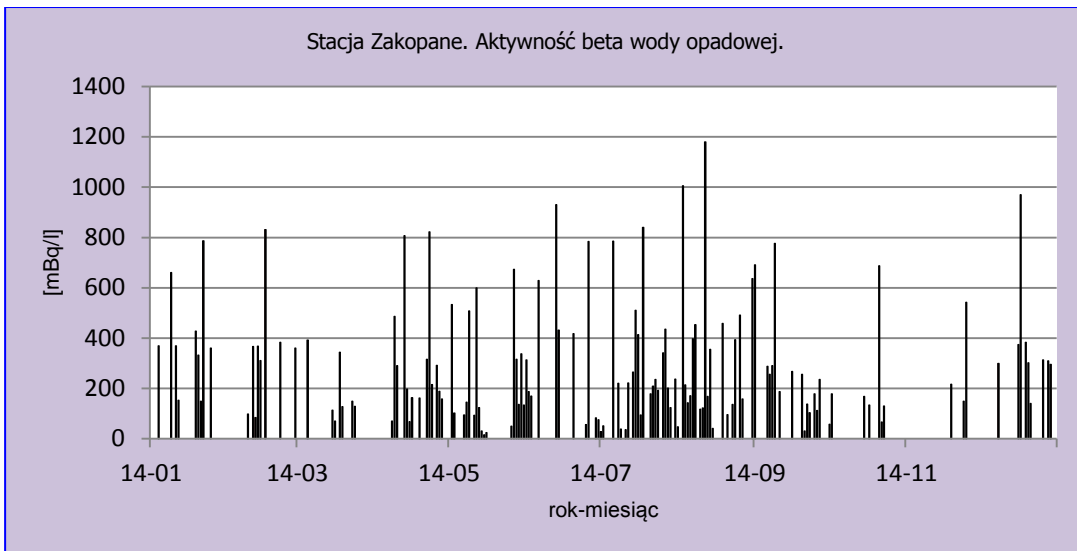
Rys.46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2014 roku.



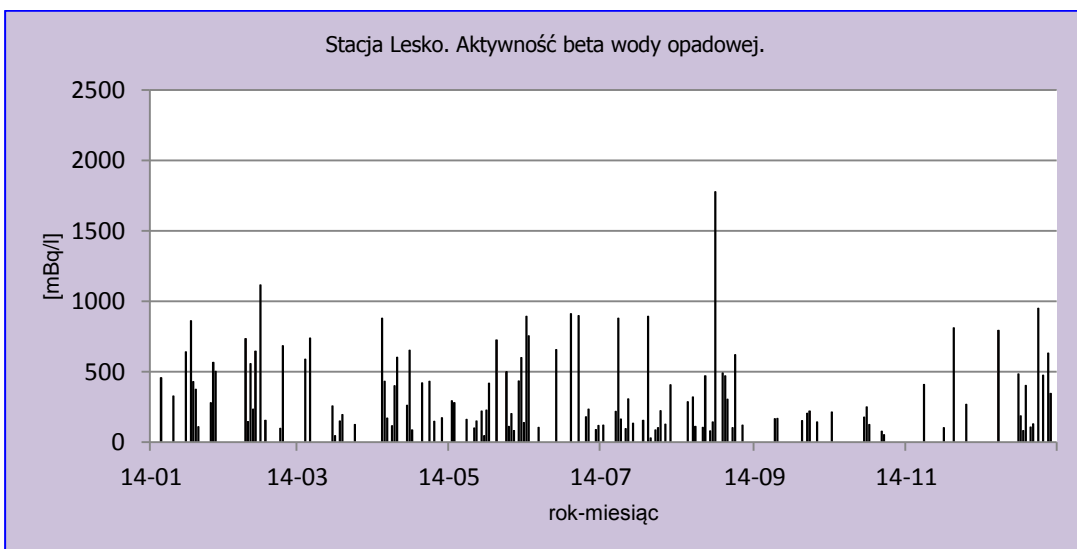
Rys.47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2014 roku.



Rys.48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys.49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2014 roku.



Rys.50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2014 roku.

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej charakterystyczna dla 2014 roku ( $311 \text{ mBq l}^{-1}$ ) jest najniższą wartością obserwowaną w latach 2000-2014 (Tabela 12). Maksymalny wynik otrzymany w badanym okresie przypada na rok 2003 i wynosi  $376 \text{ mBq l}^{-1}$ , natomiast wartość średnia uzyskana ze wszystkich lat jest równa  $346 \text{ mBq l}^{-1}$ .

Tabela 12. Średnie aktywności beta wody opadowej w latach 2000 – 2014,  $\text{mBq l}^{-1}$ .

Rok	Aktywność beta ( $\text{mBq/l}$ )
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
<b>2014</b>	<b>311</b>
Średnia	346
Minimalna	311
Maksymalna	376

### 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego

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

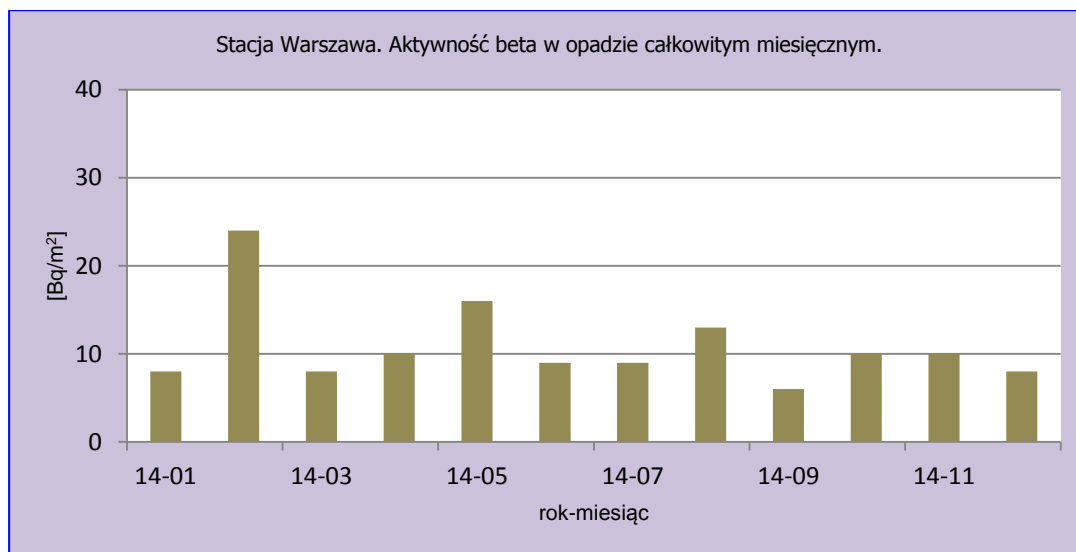
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

Średnia roczna aktywność promieniowania beta w próbkach opadu całkowitego w Polsce, w 2014 roku wynosiła  $8,0 \text{ Bq m}^{-2}$ . Zarówno najniższa, jak i najwyższa aktywność promieniowania beta w opadzie miesięcznym zostały odnotowane w lutym, przy czym wartość  $24 \text{ Bq m}^{-2}$  charakteryzowała próbkę zebraną w Warszawie, natomiast najmniejsza wartość  $1 \text{ Bq m}^{-2}$  wystąpiła w Świnoujściu (Tab. 13). Najniższe średnie aktywności promieniowania beta w opadzie całkowitym odnotowano na stacjach zlokalizowanych w strefie brzegowej: w Świnoujściu ( $5,3 \text{ Bq m}^{-2}$ ) i Gdyni ( $5,9$ ) i były one odpowiednio 33% i 26% niższe od średniej dla obszaru całej Polski (Rys. 51-59). Na pozostałych stacjach średnia aktywność promieniowania beta zmieniała się w stosunkowo wąskim zakresie od  $6,1 \text{ Bq m}^{-2}$  na stacji

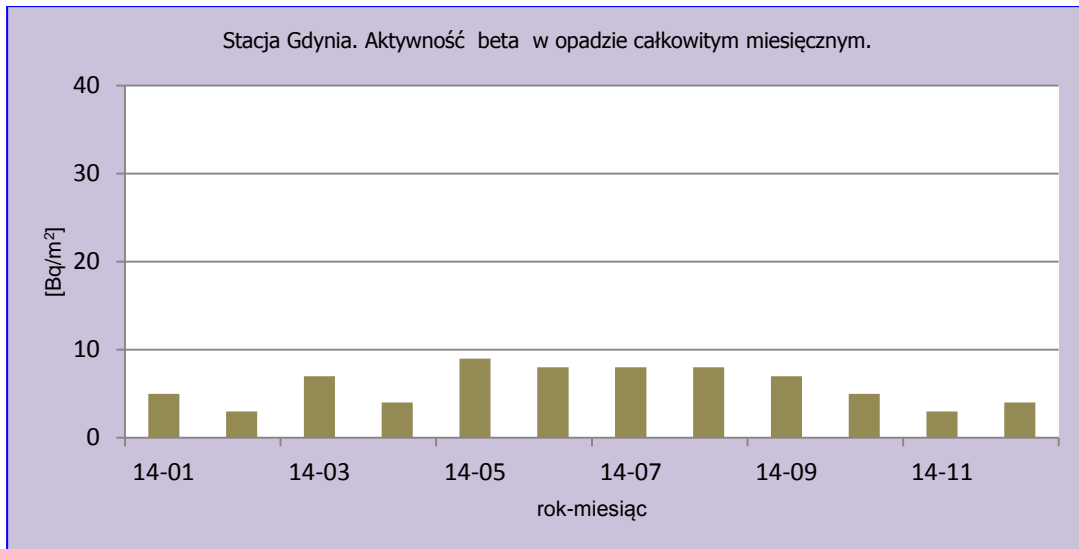
Legnica do 10,9 Bq m<sup>-2</sup> w Warszawie. Za wysoką średnioroczną aktywność promieniowania beta w opadzie atmosferycznym w Warszawie odpowiada bardzo wysoka aktywność w lutym (24 Bq m<sup>-2</sup>), w pozostałych miesiącach aktywność wahała się w przedziale od 6 Bq m<sup>-2</sup> do 16 Bq m<sup>-2</sup> i nie odbiegała od wartości notowanych dla pozostałych stacji. Podobna sytuacja miała miejsce w poprzednim roku gdzie najwyższa aktywność promieniowania beta była odnotowana w Warszawie w kwietniu (24 Bq m<sup>-2</sup>).

