

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
Oddział Morski w Gdyni



**„Monitoring promieniowania jonizującego realizowany  
w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska.  
Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego  
wykrywania skażeń promieniotwórczych”.**

**ETAP V  
RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI I ANALIZY  
ZA ROK 2017**



Dofinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej

*Praca wykonana na podstawie Umowy IMGW-PIB z GIOŚ nr 36/2015/F  
finansowanej ze środków Umowy NFOŚiGW-GIOŚ nr 313/2015/Wn-50/MN-  
PO/D z 29.07.2015 r. o realizację zadania państwowej jednostki budżetowej  
zakwalifikowanego do dofinansowania.*

Autorzy:

Mgr Andrzej Czuryłowski  
Mgr Paweł Miszczuk  
Mgr Michał Saniewski  
Dr hab. inż. Tamara Zalewska  
Mgr Karolina Gębka  
Mgr Julita Biszczuk-Jakubowska

Sprawdził

ZASTĘPCA KIEROWNIKA  
Ośrodka Oceanografii i Monitoringu  
Hydrosfery i Atmosfery

*B. Jakubowska*  
mgr Julita Biszczuk-Jakubowska

Zatwierdził

D Y R E K T O R

*Przemysław Łagodzki*  
dr inż. Przemysław Łagodzki

GDYNIA 2018

## **Spis treści**

1. Cel i zakres pracy
2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych
  - 2.1. Pobieranie i przygotowanie próbek
  - 2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewnienia jakości pomiarów
3. Wyniki i omówienie wyników z 2017 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2016
  - 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
  - 3.7. Stężenie promieniotwórcze  $^{106}\text{Ra}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu dobowego
  - 3.8. Analiza trajektorii mas powietrza napływających nad Polskę w okresie 1-3 października 2017
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 2016-2020<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. Raporty roczne z analizą wyników publikowane są na stronie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska<sup>2</sup>.

Dnia 30 września 2015 roku podpisana została umowa między IMGW - PIB a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska pt.: „Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych”.

W ramach tej umowy IMGW-PIB zobowiązany jest do wykonywania pomiarów w okresie od 1 października 2015 roku do 30 września 2018 roku, jak również do przedstawiania uzyskanych wyników w postaci zestawień oraz raportów rocznych.

Niniejszy raport prezentuje wyniki pomiarów prowadzonych od 1 stycznia 2017 do 31 grudnia 2017 r., **które zostały wykonane w ramach umowy „Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych”**

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 2017 wraz z komentarzem uwzględniającym dane z lat poprzednich. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.

---

<sup>1</sup> <http://www.gios.gov.pl/pl/stan-srodowiska/pms>

<sup>2</sup> <http://www.gios.gov.pl/pl/stan-srodowiska/monitoring-promieniowania-jonizujacego>



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

## 2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych

### 2.1. Pobieranie 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 samoabsorpcji.
- 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 samoabsorpcji.
- c) Pobór próbek aerozoli powietrza odbywający się poprzez wymuszony przepływ powietrza przez odpowiednie filtry w cyklach półgodzinnych. Próbki 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 (GM),
- 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 baterijnym,
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 tj. 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 i 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 filtra 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 filtra, 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 we 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 filtra.
- 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  $1700 \text{ mm}^2$ . 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 ( $E_\alpha 8,78 \text{ MeV}$ ), względnie do poprawiania metody ABPD z dyskryminacją energii Alfa, poprzez wybór progu dyskryminacji Alfa powyżej 6 MeV.
- Kasetę 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 filtra przy małym naprężeniu i czyni go mniej wrażliwym na zerwanie, nawet w przypadku wilgotnej taśmy filtracyjnej. Kasetę wykonaną 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 niewymagającą konserwacji pompę z boczną dmuchawą, przystosowany do temperatury maksymalnej 45 °C 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. Możliwość 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 torry spektrometryczne przystosowane do współpracy z sondami scyntylacyjnymi beta i/lub gamma (tor pierwszy z SSU-TD-BETA lub SSU-70, tor 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-kanalowy,
  - 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. Sonda jest wyposażona w:

- Scyntylator BETA typu SPF-32,
- Fotopowielacz,
- Podstawkę fotopowielacza zintegrowaną z dzielnikiem 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 scyntylacyjnej,
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

$$K = A_w / ((N_{wt} - N_t) \cdot S) \quad [Bq / (m^2 \cdot imp / min \cdot)]$$

2. Aktywność próbki

$$A = K \cdot (N_{pt} - N_t) \quad [Bq / m^2]$$

3. Błąd statystyczny

$$\Delta = T \cdot \sqrt{(N_{pt} / t_p + N_t / t_0)}, \text{ dla pomiaru próbki}$$

$$\Delta = T \cdot \sqrt{(N_{wt} / t_w + N_t / t_0)}, \text{ dla pomiaru kalibracji}$$

4. Błąd statystyczny względny

$$a = \Delta / (N_{pt} - N_t) \cdot 100\%$$

$$b = \Delta / (N_{wt} - N_t) \cdot 100\%$$

5. Współczynnik dobroci

$$Q = (N_{wt} - N_t)^2 / N_t$$

Oznaczenia:

- $A_w$  – aktywność wzorca na dzień pomiaru [Bq],
- $S$  – powierzchnia kuwety [ $m^2$ ],
- $K$  – 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  $0,9 - 1,2 \text{ g cm}^{-3}$ , 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 $^{90}\text{Sr}$ w miesięcznym opadzie całkowitym

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

### ETAP I – Chemiczne oczyszczanie próbki

1. Przeprowadzenie izotopu  $^{90}\text{Sr}$  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  $\text{HNO}_3$  (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 szczawowego, 1 ml nośnika strontu, kilka kropli zieleni bromokrezolowej i stężony amoniak do uzyskania pH 4-4,5 (kolor ciemnozielony). Roztwór ogrzewa się do temp.  $80^\circ\text{C}$  w celu całkowitego wytrącenia osadu. Po opadnięciu osadu roztwór dekantuje się z nad osadu szczawianów.

- Osad szczawianów rozpuszcza się w roztworze (1:1)  $\text{HNO}_3$  (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  $80^\circ\text{C}$ ). Po całkowitym wytrąceniu osadu szczawianów roztwór przesącza się przez twardy sączek. Osad przepłukuje się dokładnie wodą destylowaną i pozostawia do wysuszenia.

3. Spopielenie osadu.

Sączek z osadem przenosi się do tygla i spala w piecu muflowym w temperaturze  $650 - 700^\circ\text{C}$ . Następnie tygiel wyjmuje się z pieca i studzi.

4. Rozpuszczanie popiołu.

Osad w tyglu zwilża się wodą destylowaną, dodaje kilka mililitrów  $\text{HNO}_3$  (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  $90^\circ\text{C}$ , 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.  $90^\circ\text{C}$ . 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  $\text{HNO}_3$  (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 $^{90}\text{Sr}$ z $^{90}\text{Y}$ 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)<sub>3</sub> od roztworu do rozpoczęcia pomiaru przekracza 2 godziny, należy zastosować mnożnik uwzględniający rozpad promieniotwórczy radioizotopu <sup>90</sup>Y:

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

t<sub>0</sub> – godzina oddzielenia osadu od roztworu

t<sub>1</sub> – godzina odpowiadająca połowie czasu pomiaru próbki

(t<sub>1</sub> – t<sub>0</sub>) – różnica wyrażona w godzinach

Błąd pomiaru:

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

σ- błąd pomiaru [Bq m<sup>-2</sup>], t<sub>p</sub> – czas pomiaru próby [min], t<sub>pt</sub> – czas pomiaru tła [min]

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



### 3. Wyniki i omówienie wyników z 2017 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2016

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

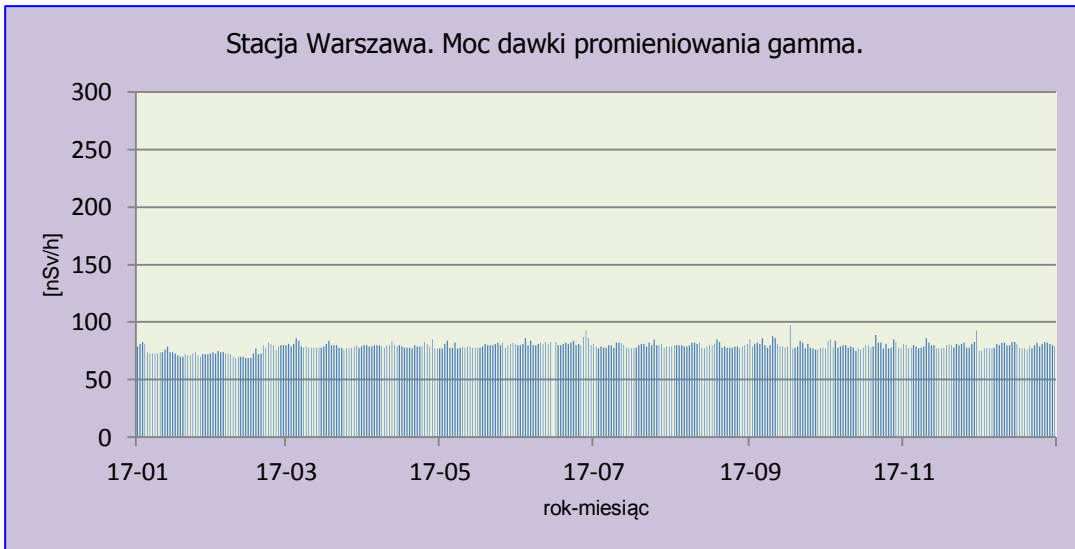
Moc dawki promieniowania gamma definiujemy jako ilość energii promieniowania jonizującego przekazana jednostce masy w jednostce czasu.