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2014, w Bq m<sup>-2</sup>.

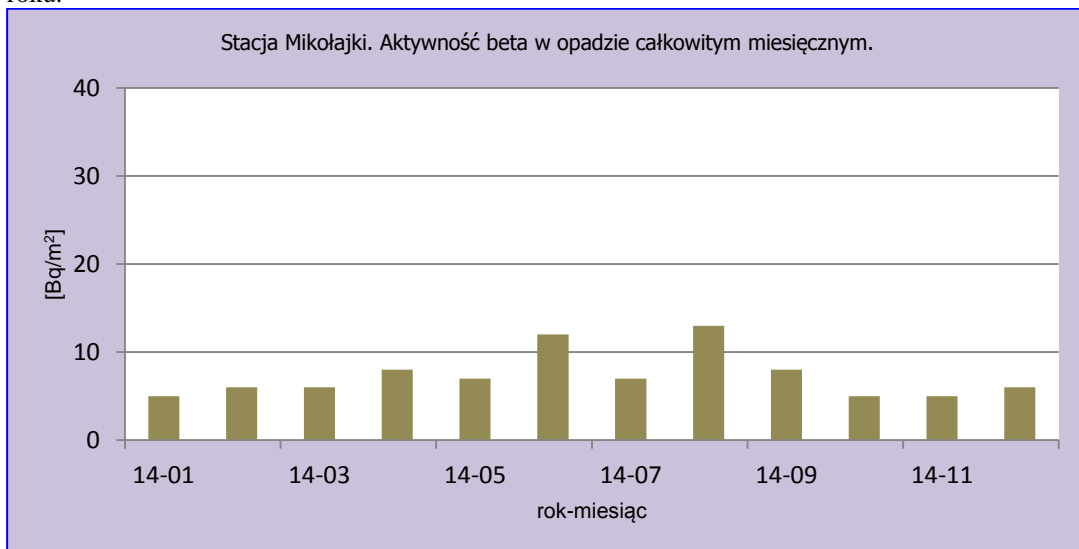
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	8	5	5	6	2	7	7	4	6
Luty	24	3	6	4	1	3	4	9	7
Marzec	8	7	6	7	4	5	6	6	8
Kwiecień	10	4	8	9	3	6	10	10	9
Maj	16	9	7	12	8	9	20	15	14
Czerwiec	9	8	12	7	6	6	10	8	8
Lipiec	9	8	7	17	7	10	12	17	11
Sierpień	13	8	13	11	6	6	13	15	12
Wrzesień	6	7	8	8	7	9	7	12	8
Październik	10	5	5	10	11	4	5	11	5
Listopad	10	3	5	10	7	5	6	7	6
Grudzień	8	4	6	4	2	3	5	8	7
Średnia	10,9	5,9	7,3	8,8	5,3	6,1	8,8	10,2	8,4
Maksymalna	24,0	9,0	13,0	17,0	11,0	10,0	20,0	17,0	14,0
Minimalna	6,0	3,0	5,0	4,0	1,0	3,0	4,0	4,0	5,0
Średnia roczna	<b>8,0</b>								
Maks. Roczna	<b>24</b>								
Min. Roczna	<b>1</b>								



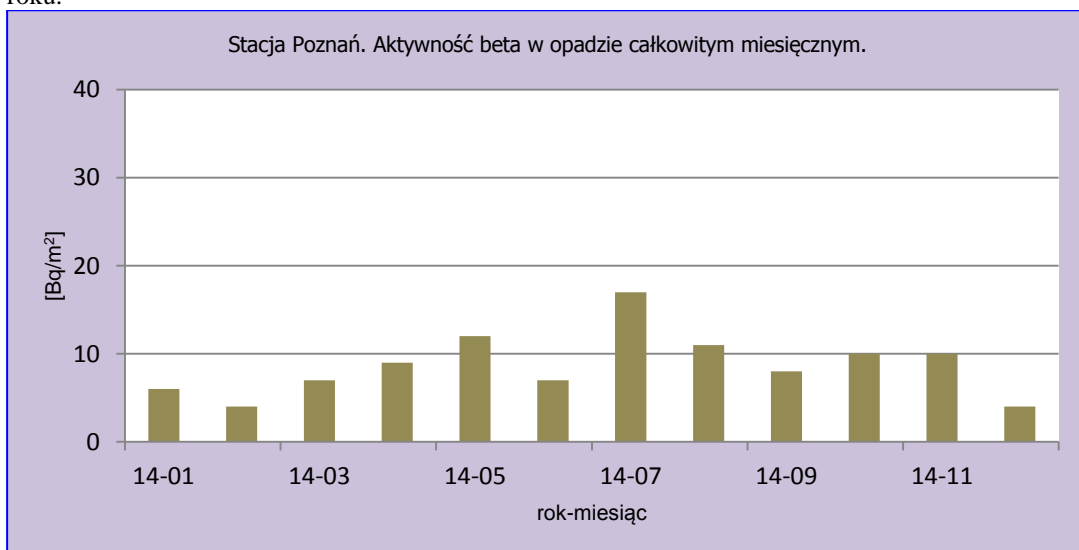
Rys.51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2014 roku.



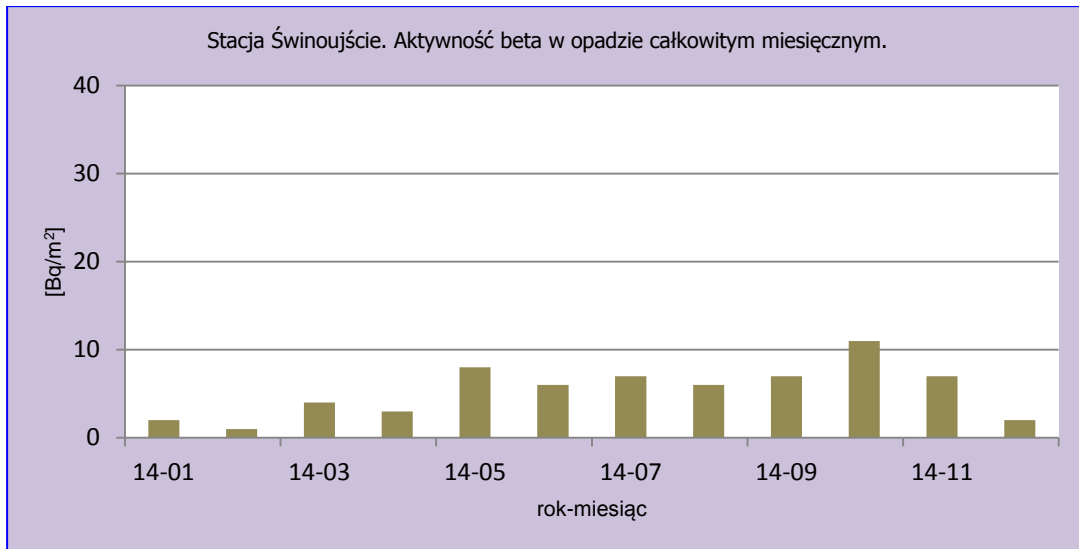
Rys.52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2014 roku.



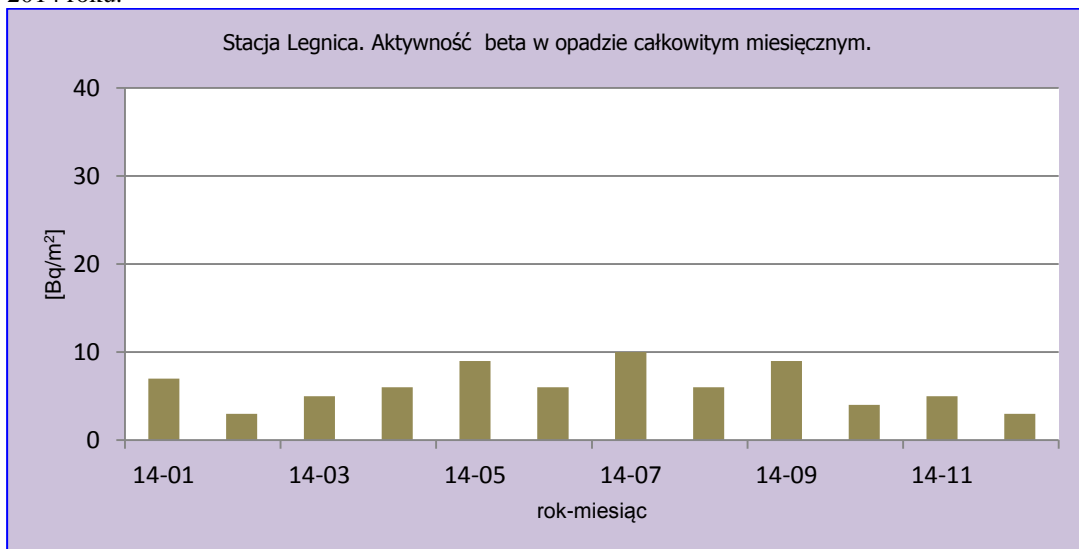
Rys.53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2014 roku.