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

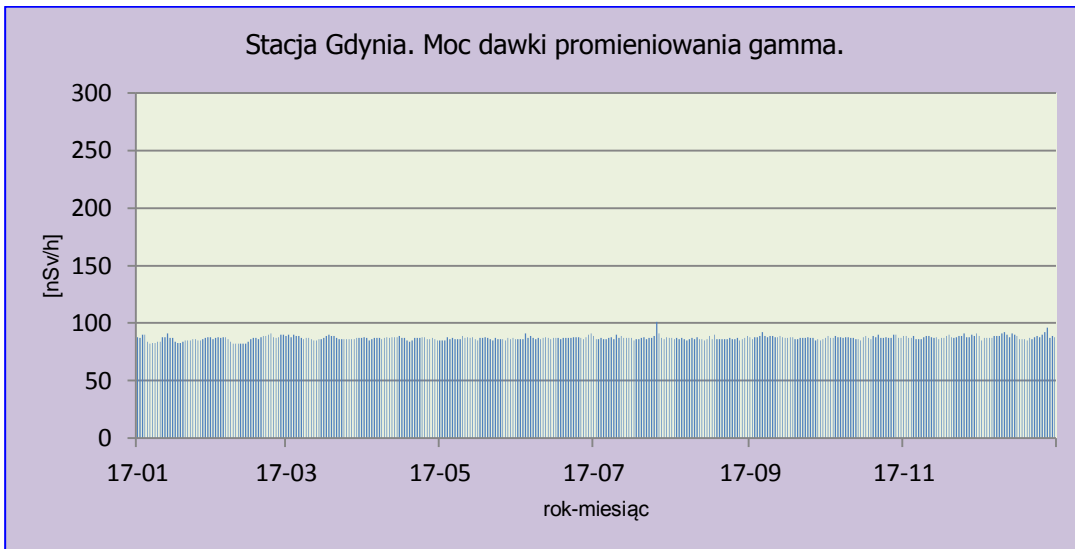
Poziom promieniowania gamma związany z obecnością izotopów emitujących promieniowanie gamma w atmosferze określany jest za pomocą mocy dawki. W 2017 roku wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były w reżimie dobowym na 9 stacjach IMGW-PIB: Warszawa, Gdynia, Mikołajki, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Legnica, Włodawa, Zakopane, Lesko. Otrzymane wartości zmieniały się w szerokim zakresie (Rys. 2-10), od najniższej średniej miesięcznej wartości 72,7 nSv h<sup>-1</sup> uzyskanej w lutym na stacji Włodawa do maksymalnej zarejestrowanej w sierpniu w Zakopanem – 122,1 nSv h<sup>-1</sup> (Tabela 1). Zbliżoną średnią roczną moc dawki promieniowania gamma uzyskaną z wartości dobowych odnotowano odpowiednio na stacjach: Warszawa, Świnoujście, Włodawa (< 80 nSv h<sup>-1</sup>), Gdynia, Gorzów Wielkopolski (ok. 87 nSv h<sup>-1</sup>), Mikołajki, Legnica, Lesko (ok. 100 nSv h<sup>-1</sup>) oraz Zakopane (114,6 nSv h<sup>-1</sup>). Najwyższe wartości mocy dawki odnotowane w Zakopanem mają jednoznacznie związek z faktem, że promieniowanie w rejonach górskich jest największe. Na stacjach zlokalizowanych w miejscowościach położonych znacznie niżej względem poziomu morza: Warszawa, Gdynia, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Włodawa średnia roczna moc dawki promieniowania gamma była niższa niż uzyskana dla średniej dla całej Polski, jedynie na stacjach Mikołajki, Legnica Zakopane i Lesko średnia roczna moc była wyższa od średniej z całej Polski (Tabela 1). W 2017 roku średnia roczna ze wszystkich stacji wynosiła 90,9 nSv h<sup>-1</sup> i była nieznacznie niższa do wartości odnotowanej w roku ubiegłym (92,1 nSv h<sup>-1</sup>). Średnie wartości mocy dawki wyliczone na podstawie danych ze wszystkich stacji dla poszczególnych miesięcy były bardzo zbliżone i pozostawały w zakresie od 90,6 do 94,7 nSv h<sup>-1</sup>. Jedynie w styczniu i lutym odnotowano wartości nieco niższe, odpowiednio 83,7 nSv h<sup>-1</sup> i 85,1 nSv h<sup>-1</sup>.

Tabela 1. Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu w 2017 roku, nSv h<sup>-1</sup>.

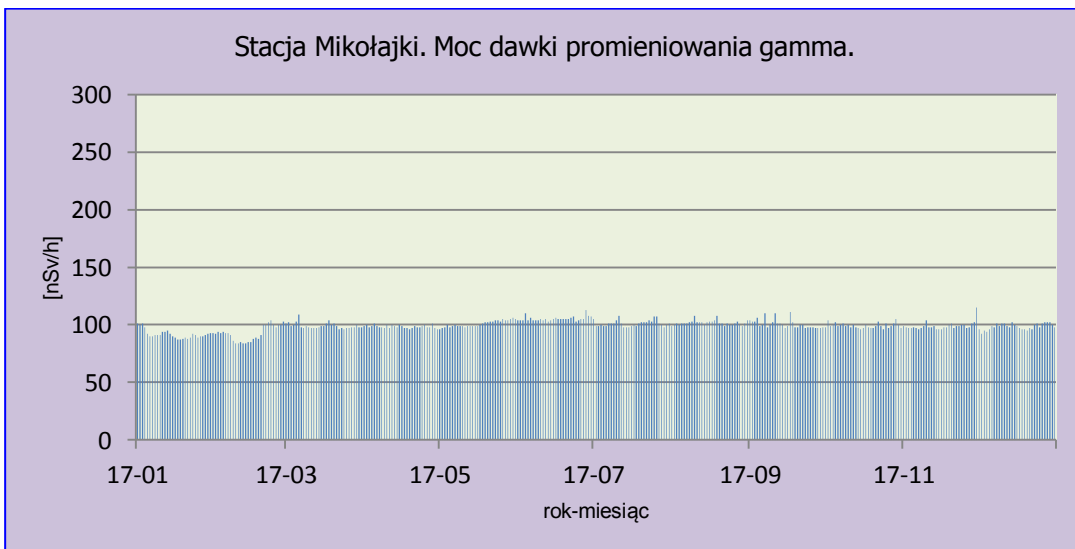
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	73,9	85,9	91,9	84,0	75,2	91,1	73,7	92,6	84,8	83,7
Luty	74,3	86,4	92,5	85,1	76,7	92,8	72,7	93,6	91,8	85,1
Marzec	79,4	87,2	99,1	85,5	76,3	93,6	79,1	118,5	103,6	91,4
Kwiecień	79,6	86,8	98,4	85,4	75,3	92,7	79,5	116,4	103,6	90,9
Maj	79,5	86,5	100,9	85,7	75,0	95,4	79,4	119,5	103,5	91,7
Czerwiec	82,1	87,3	105,3	86,9	75,6	101,3	81,5	121,3	105,8	94,1
Lipiec	79,7	87,6	101,2	86,5	74,6	100,0	80,6	121,1	104,7	92,9
Sierpień	79,8	86,5	101,7	85,9	74,6	99,5	80,2	122,1	107,5	93,1
Wrzesień	80,7	87,5	100,7	85,8	75,4	96,6	81,0	121,7	106,2	92,9
Październik	79,8	87,6	99,3	85,4	75,7	94,8	80,6	119,1	104,7	91,9
Listopad	80,1	88,2	99,0	85,9	76,8	94,3	79,9	116,7	104,9	91,8
Grudzień	79,4	88,5	98,4	86,3	77,5	94,2	79,9	110,7	100,8	90,6
<b>Minimalna średnia miesięczna w 2017r.</b>	73,9	85,9	91,9	84,0	74,6	91,1	72,7	92,6	84,8	83,5
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	82,1	88,5	105,3	86,9	77,5	101,3	81,5	122,1	107,5	94,7
<b>Średnia roczna dobową w 2017 r.</b>	79,0	87,2	99,1	85,7	75,7	95,5	79,0	114,6	101,9	90,9