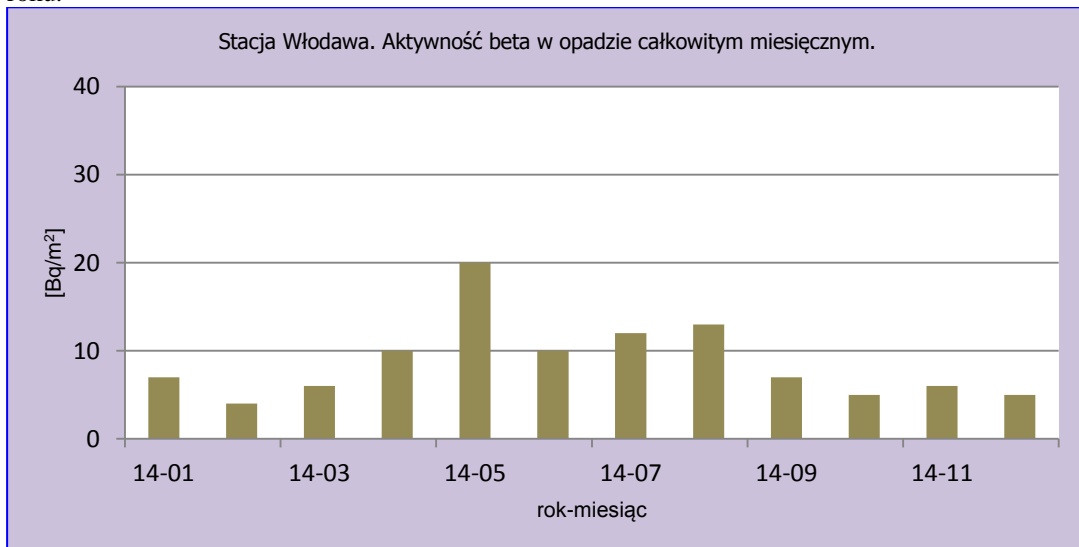
Rys.54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2014 roku.



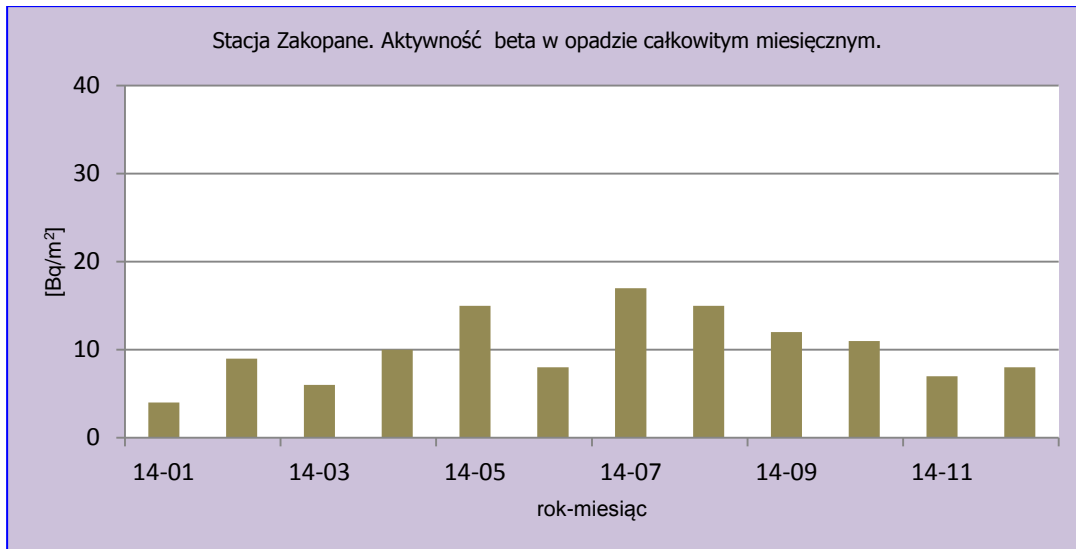
Rys.55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2014 roku.



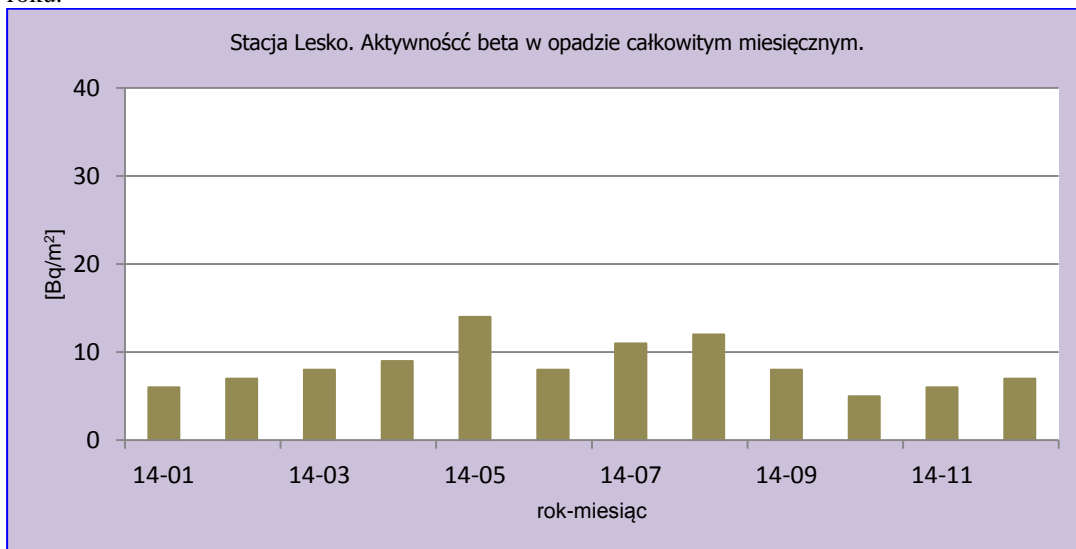
Rys.56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2014 roku.



Rys.57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2014 roku.



Rys.58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2014 roku.



Rys.59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2014 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w roku 2014 wynosiła  $8 \text{ Bq m}^{-2}$  i była jedną z najwyższych średniorocznych aktywności, wyższe lub takie same aktywności odnotowano w 2010 ( $8,2 \text{ Bq m}^{-2}$ ) oraz 2011 ( $8,0 \text{ Bq m}^{-2}$ ). W porównaniu do średniej aktywności całkowitego opadu atmosferycznego w latach 2000-2014 aktywność w roku 2014 była około 15% wyższa (Tab. 14).

Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2014, Bq m<sup>-2</sup>.

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
2000	6,1
2001	7,1
2002	6,7
2003	6,6
2004	6,4
2005	6,0
2006	6,2
2007	6,5
2008	6,4
2009	7,8
2010	8,2
2011	8,0
2012	7,3
2013	7,3
<b>2014</b>	<b>8,0</b>
Średnia	7,0
Minimalna	6,0
Maksymalna	8,2

### 3.4 Stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs i <sup>134</sup>Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

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

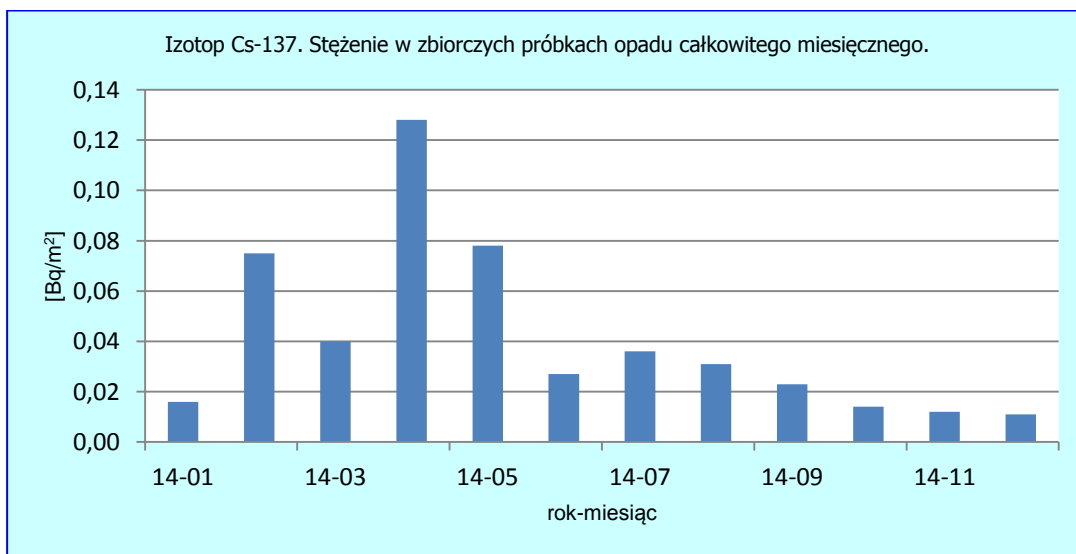
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

Średnie stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs w opadzie atmosferycznym wynosiło w 2014 roku 0,041 Bq m<sup>-2</sup>. Stężenia <sup>134</sup>Cs pozostawały poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe stężenia <sup>137</sup>Cs notowane były w okresie październik-grudzień (0,0011 Bq m<sup>-2</sup> - 0,014 Bq m<sup>-2</sup>), najwyższe zaś w okresie luty- maj (0,040 Bq m<sup>-2</sup> - 0,128 Bq m<sup>-2</sup>) (Tab. 15, Rys. 60).



Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2014 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$
Miesiąc	Cs-137	Cs-134
Styczeń	$0,016 \pm 0,003$	$< 0,003$
Luty	$0,075 \pm 0,007$	$< 0,005$
Marzec	$0,040 \pm 0,005$	$< 0,004$
Kwiecień	$0,128 \pm 0,008$	$< 0,004$
Maj	$0,078 \pm 0,006$	$< 0,004$
Czerwiec	$0,027 \pm 0,004$	$< 0,003$
Lipiec	$0,036 \pm 0,005$	$< 0,003$
Sierpień	$0,031 \pm 0,005$	$< 0,003$
Wrzesień	$0,023 \pm 0,002$	$< 0,004$
Październik	$0,014 \pm 0,002$	$< 0,004$
Listopad	$0,012 \pm 0,002$	$< 0,003$
Grudzień	$0,011 \pm 0,002$	$< 0,003$
<b>Suma roczna</b>	<b>0,491</b>	-
Średnia	0,041	-
Maksymalna	0,128	-
Minimalna	0,011	-

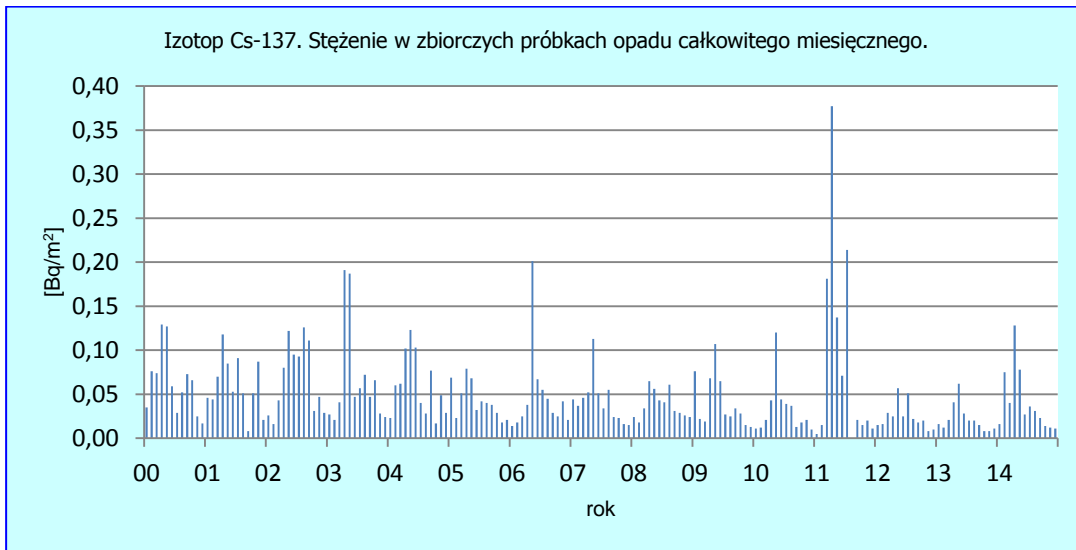


Rys.60. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w roku 2014.

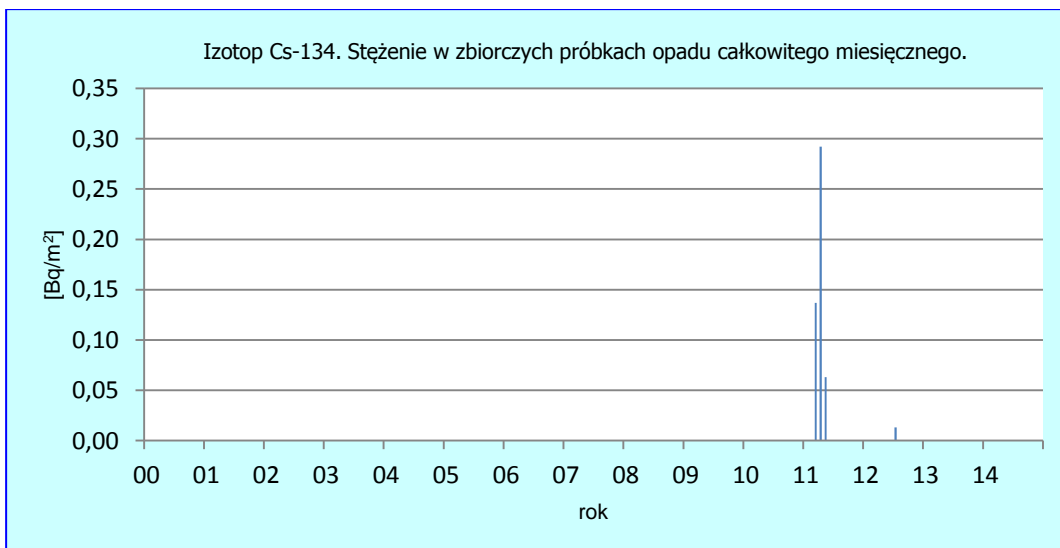
### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

$^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się stosunkowo niską prędkością suchej depozycji dlatego ładunek tego izotopu wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wypłukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym najwyższe ładunki izotopu  $^{137}\text{Cs}$  notowane są w okresie wiosenno-letnim kiedy obserwuje się wysokie miesięczne sumy opadów (Rys. 61). W przypadku izotopu  $^{134}\text{Cs}$  na tle lat 2000-2014 ładunek tego pierwiastka rejestrowany był w okresie marzec-maj 2011, kiedy nad Polskę dotarły skażone masy powietrza po awarii

elektrowni atomowej Fukushima Daichii, podczas gdy w pozostałym okresie pomiarowym jego aktywność pozostawała poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej (Rys.62).



Rys.61. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2014.

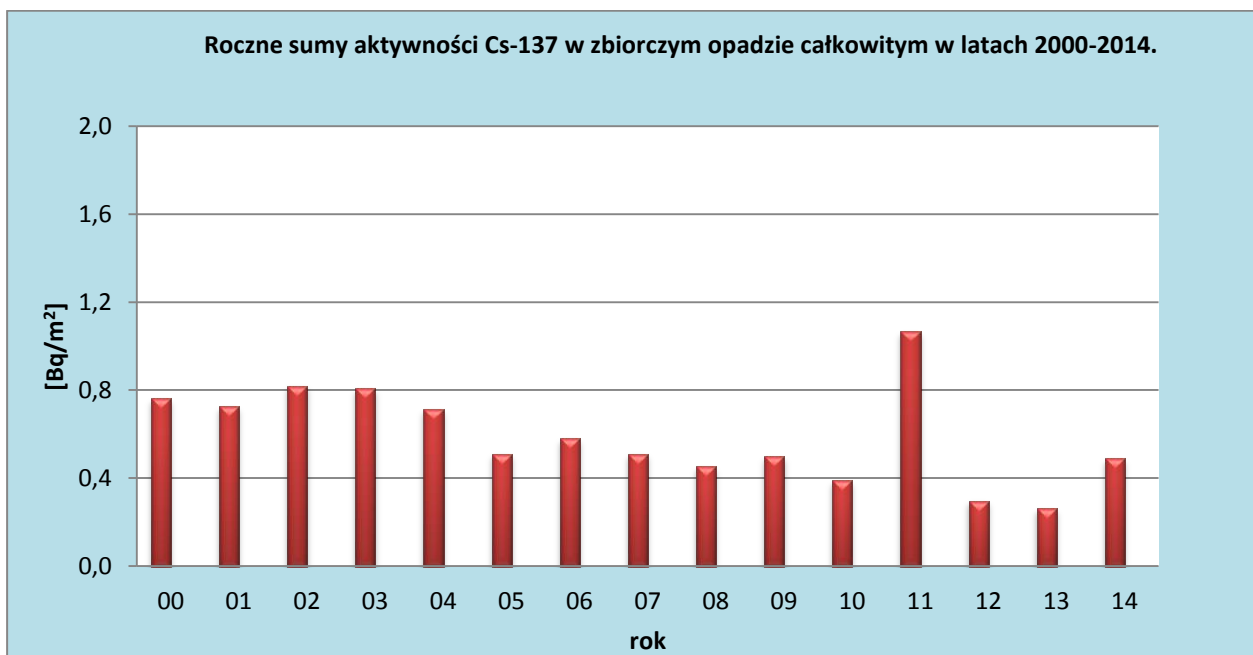


Rys.62. Stężenie promieniotwórcze  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2014.

Roczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  wraz z całkowitym opadem atmosferycznym w roku 2014 wynosił  $0,491 \text{ Bq m}^{-2}$  i był prawie dwukrotnie wyższy od obserwowanego w latach 2012 i 2013. (Tab. 16, Rys. 63). Miało to związek ze zdecydowanie wyższymi stężeniami obserwowanymi w miesiącach od lutego do maja 2014 roku w porównaniu do dwóch lat poprzednich lat (Rys. 61).

Tabela 16. Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2014,  $\text{Bq m}^2$ .

Rok	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$
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	0,492
2012	0,296	
2013	0,262	
<b>2014</b>	<b>0,491</b>	
Średnia	0,592	0,492
Minimalna	0,262	0,492
Maksymalna	1,067	0,492



Rys.63. Roczne sumy dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2014.

### 3.5 Stężenie promieniotwórcze $^{90}\text{Sr}$ w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

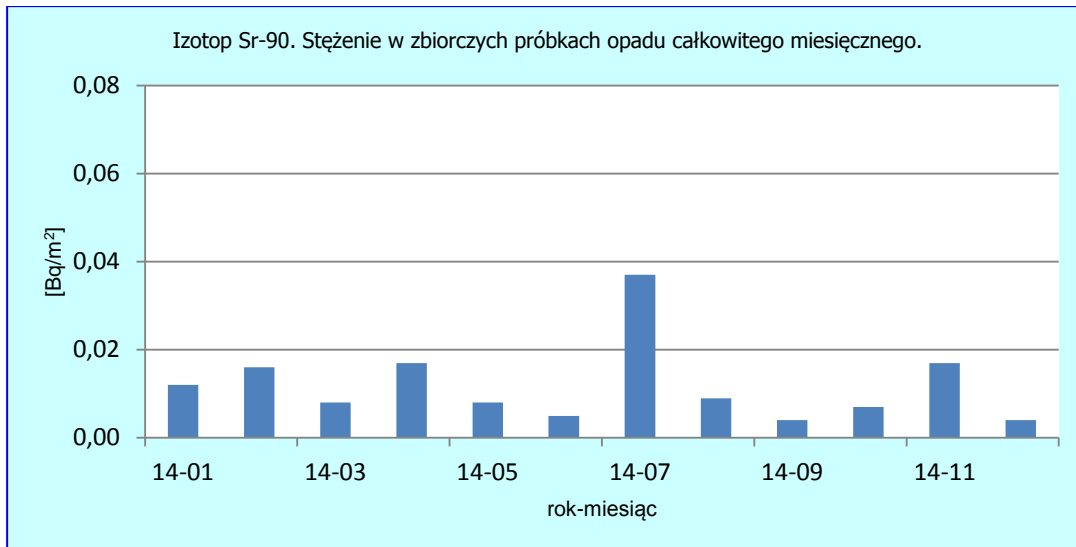
W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  przeprowadzono w 2014 roku pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu –  $^{90}\text{Sr}$ , który podobnie jak  $^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się stosunkowo długim okresem połowicznego rozpadu (28 lat).