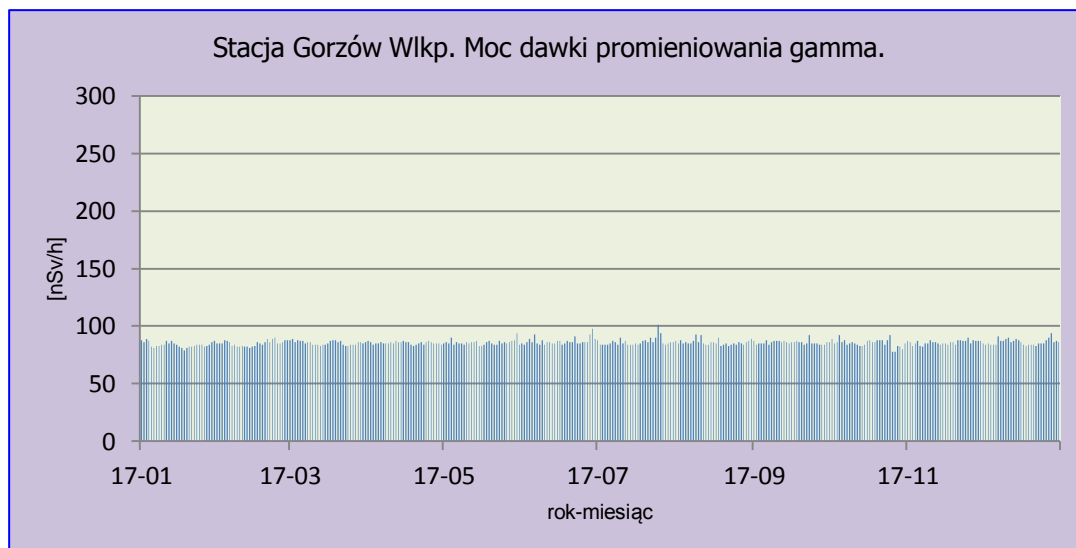
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2017 roku.



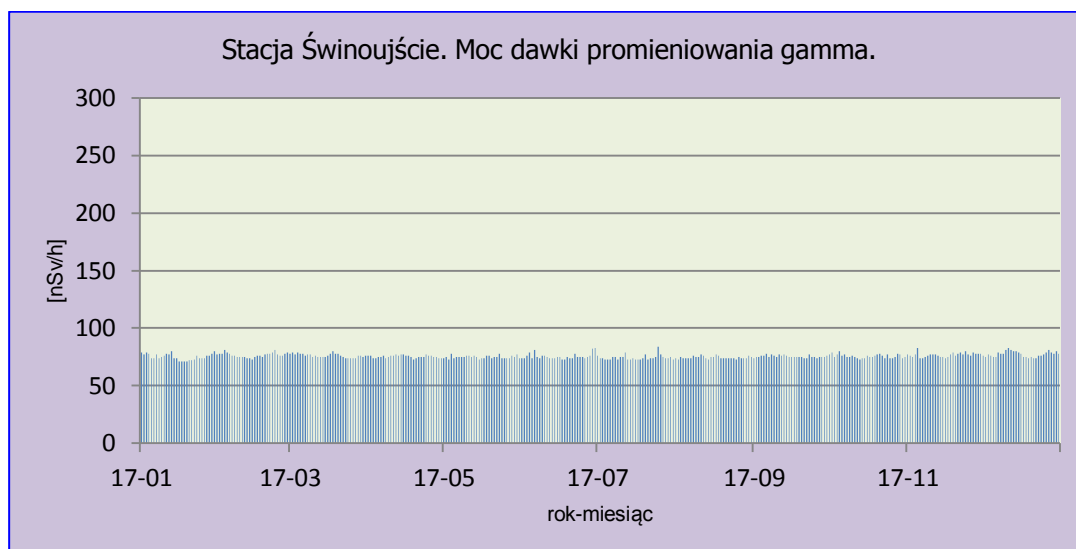
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2017 roku.



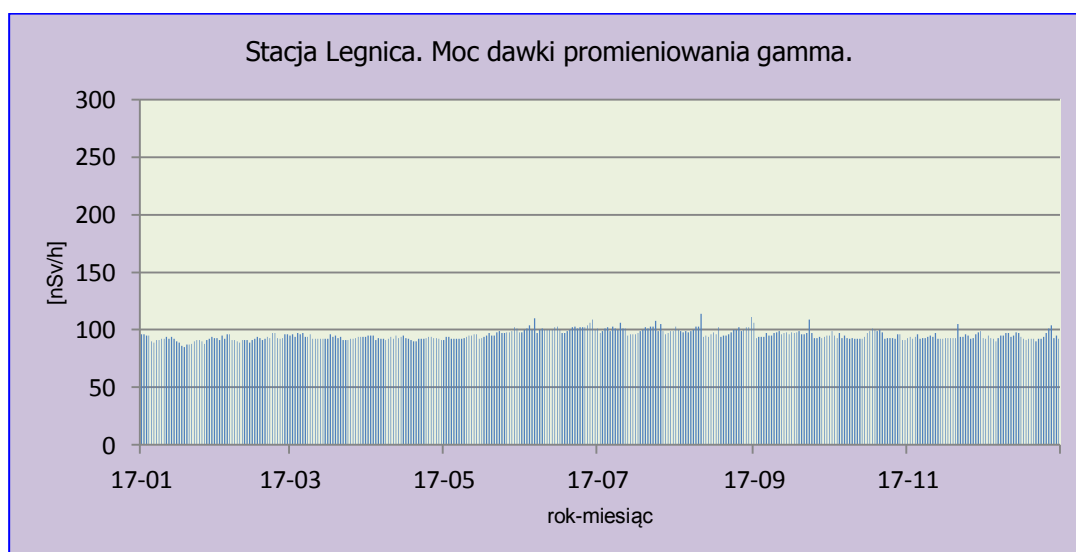
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2017 roku.



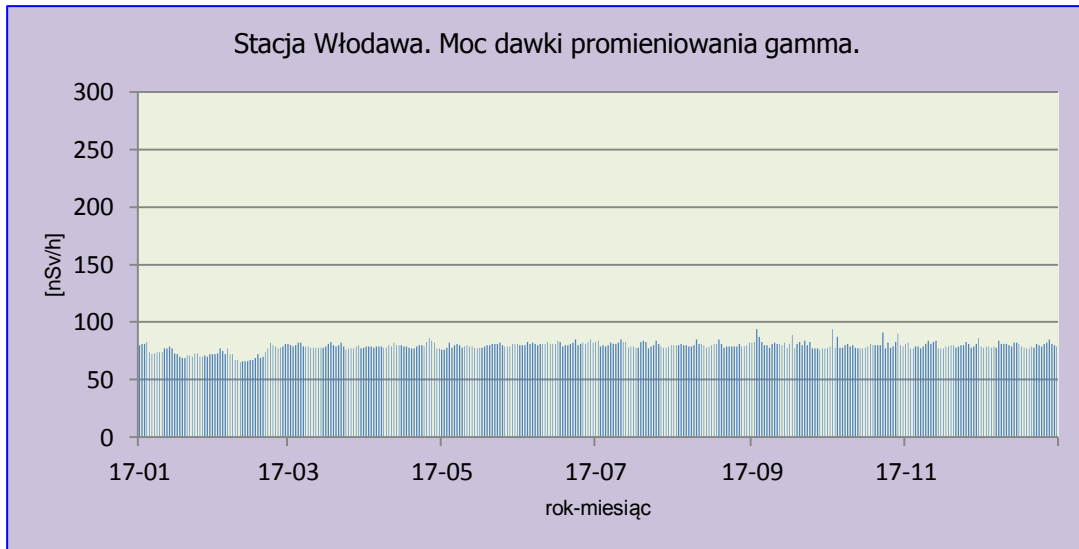
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2017 roku.