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

Najniższe stężenia  $^{90}\text{Sr}$  na poziomie  $0,004 \text{ Bq m}^{-2}$  w 2014 roku wystąpiły w miesiącach wrzesień oraz grudzień (Tab. 17, Rys. 64). Najwyższą wartość przekraczającą ponad dwukrotnie średnią z całego roku uzyskano w lipcu ( $0,037 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Pozostałe stężenia promieniotwórcze w kolejnych miesiącach mieściły się w przedziale od  $0,005 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $0,017 \text{ Bq m}^{-2}$ . Średnia otrzymana ze wszystkich miesięcy była tylko o  $0,004 \text{ Bq m}^{-2}$  niższa od średniej w roku poprzednim, podobnie jak w przypadku rocznej sumy obliczonej z wartości miesięcznych wynoszącej  $0,144 \text{ Bq m}^{-2}$ , która w stosunku do roku 2013 była niższa o  $0,051 \text{ Bq m}^{-2}$ .

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2014 r,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

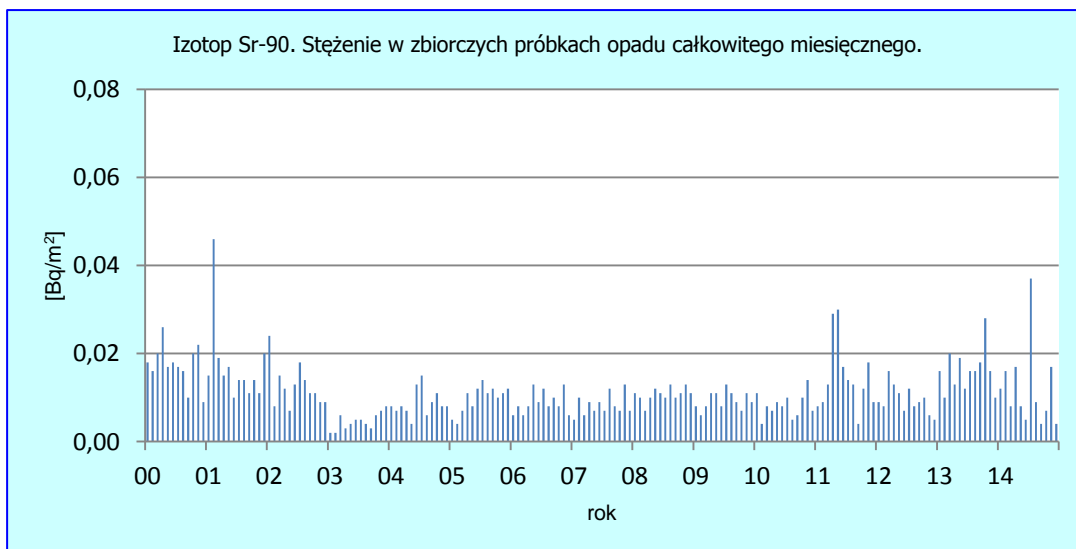
	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$
Miesiąc	Sr-90
Styczeń	$0,012 \pm 0,001$
Luty	$0,016 \pm 0,001$
Marzec	$0,008 \pm 0,001$
Kwiecień	$0,017 \pm 0,001$
Maj	$0,008 \pm 0,001$
Czerwiec	$0,005 \pm 0,001$
Lipiec	$0,037 \pm 0,001$
Sierpień	$0,009 \pm 0,001$
Wrzesień	$0,004 \pm 0,001$
Październik	$0,007 \pm 0,001$
Listopad	$0,017 \pm 0,001$
Grudzień	$0,004 \pm 0,001$
<b>Suma roczna</b>	<b>0,144</b>
Średnia	0,012
Maksymalna	0,037
Minimalna	0,004



Rys.64. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2014 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

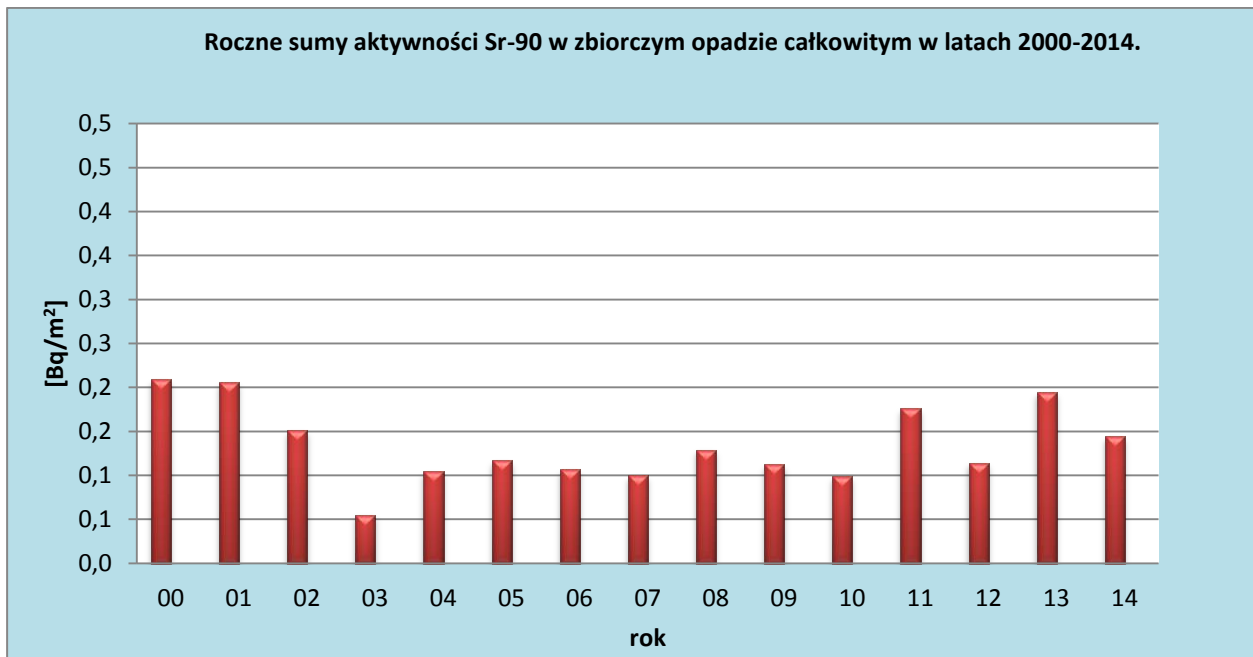
Z porównania wyników analiz stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego uzyskanych w latach 2000-2014 (Rys. 65) wynika, że największe średnie aktywności  $^{90}\text{Sr}$  obserwowano w latach 2000, 2001 - odpowiednio  $0,209 \text{ Bq m}^{-2}$  i  $0,206 \text{ Bq m}^{-2}$ . Stosunkowo wysoką wartość zarejestrowano w 2011 roku w wyniku dopływu związanego z awarią w Fukushima co znalazło swoje odzwierciedlenie w sumarycznym rocznym dopływie wynoszącym  $0,176 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 18, Rys. 66). Sumaryczny dopływ  $^{90}\text{Sr}$  w 2014 roku był na poziomie  $0,144 \text{ Bq m}^{-2}$ , a minimalna wartość dopływu w omawianym okresie wynosiła  $0,055 \text{ Bq m}^{-2}$  i przypadała na rok 2003. Jednocześnie w przypadku  $^{90}\text{Sr}$  nie stwierdza się jednoznacznych kierunków zmian w omawianym okresie.



Rys.65. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2014.

Tabela 18. Roczna suma aktywności  $^{90}\text{Sr}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2014,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

Rok	$^{90}\text{Sr}$
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
<b>2014</b>	<b>0,144</b>
Średnia	0,135
Minimalna	0,055
Maksymalna	0,209



Rys.66. Roczne sumy dopływu  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2014.

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

W 2014 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  i  $^{40}\text{K}$ . Izotop  $^{40}\text{K}$  jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo długim okresem połowicznego rozpadu wynoszącym  $1,251 \cdot 10^9$  lat.  $^{226}\text{Ra}$  jest produktem rozpadu w szeregu uranowym – radowym ( $^{238}\text{U}$ ), jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1599 lat.  $^{228}\text{Ac}$  jest produktem rozpadu w szeregu torowym ( $^{232}\text{Th}$ ) z połowicznym czasem 6,13 godziny. Źródłem  $^7\text{Be}$ , którego okres połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki – 53,3 dni, jest natomiast promieniowanie kosmiczne.

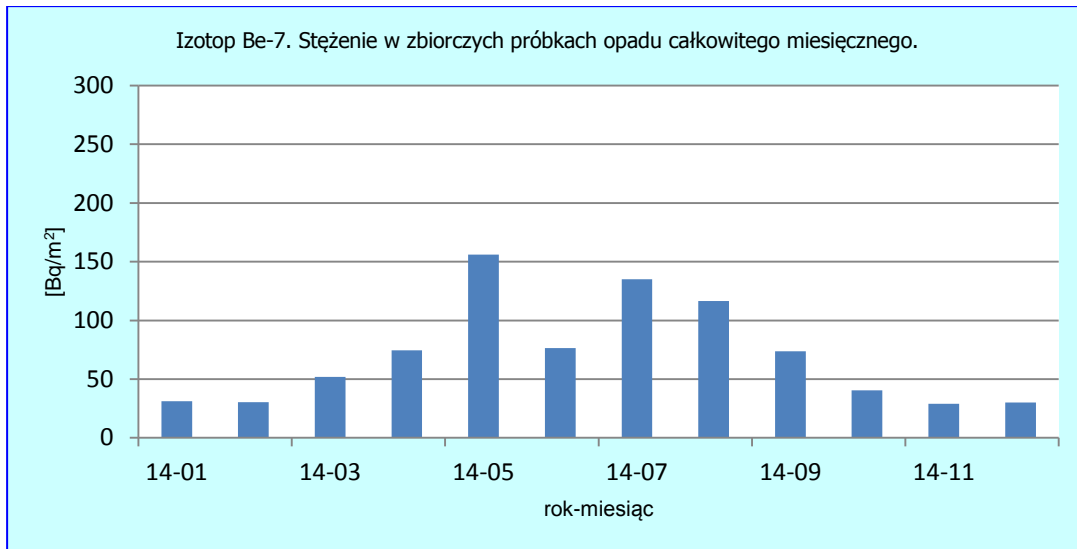
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2014

Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się  $^7\text{Be}$ . Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła  $70,5 \text{ Bq m}^{-2}$  i wahała się w zakresie od  $29,1 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $156,0 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 16, Rys. 67). Najwyższe miesięczne stężenia tego pierwiastka mierzone były w okresie letnim, a roczny dopływ wynosił  $845,5 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 19). Aktywność  $^{40}\text{K}$  zmieniała się w zakresie od  $0,79 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $6,72 \text{ Bq m}^{-2}$ , natomiast roczny dopływ był na poziomie  $28,4 \text{ Bq m}^{-2}$ . W przypadku  $^{226}\text{Ra}$  roczny dopływ o wartości  $0,801 \text{ Bq m}^{-2}$  ( $0,869 \text{ Bq m}^{-2}$  \*), a jego stężenia w próbkach opadu miesięcznego oscylowały w zakresie od  $0,013 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $0,125 \text{ Bq m}^{-2}$  (najwyższe wartości odnotowano w miesiącach letnich). Roczny dopływ  $^{228}\text{Ac}$  wynosił  $0,531 \text{ Bq m}^{-2}$  a jego miesięczne stężenia mieściły się w przedziale od  $0,023 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $0,073 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 19). Spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów widoczne zmiany sezonowe zaobserwowano jedynie w przypadku  $^7\text{Be}$  (Rys. 67-70). Najwyższe stężenia wystąpiły w miesiącach letnich, co spowodowane było podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  wyłukiwaniem izotopu berylu z atmosfery. Potwierdza to silna korelacja pomiędzy wysokością opadu a średnim ładunkiem miesięcznym  $^7\text{Be}$  ( $r=0,6953$ ,  $p<0,005$ ).

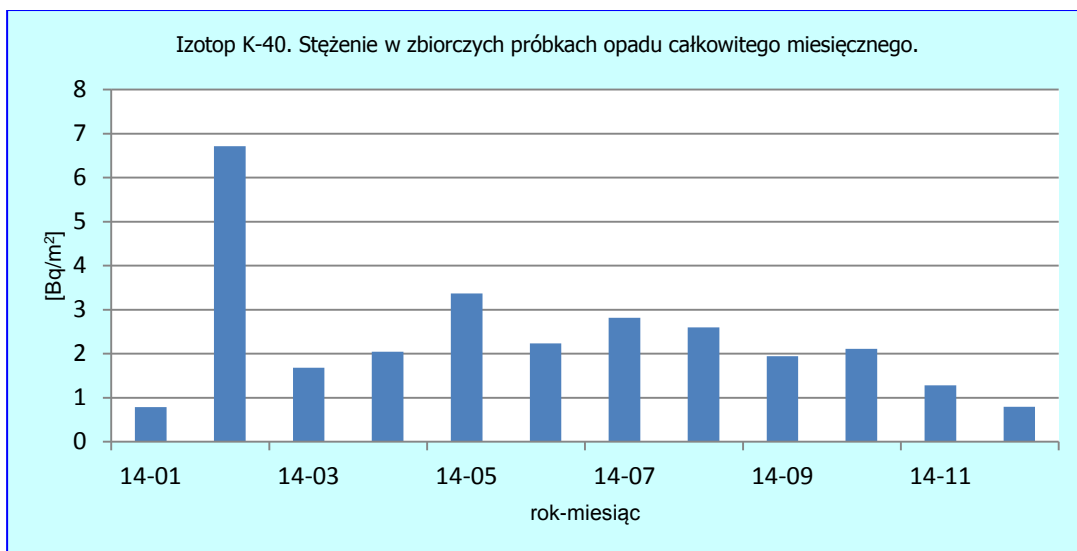
Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  i  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2014 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

Miesiąc	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$			
	$^{228}\text{Ac}$	$^7\text{Be}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$
Styczeń	$0,023 \pm 0,011$	$31,314 \pm 0,420$	$0,790 \pm 0,099$	$<0,040$
Luty	$0,063 \pm 0,021$	$30,384 \pm 0,842$	$6,715 \pm 0,297$	$0,121 \pm 0,080$
Marzec	$0,060 \pm 0,017$	$51,879 \pm 0,942$	$1,685 \pm 0,147$	$0,086 \pm 0,066$
Kwiecień	$0,050 \pm 0,017$	$74,532 \pm 1,077$	$2,043 \pm 0,156$	$<0,056$
Maj	$0,073 \pm 0,017$	$155,997 \pm 1,824$	$3,370 \pm 0,193$	$0,124 \pm 0,083$
Czerwiec	$0,042 \pm 0,014$	$76,333 \pm 1,192$	$2,235 \pm 0,153$	$0,116 \pm 0,059$
Lipiec	$0,047 \pm 0,015$	$135,016 \pm 1,681$	$2,819 \pm 0,168$	$0,125 \pm 0,068$
Sierpień	$0,037 \pm 0,011$	$116,607 \pm 1,381$	$2,599 \pm 0,162$	$0,091 \pm 0,070$
Wrzesień	$0,048 \pm 0,007$	$73,599 \pm 0,627$	$1,941 \pm 0,072$	$0,013 \pm 0,028$
Październik	$0,036 \pm 0,007$	$40,554 \pm 0,370$	$2,108 \pm 0,075$	$0,083 \pm 0,029$
Listopad	$0,029 \pm 0,007$	$29,054 \pm 0,258$	$1,281 \pm 0,063$	$0,042 \pm 0,029$
Grudzień	$0,023 \pm 0,006$	$30,179 \pm 0,216$	$0,792 \pm 0,051$	$<0,040$
<b>Suma roczna</b>	<b>0,531</b>	<b>845,448</b>	<b>28,378</b>	<b>0,801 (0,869*)</b>
Średnia	0,044	70,454	2,365	0,089
Maksymalna	0,073	155,997	6,715	0,125
Minimalna	0,023	29,054	0,790	0,013

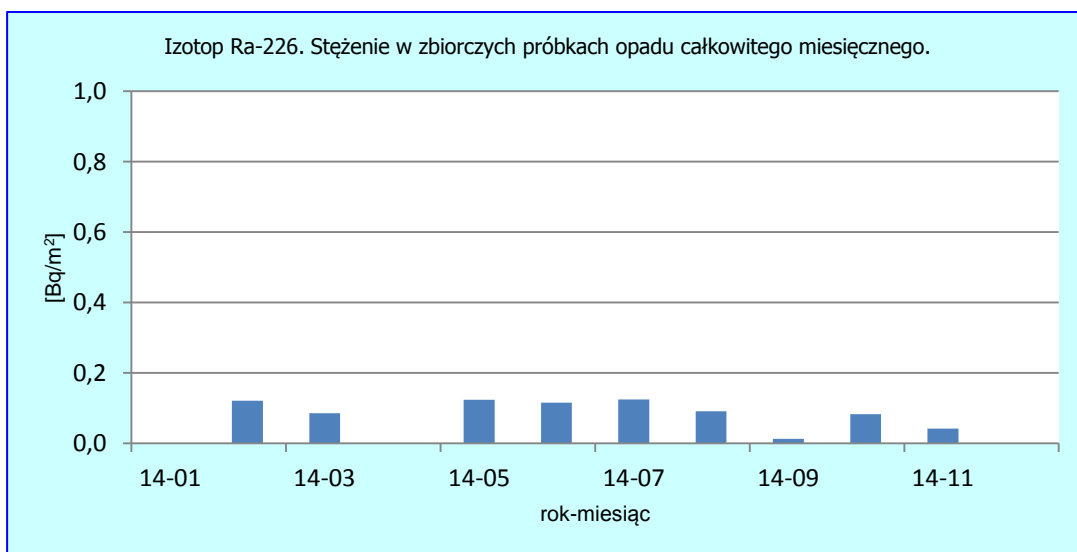
Zgodnie z rekomendacją U.S. Environmental Protection Agency w przypadku stężeń poniżej limitu detekcji do wyliczenia ładunku wykorzystuje się pół wartości limitu detekcji.



Rys.67. Stężenie promieniotwórcze <sup>7</sup>Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2014 roku.