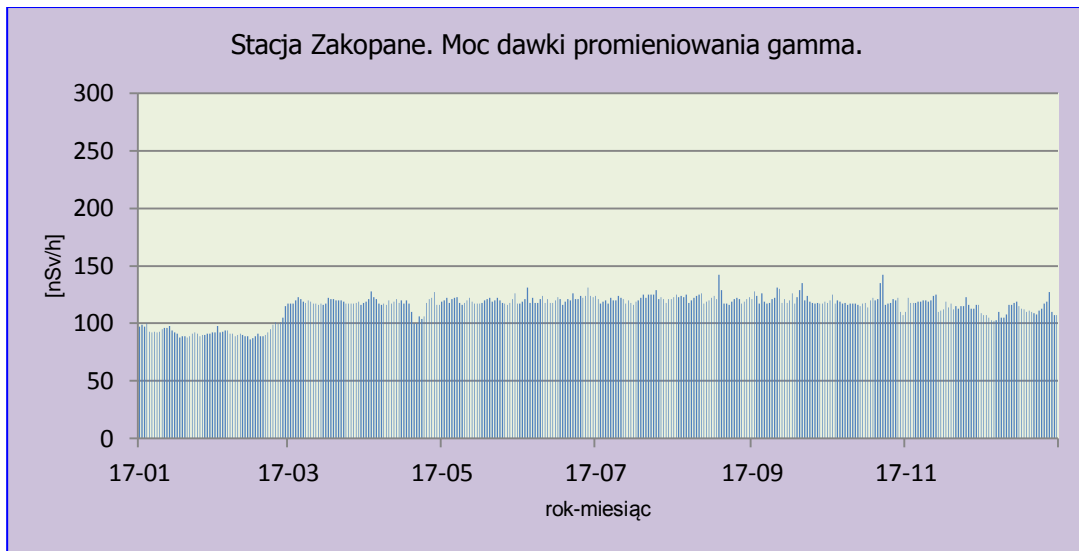
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2017 roku.



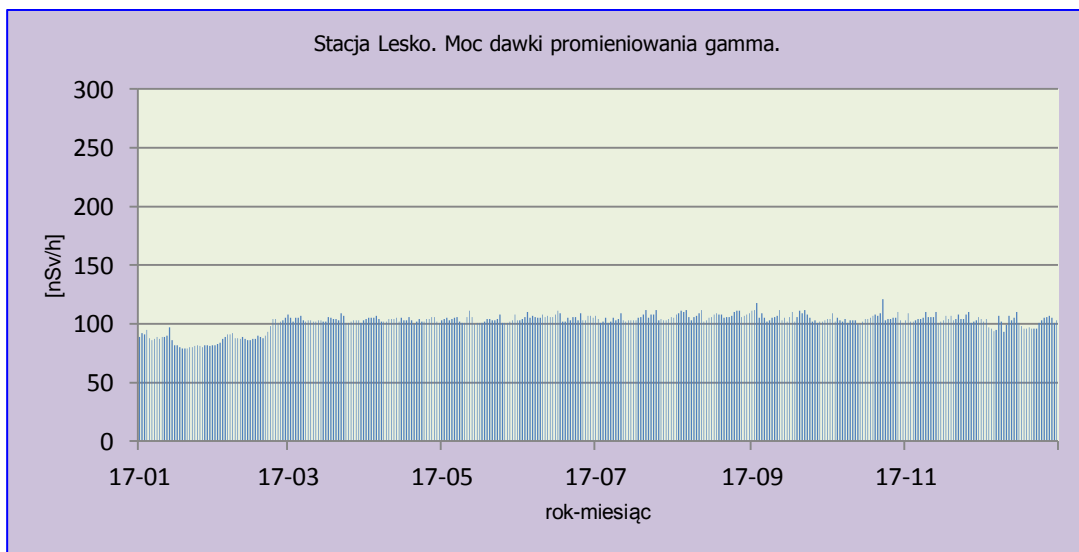
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2017 roku.



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2017 roku.



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2017 roku.



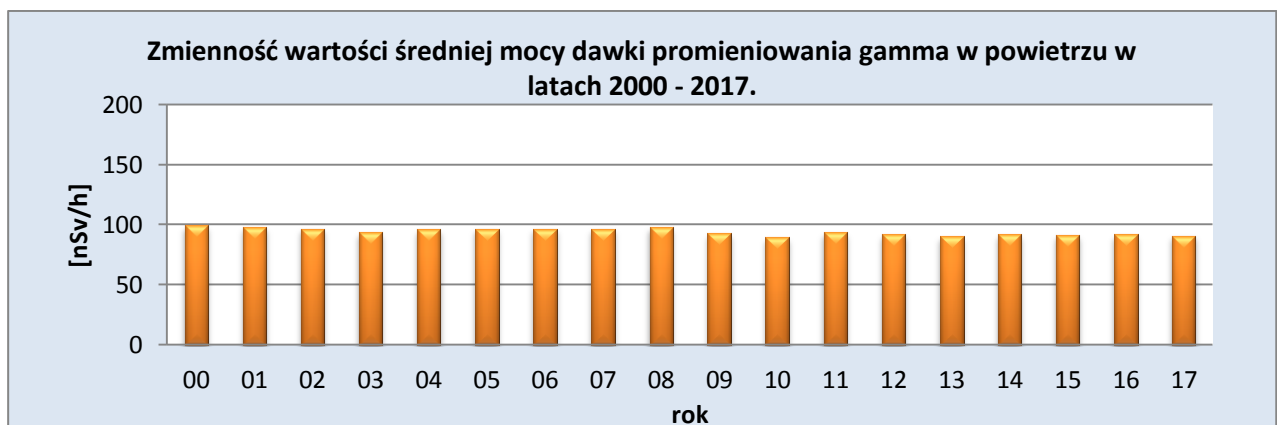
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2017 roku.

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 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 2017 roku wynosiła  $90,9 \text{ nSv h}^{-1}$  i była niższa od obserwowanej w roku poprzednim o  $1,2 \text{ nSv h}^{-1}$  (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 - 2017 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  $89,6 \text{ nSv h}^{-1}$  w 2010 roku do  $99,1 \text{ nSv h}^{-1}$  w 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła  $94,2 \text{ nSv h}^{-1}$ .

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2017,  $\text{nSv h}^{-1}$ .

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
2014	92
2015	91,5
2016	92,1
<b>2017</b>	<b>90,9</b>
Średnia	94,2
Minimalna	89,6
Maksymalna	99,1



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2017.

## 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

Pochodzenie promieniotwórczości naturalnej jest związane z oddziaływaniem promieni kosmicznych na jądra atomów gazów w atmosferze, w wyniku czego powstają izotopy promieniotwórcze oraz z radioizotopami znajdującymi się w skorupie ziemskiej. Skały skorupy ziemskiej zawierają izotopy promieniotwórcze wchodzące w skład trzech szeregów promieniotwórczych, w ramach których zachodzą przemiany jądrowe i przekształcanie jednych atomów w inne. W wyniku przemian powstają również izotopy gazowe, które kształtują poziom radioaktywności atmosfery. Każdy rejon ma inny poziom promieniowania naturalnego wynikający właśnie z różnic geologicznych i związanej z tym różnej zawartości izotopów naturalnych w środowisku. W rejonach górzystych obserwujemy zwiększone naturalne promieniowanie gamma z racji skalnego podłoża oraz otoczenia.

Stężenie izotopów promieniotwórczych w atmosferze zależy również od warunków meteorologicznych.

W 2017 roku na 7 stacjach badawczych zostały wykonane pomiary poziomu radioaktywności w próbkach aerozoli związane z obecnością izotopów emitujących promieniowanie alfa, pochodzenia naturalnego i sztucznego, oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta.

Promieniowanie alfa są to cząstki powstające w wyniku reakcji jądrowych i składają się z dwóch protonów i dwóch neutronów, mają postać identyczną z jądrem izotopu helu i mają ładunek dodatni.

Promieniowanie beta jest to strumień elektronów (promieniowanie  $\beta^-$ ) lub pozytronów (promieniowanie  $\beta^+$ ) powstających w wyniku reakcji jądrowych.