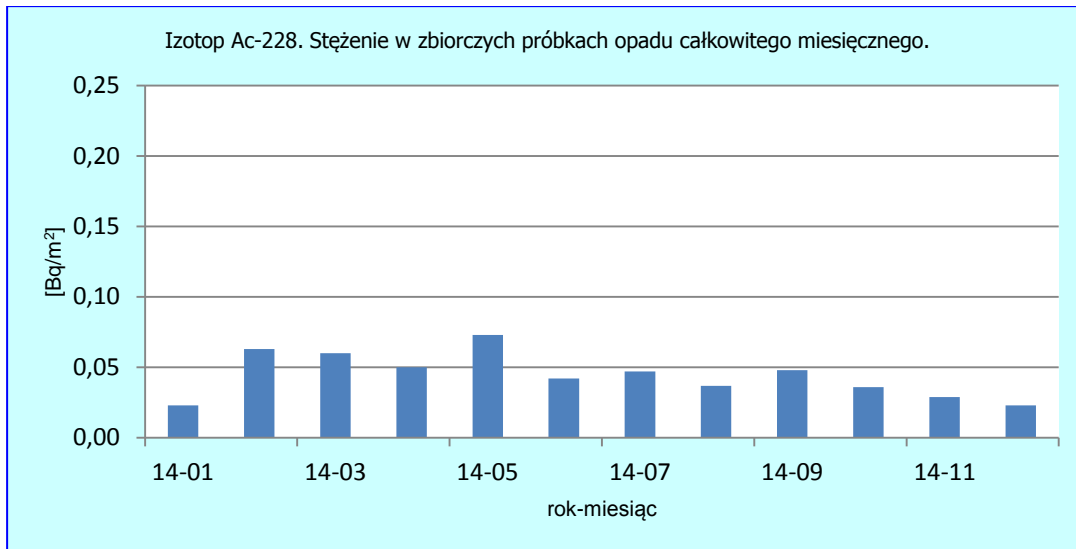


Rys.68. Stężenie promieniotwórcze <sup>40</sup>K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2014 roku.



Rys.69. Stężenie promieniotwórcze <sup>226</sup>Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2014 roku.





Rys. 70. Stężenie promieniotwórcze <sup>228</sup>Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2014 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2014 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.

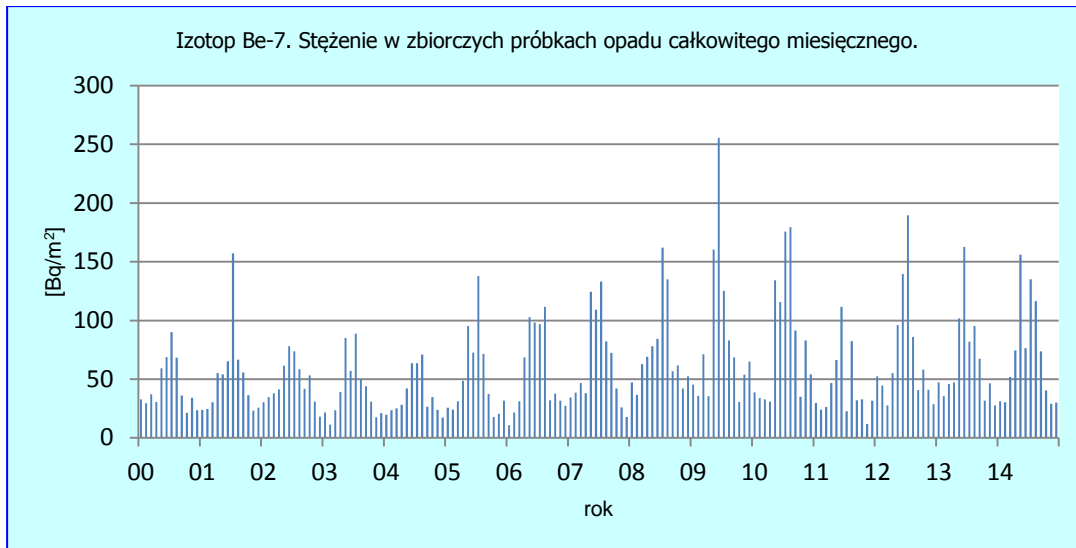
W roku 2014 roczne ładunki pierwiastków: <sup>7</sup>Be, <sup>40</sup>K, <sup>228</sup>Ac były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2014), jedynie w przypadku <sup>226</sup>Ra ładunek z roku 2014 był ponad dwukrotnie niższy od średniej wyznaczonej dla całego okresu. Sumaryczny ładunek <sup>7</sup>Be wynoszący w roku 2014 845,5 Bq m<sup>-2</sup> był również większy od ładunku dopływającego z atmosfery w 2013 roku. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w przypadku <sup>40</sup>K, którego sumaryczny ładunek w 2014 roku wyniósł 28,4 Bq m<sup>-2</sup>.

Tabela 20. Roczna suma aktywności <sup>226</sup>Ra, <sup>7</sup>Be, <sup>228</sup>Ac, <sup>40</sup>K w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2014, Bq m<sup>-2</sup>

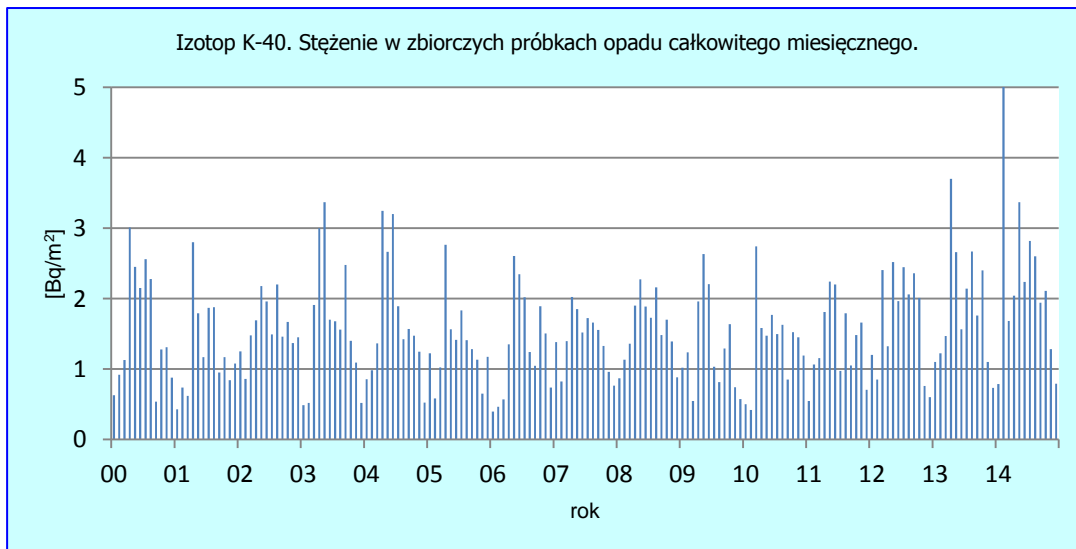
Rok	<sup>7</sup> Be	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ac
2000	531,960	19,140	2,530	
2001	618,030	15,340	2,490	
2002	559,700	19,060	2,490	
2003	489,520	19,720	2,330	
2004	439,582	20,447	2,974	
2005	614,147	16,064	2,584	0,402
2006	670,895	16,184	1,068	0,450
2007	764,630	16,991	1,299	0,493
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
<b>2014</b>	<b>845,448</b>	<b>28,378</b>	<b>0,801</b>	<b>0,531</b>
Średnia	708,417	18,808	1,701	0,432
Minimalna	439,582	15,340	0,659	0,069
Maksymalna	1029,896	28,378	2,974	0,676

Największy wzrost ładunku odnotowano w przypadku  $^{228}\text{Ac}$ , w 2014 wyniósł on  $0,531 \text{ Bq m}^{-2}$ , podczas gdy w 2013 roku wynosił zaledwie  $0,069 \text{ Bq m}^{-2}$ . Należy jednak podkreślić, że w 2012 ( $0,528 \text{ Bq m}^{-2}$ ) był on bardzo zbliżony do roku 2014. W przypadku  $^{226}\text{Ra}$  sumaryczny ładunek równy  $0,801 \text{ Bq m}^{-2}$  był praktycznie identyczny jak w roku poprzednim.

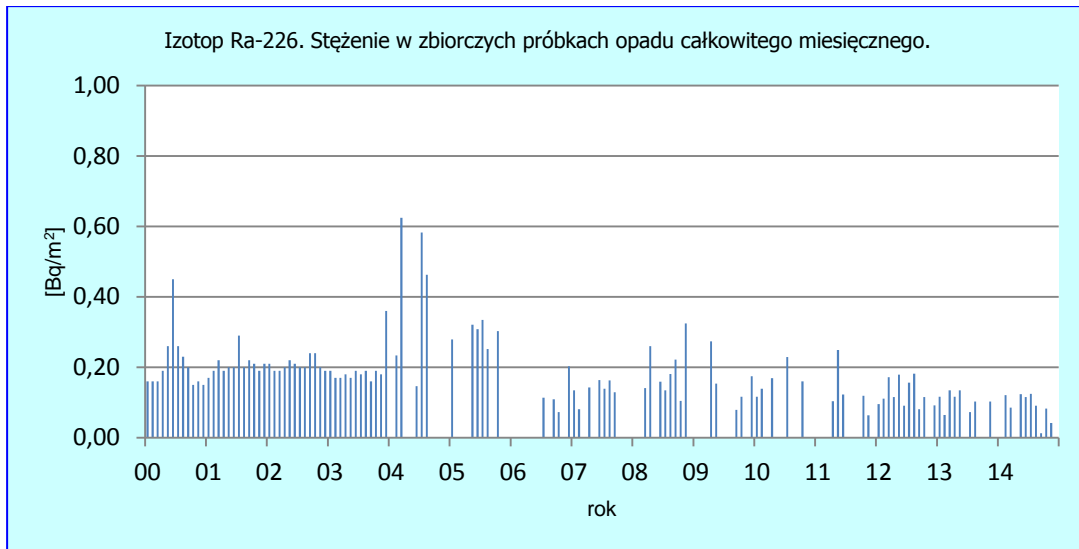
Są to wartości na poziomie naturalnym związane z budową geologiczną Polski. Podlegają też wahaniom związanym ze zmiennością pór roku tj. temperatury, opadów deszczu, śniegu itp. Zmienność omawianych izotopów w zmierzonej aktywności może być znaczna jednak nie stanowi to zagrożenia gdyż są to pierwiastki pochodzące ze skorupy ziemskiej i znajdują się w niej od milionów lat.



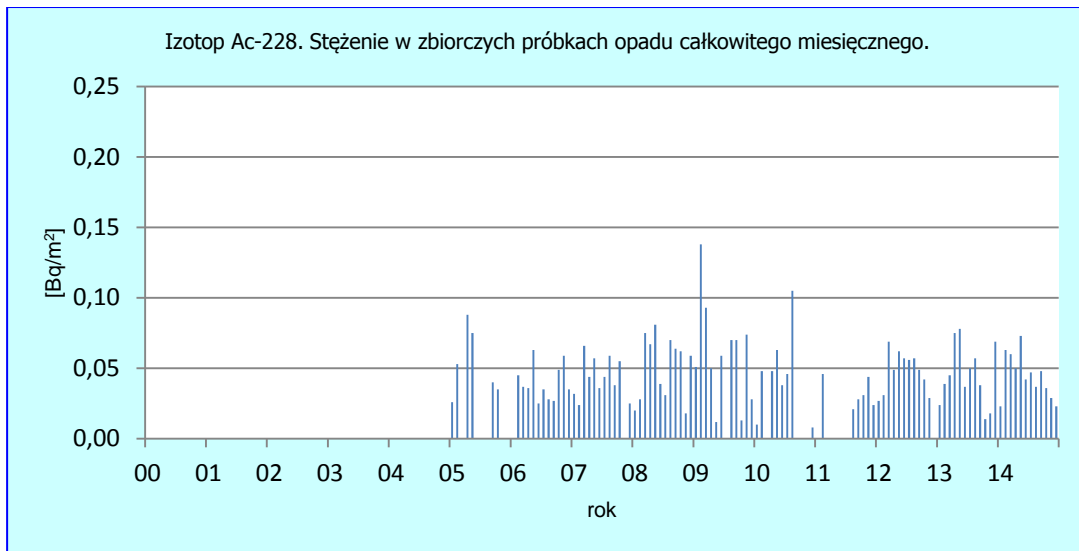
Rys.71. Stężenie promieniotwórcze  $^7\text{Be}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2014.



Rys. 72. Stężenie promieniotwórcze  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2014.



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze <sup>226</sup>Ra w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2014.



Rys.74. Stężenie promieniotwórcze <sup>228</sup>Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2014.

#### 4. Podsumowanie

W 2014 roku monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy powietrza prowadzono w ramach Umowy nr 13/F/2013 pomiędzy Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym.

Pomiary prowadzono na stacjach sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych działających w ramach infrastruktury IMGW. Stacje IMGW zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu<sup>2</sup>, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2014 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:  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
8. Pomiar spektrometryczny izotopów naturalnych w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
9. Pomiar radiochemiczny aktywności izotopu  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

Wyniki uzyskane w roku 2014 zestawiono w Tabeli 21 na kolejnej stronie.

---

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

<sup>3</sup> Suma roczna dotyczy tylko wyników spektrometrycznych oraz opadu całkowitego dobowego.

Tabela 21. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2014.

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna <sup>3</sup>			
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>92 nGy/h</b> Str. 16			
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>7,4 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 22			
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,030 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 26			
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,137 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 30			
5.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego oraz roczna suma aktywności beta całkowitego opadu dobowego. <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,9 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 40	Suma roczna <b>0,316 kBq/m<sup>2</sup></b> Str. 34		
6.	Globalna aktywność beta wody opadowej <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>311 mBq/litr</b> Str. 39			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>8,0 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 44			
8.	Stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <b>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</b>	Wartość średnia <b>0,041 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 49	Suma roczna <b>0,491 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 49		
9.	Stężenie promieniotwórcze <sup>134</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <b>Bardzo niskie wartości na poziomie zdolności detekcyjnych aparatury</b>	Poniżej zdolności detekcji		Poniżej zdolności detekcji	
10.	Stężenie promieniotwórcze <sup>90</sup> Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <b>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</b>	Wartość średnia <b>0,012 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 52	Suma roczna <b>0,144 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 52		
12.	Sumy roczne aktywności <sup>7</sup> Be, <sup>40</sup> K, <sup>226</sup> Ra, <sup>228</sup> Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <b>Wartości na poziomie tła</b> Str. 55	Be-7	K-40	Ra-226	Ac-228
		<b>845,448 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>28,378 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>0,801 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>0,531 Bq/m<sup>2</sup></b>

## 5. Wnioski

W 2014 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 2014 roku wynosiła  $92,0 \text{ nGy h}^{-1}$  i była wyższa od obserwowanej w roku 2013. Najniższe wartości w ciągu całego roku rejestrowano na stacji Warszawa (roczna wartość średnia wynosiła  $74,9 \text{ nGy h}^{-1}$ ), najwyższe natomiast na stacji Zakopane z wartością średnią  $122,9 \text{ nGy h}^{-1}$ . W latach 2000 - 2014 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 2014 roku było takie samo jak w roku ubiegłym i wynosiło  $5,3 \text{ Bq m}^{-3}$  oraz niższe o  $0,7 \text{ Bq m}^{-3}$  w stosunku do wartości średniej charakterystycznej dla roku 2012. W latach 2000 – 2014 nie zaobserwowano żadnych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie ( $4,9 \text{ Bq m}^{-3}$ ) odnotowano w 2001, najwyższe ( $8,6 \text{ Bq m}^{-3}$ ) w 2008 roku, natomiast średnia obliczona ze wszystkich badanych lat jest na poziomie  $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$ .

W przypadku izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa średnie roczne stężenie promieniotwórcze wyniosło  $0,030 \text{ Bq m}^{-3}$  i było nieznacznie niższe od wartości obserwowanej w roku ubiegłym ( $0,033 \text{ Bq m}^{-3}$ ). W latach 2000 – 2014 najniższe średnie roczne stężenie  $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$  odnotowano w 2001 roku, zaś najwyższy wynik zarejestrowano w 2009 ( $0,040 \text{ Bq m}^{-3}$ ). Poziom promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w 2014 roku stanowił tylko ok. 0,4 % poziomu radioaktywności związanego z promieniowaniem alfa ze źródeł naturalnych.

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.

Stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolach w roku 2014 zmieniały się w bardzo szerokim zakresie od średniej wartości rocznej równej  $0,002 \text{ Bq m}^{-3}$  obserwowanej na stacji Włodawa do wartości  $0,264 \text{ Bq m}^{-3}$  w Legnicy. Jednocześnie średnia roczna obliczona na podstawie danych ze wszystkich stacji ( $0,137 \text{ Bq m}^{-3}$ ) była wyższa od wartości uzyskanej w roku ubiegłym –  $0,113 \text{ Bq m}^{-3}$ . Aktywność promieniotwórcza związana z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolach w 2014 była jedną z najwyższych zarejestrowanych w latach 2000-2014.

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 2014 roku ( $1,1 \text{ Bq m}^{-2}$ ) otrzymano w Legnicy i Zakopanem. 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 2014 roku wyniosła  $0,32 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  i była taka sama jak w latach 2003, 2005 i 2012. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2014 utrzymuje się również na tym samym poziomie.

Średnia aktywność beta wody opadowej charakterystyczna dla 2014 roku ( $311 \text{ mBq l}^{-1}$ ) jest najniższą wartością obserwowaną w latach 2000-2014. Maksymalny wynik otrzymany w badanym okresie przypada na rok 2003 i wynosi  $376 \text{ mBq l}^{-1}$ , natomiast wartość średnia uzyskana ze wszystkich lat jest równa  $346 \text{ mBq l}^{-1}$ .

W 2014 roku średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie wynosiła  $8 \text{ Bq m}^{-2}$  i była jedną z najwyższych średniorocznych aktywności, wyższe lub takie same aktywności odnotowano w 2010 ( $8,2 \text{ Bq m}^{-2}$ ) oraz 2011 ( $8,0 \text{ Bq m}^{-2}$ ). W porównaniu do średniej aktywności całkowitego opadu atmosferycznego w latach 2000-2014 aktywność w roku 2014 była około 15% wyższa.

Analiza wyników stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego uzyskanych w latach 2000-2014 wykazuje, że najwyższe ładunki izotopu  $^{137}\text{Cs}$  notowane są w okresie wiosenno-letnim kiedy obserwuje się wysokie miesięczne sumy opadów. W przypadku izotopu  $^{134}\text{Cs}$  na tle lat 2000-2014 ładunek tego pierwiastka rejestrowany był w okresie marze-maj 2011, kiedy nad Polskę dotarły skażone masy powietrza po awarii elektrowni atomowej Fukushima Daichii, podczas gdy w pozostałym okresie pomiarowym jego aktywność pozostawała poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Roczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  wraz z całkowitym opadem atmosferycznym w roku 2014 wynosił  $0,491 \text{ Bq m}^{-2}$  (całkowity ładunek na obszar Polski 153 GBq) i był prawie dwa razy wyższy niż w okresie 2012-2013. Było to spowodowane zdecydowanie wyższymi ładunkami w miesiącach od lutego do maja 2014 roku w stosunku do ostatnich dwóch lat.

W 2014 roku stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego mieściły się w zakresie od 0,004 do  $0,037 \text{ Bq m}^{-2}$ . Średnia otrzymana ze wszystkich miesięcy była tylko o  $0,004 \text{ Bq m}^{-2}$  niższa niż w ubiegłym roku, podobnie jak w przypadku rocznej sumy obliczonej z wartości miesięcznych wynoszącej  $0,144 \text{ Bq m}^{-2}$ , która w stosunku do roku 2013 była niższa o  $0,051 \text{ Bq m}^{-2}$ .

Największe miesięczne aktywności  $^{90}\text{Sr}$  obserwowano w latach 2000 – 2001 i następnie w 2011 roku w wyniku dopływu związanego z awarią w Fukushima.

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, jaki w miesięcznych próbach opadu całkowitego oraz stężenia promieniotwórcze izotopów:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego wykazywały zmiany sezonowe wskazując na wzrost aktywności obserwowany w okresie wiosenno-letnim.