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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

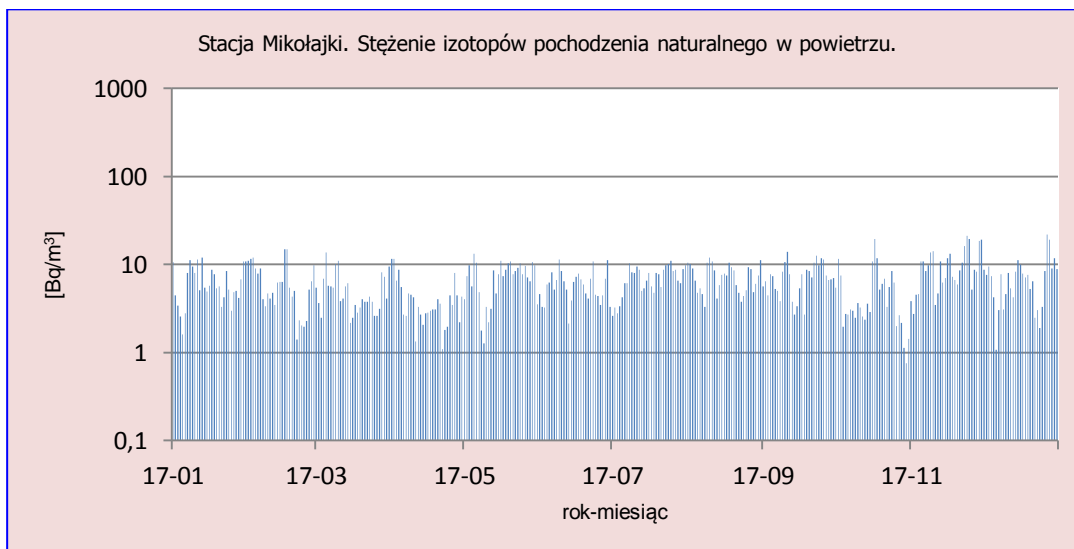
Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych w 2017 roku zmieniały się w szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością wynoszącą  $2,1 \text{ Bq m}^{-3}$  charakteryzowały się aerozole zebrane w czerwcu na stacji Świnoujście, gdzie najwyższa uzyskana wartość odnotowana dla tej miejscowości we wrześniu wynosiła  $4,2 \text{ Bq m}^{-3}$ . Najwyższe średnie miesięczne stężenie izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa ( $26,1 \text{ Bq m}^{-3}$ ) odnotowano w lutym na stacji Zakopane oraz w styczniu w Legnicy ( $12,2 \text{ Bq m}^{-3}$ ) i Lesku ( $11,8 \text{ Bq m}^{-3}$ ). Wartości średnich rocznych obliczonych na podstawie wartości dobowych, czyli średnich z 365 dni dla każdej stacji mieściły się w zakresie od  $3,5 \text{ Bq m}^{-3}$  (Świnoujście) do  $9,4 \text{ Bq m}^{-3}$  (Zakopane).

Analizując miesięczne wartości średnie obliczone na podstawie danych z 7 stacji stwierdzono, że najwyższe wartości notowane były w miesiącach zimowych: styczeń ( $9,8 \text{ Bq m}^{-3}$ ), luty ( $9,5 \text{ Bq m}^{-3}$ ) a najniższe w kwietniu ( $3,9 \text{ Bq m}^{-3}$ ) i czerwcu ( $5,0 \text{ Bq m}^{-3}$ ).

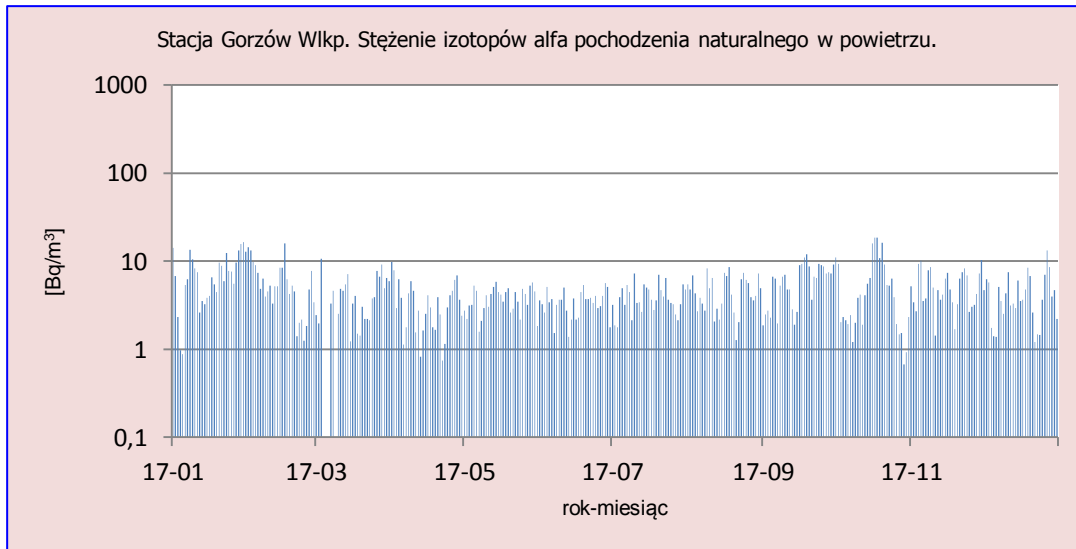


Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w 2017, Bq m<sup>-3</sup>.

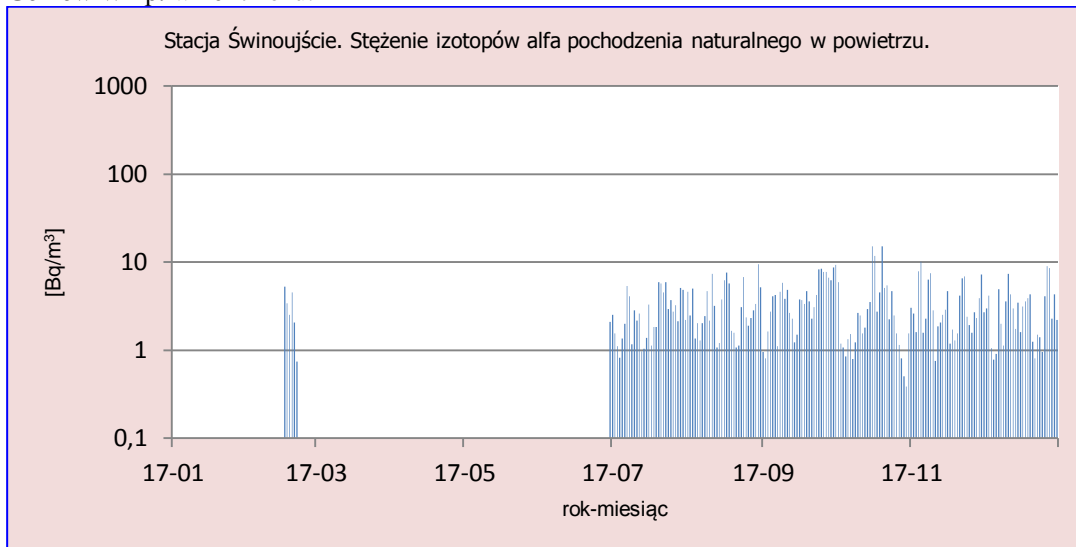
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	6,5	7,6	awaria	12,2	5,1	15,9	11,8	9,8
Luty	6,4	6,1	3,1	10,5	4,8	26,1	9,8	9,5
Marzec	5,2	4,4	awaria	6,5	3,0	6,0	4,7	5,0
Kwiecień	4,2	3,6	awaria	3,8	2,2	4,9	4,5	3,9
Maj	7,3	3,8	awaria	4,9	3,2	7,7	6,4	5,5
Czerwiec	6,0	3,5	2,1	7,5	3,4	6,3	6,3	5,0
Lipiec	7,1	4,0	2,9	8,6	4,1	8,6	7,3	6,1
Sierpień	7,4	4,7	3,5	9,2	5,8	10,6	11,4	7,5
Wrzesień	7,4	6,2	4,2	8,4	5,6	7,8	8,2	6,8
Październik	4,9	5,8	3,7	10,2	4,7	7,4	9,4	6,6
Listopad	9,9	5,3	3,5	7,8	5,9	7,8	8,9	7,0
Grudzień	7,4	4,4	3,1	6,4	4,1	4,8	5,3	5,1
<b>Min. średnia miesięczna</b>	4,2	3,5	2,1	3,8	2,2	4,8	4,5	
<b>Maks. średnia miesięczna</b>	9,9	7,6	4,2	12,2	5,9	26,1	11,8	
<b>Średnia roczna na podstawie wartości dobowych dla 2017 r.</b>	6,6	5,0	3,5	8,0	4,3	9,4	7,8	6,4



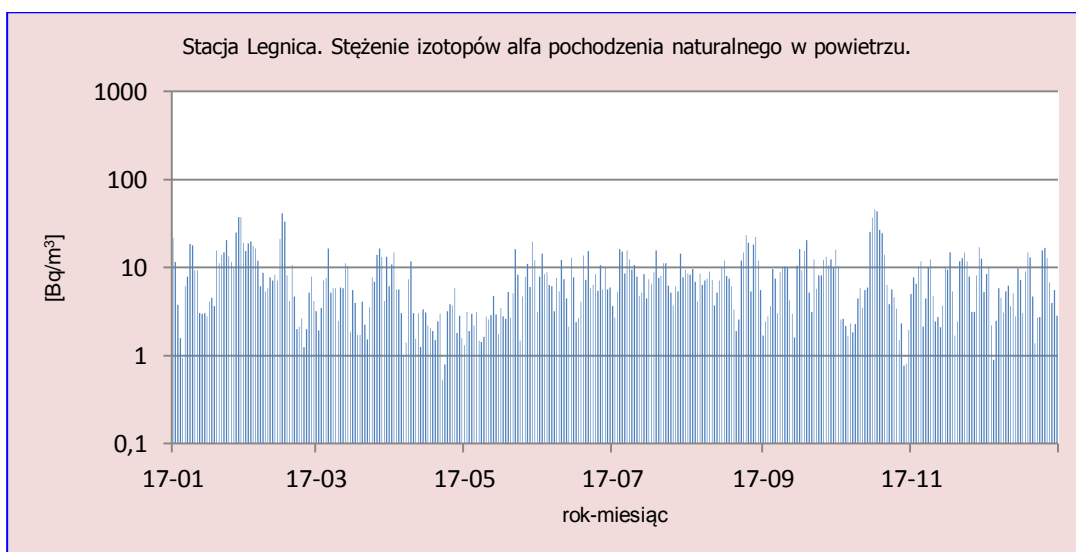
Rys.12. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2017 roku.



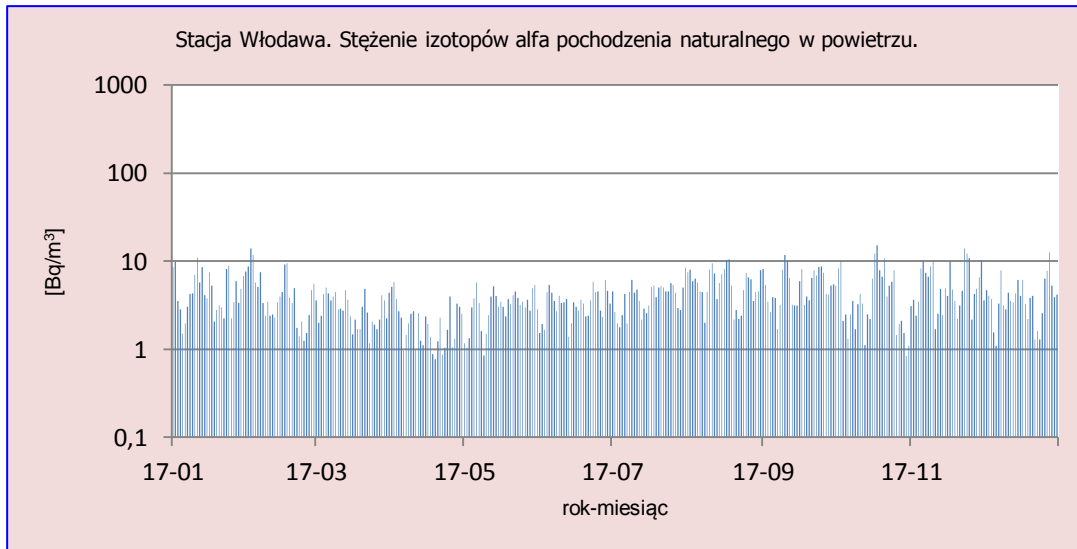
Rys.13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2017 roku.



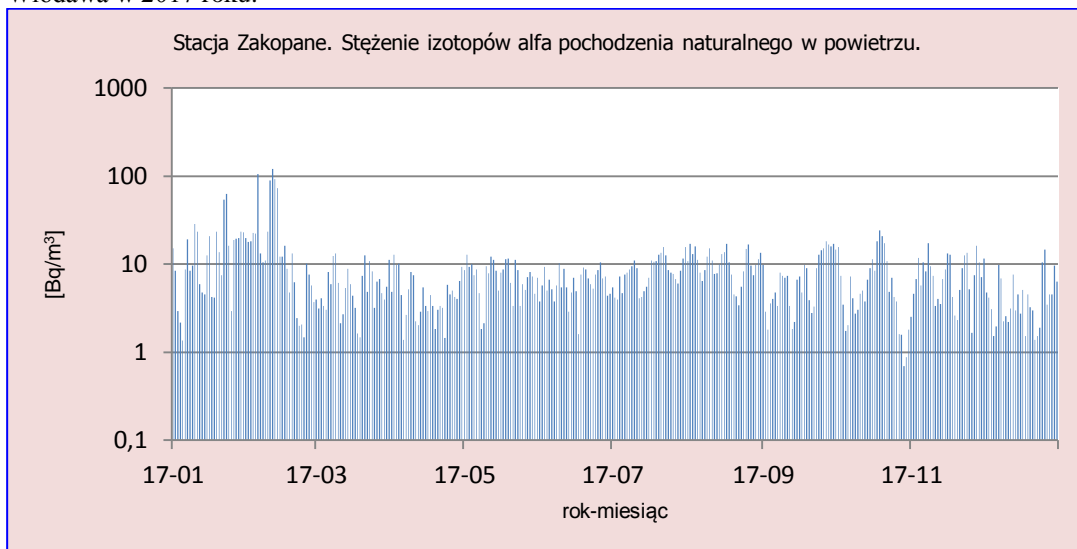
Rys.14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2017 roku.



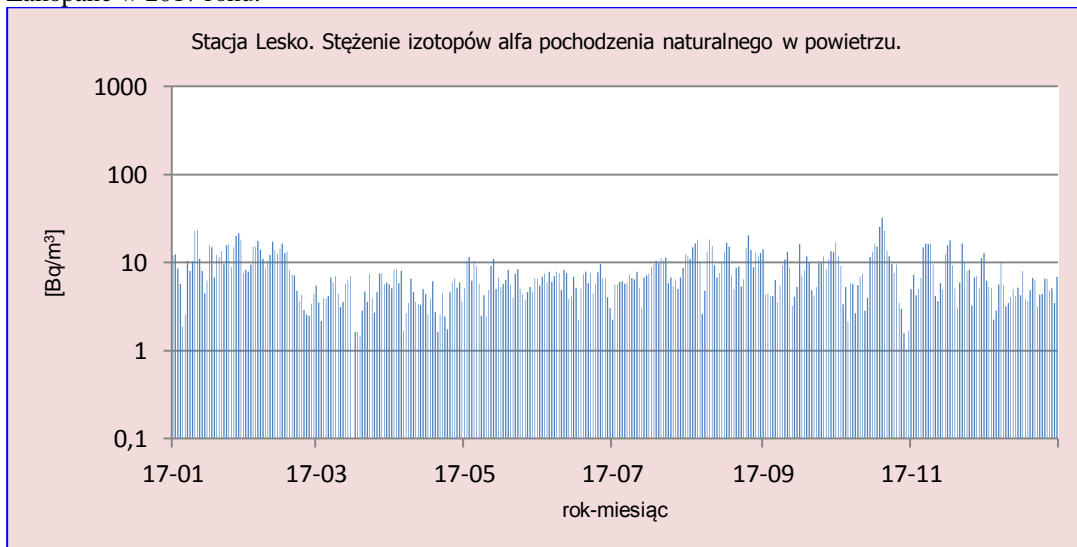
Rys.15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Legnica w 2017 roku.



Rys.16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Włodawa w 2017 roku.



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Zakopane w 2017 roku.



Rys.18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Lesko w 2017 roku.

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W roku 2017 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o  $1,3 \text{ Bq m}^{-3}$  niższe niż w roku ubiegłym i wynosiło  $6,4 \text{ Bq m}^{-3}$  (Tabela 4). Zbliżone wartości otrzymano również w latach: 2002 i 2012. W okresie ostatnich 17 lat nie obserwuje się jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie ( $4,9 \text{ Bq m}^{-3}$ ) charakteryzowało rok 2001, najwyższe natomiast ( $8,6 \text{ Bq m}^{-3}$ ) wystąpiło w 2008 roku. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2017 wynosi  $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$ . Zmienność stężeń promieniotwórczych izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach, jak wspomniano na początku rozdziału, wynika zarówno z czynników meteorologicznych, jak również z naturalnych procesów zachodzących w skorupie ziemskiej oraz oddziaływania promieniowania kosmicznego.

Tabela 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2017,  $\text{Bq m}^{-3}$ .

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	5,4
2014	7,4
2015	7,2
2016	7,7
<b>2017</b>	<b>6,4</b>
Średnia	7,0
Maksymalna	8,6
Minimalna	4,9

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

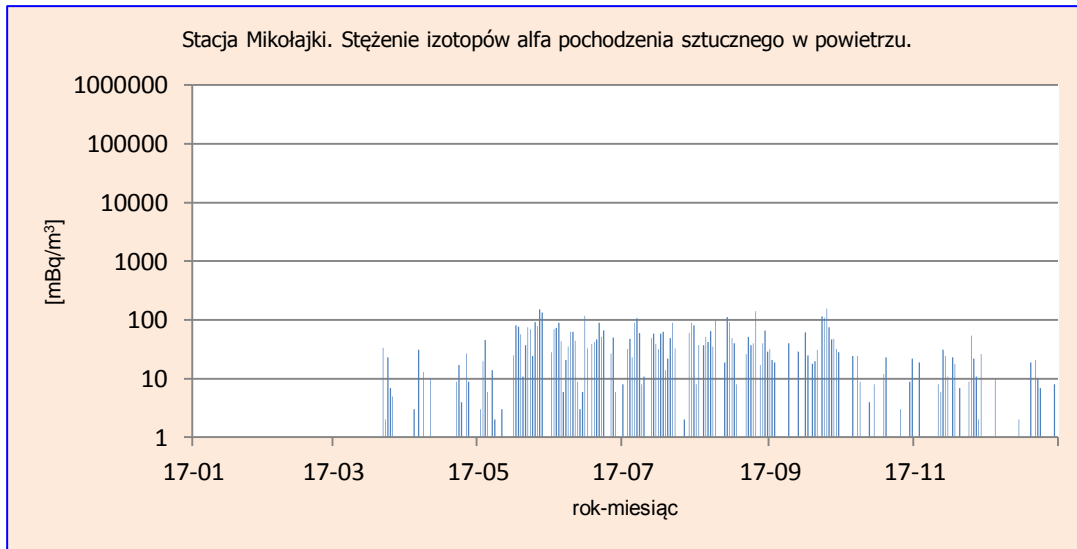
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

Stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie alfa pochodzenia antropogenicznego zmieniały się w 2017 roku w stosunkowo szerokim zakresie od 0 do 0,238 Bq m<sup>-3</sup>. Miesięczne wartości minimalne zmieniały się w przedziale od 0 Bq m<sup>-3</sup> (Mikołajki, Lesko) do 0,014 Bq m<sup>-3</sup> (Zakopane), natomiast maksymalne w przedziale od 0,018 Bq m<sup>-3</sup> (Świnoujście) do 0,238 Bq m<sup>-3</sup> (Legnica) (Tabela 5, Rys. 19-25). Maksymalna średnia miesięczna wartość wystąpiła na stacji Legnica w sierpniu i wrześniu.

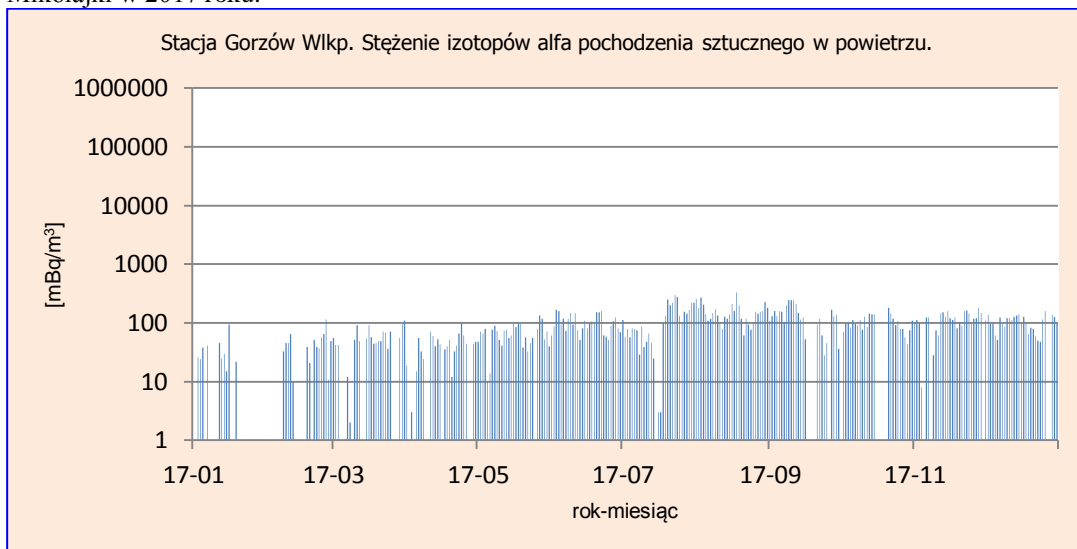
Średnia obliczona dla kolejnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniała się w szerokim zakresie od 0,008 Bq m<sup>-3</sup> (styczeń), do 0,101 Bq m<sup>-3</sup> – wartości wyznaczonej z danych w sierpniu. Średnia roczna dobową, czyli średnia ze wszystkich dni, kiedy były uzyskane pomiary obliczona dla wszystkich stacji, utrzymuje się na poziomie 0,055 Bq m<sup>-3</sup>. Biorąc pod uwagę tę wartość i wartość analogiczną wyznaczoną dla promieniowania alfa pochodzenia naturalnego, można stwierdzić, że udział promieniowania pochodzenia antropogenicznego jest bardzo niewielki i wynosi zaledwie 0,86% promieniowania pochodzenia naturalnego.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolu w 2017 roku, Bq m<sup>-3</sup>.

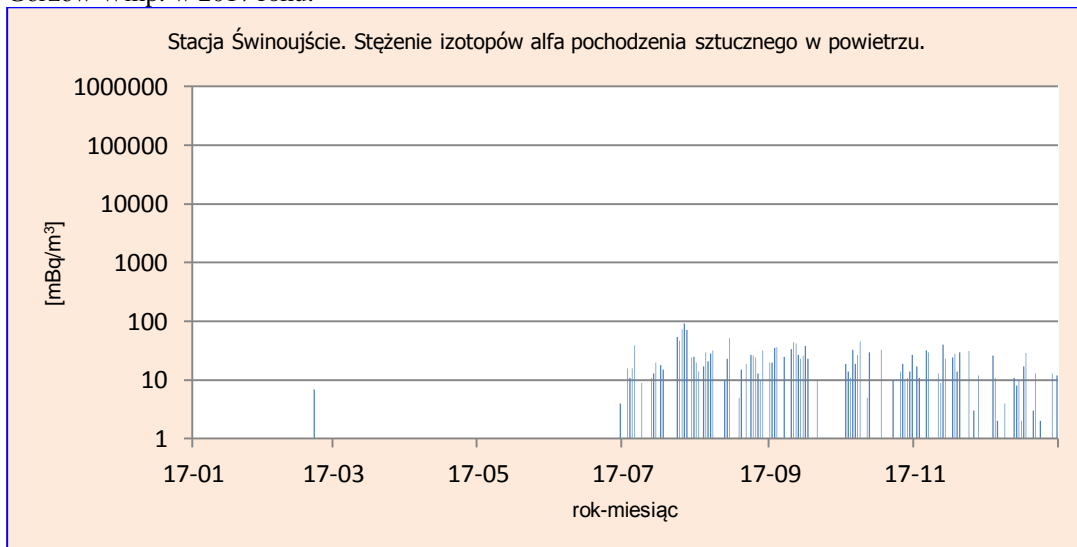
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,012	awaria	0,012	0,013	0,014	0,000	0,008
Luty	0,000	0,024	0,001	0,027	0,018	0,020	0,000	0,013
Marzec	0,002	0,045	awaria	0,051	0,036	0,060	0,004	0,033
Kwiecień	0,004	0,033	awaria	0,062	0,048	0,073	0,005	0,038
Maj	0,033	0,064	awaria	0,039	0,075	0,093	0,004	0,051
Czerwiec	0,037	0,103	0,004	0,151	0,101	0,174	0,013	0,083
Lipiec	0,036	0,114	0,018	0,214	0,109	0,170	0,011	0,096
Sierpień	0,037	0,154	0,013	0,238	0,112	0,141	0,011	0,101
Wrzesień	0,030	0,112	0,013	0,238	0,123	0,119	0,040	0,097
Październik	0,004	0,083	0,011	0,172	0,068	0,082	0,027	0,064
Listopad	0,009	0,103	0,011	0,210	0,026	0,020	0,005	0,055
Grudzień	0,003	0,096	0,005	0,067	0,019	0,014	0,006	0,030
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,000	0,012	0,001	0,012	0,013	0,014	0,000	
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	0,037	0,154	0,018	0,238	0,123	0,174	0,040	
<b>Średnia roczna na podstawie wartości dobowych dla 2017r.</b>	0,016	0,079	0,012	0,124	0,063	0,082	0,011	0,055



Rys.19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2017 roku.

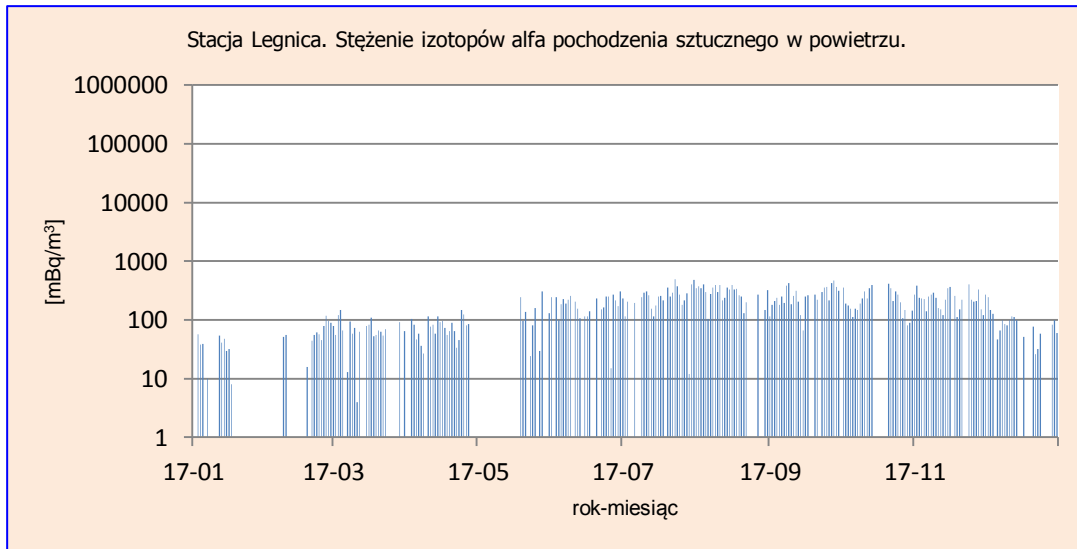


Rys.20. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2017 roku.

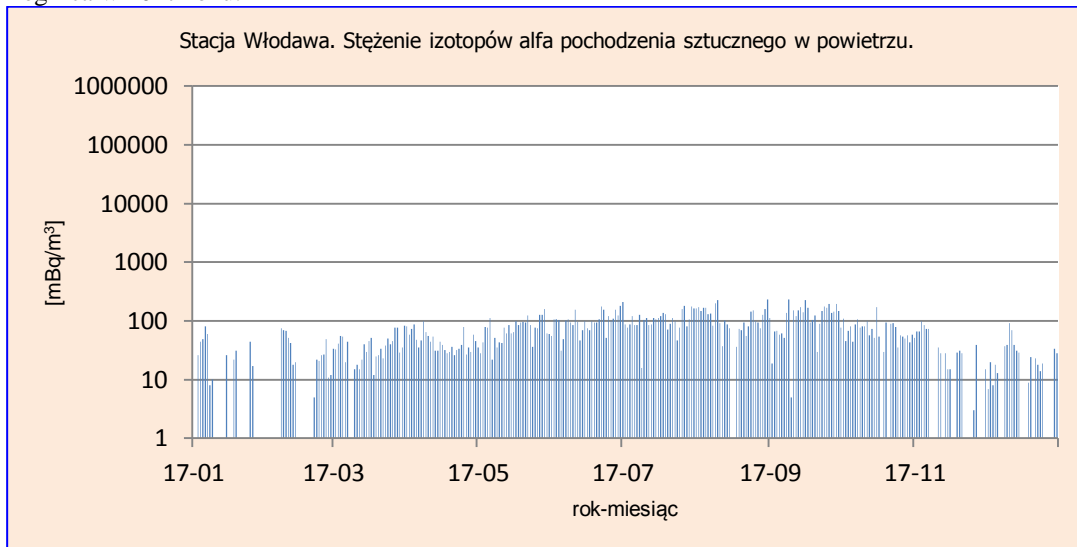


Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w roku 2017.

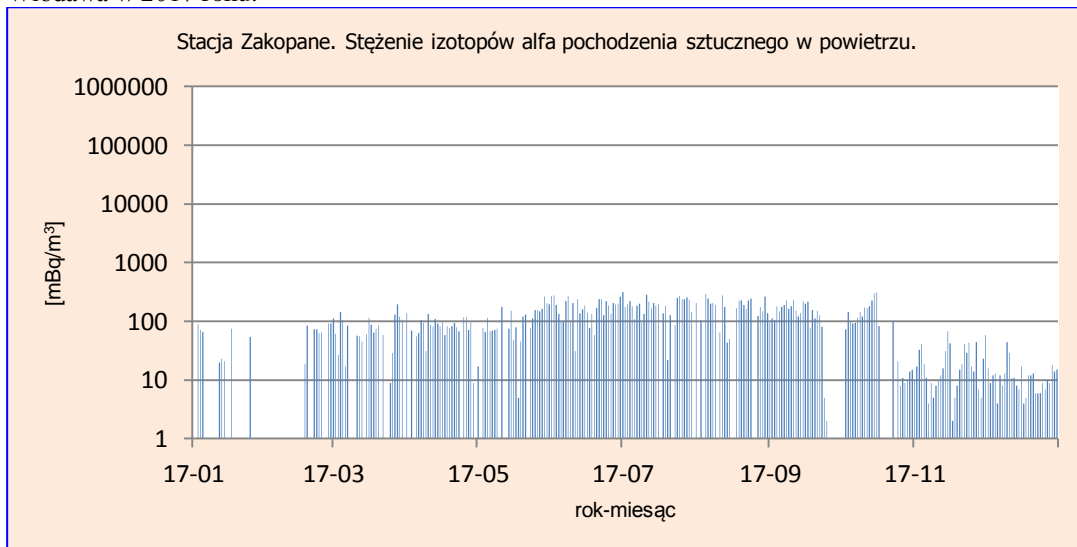




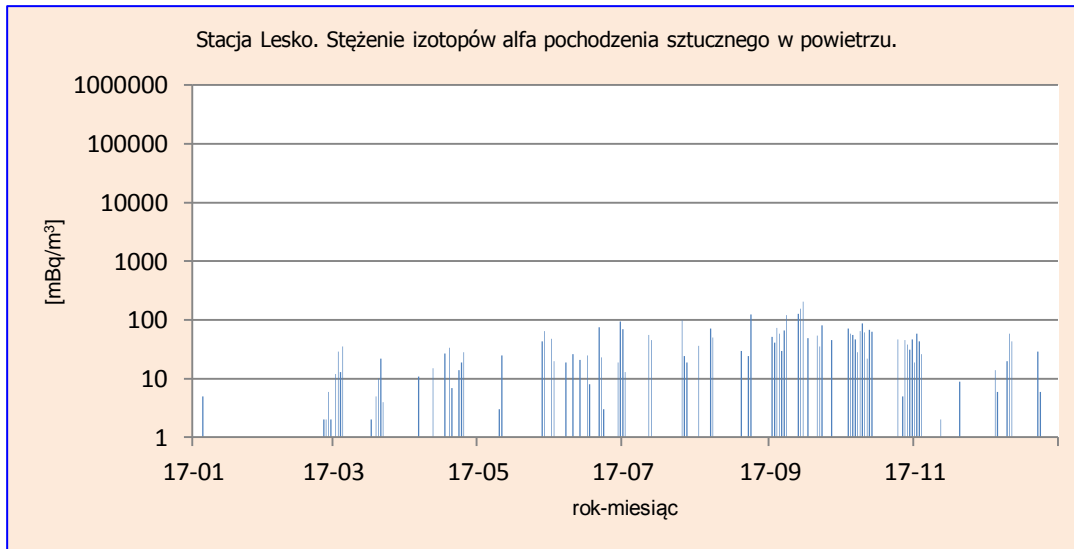
Rys.22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Legnica w 2017 roku.



Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Włodawa w 2017 roku.



Rys.24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Zakopane w 2017 roku.



Rys.25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2017 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2017 roku wyniosło  $0,055 \text{ Bq m}^{-3}$  i było prawie 15% niższe niż w roku poprzednim. Średnie stężenie wyznaczone dla okresu 2000 – 2016 wynosiło  $0,032$  (Tabela 6).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa pochodzenia sztucznego w latach 2000 – 2017,  $\text{Bq m}^{-3}$

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
2014	0,030
2015	0,074
<b>2016</b>	0,065
<b>2017</b>	<b>0,055</b>
Średnia	0,032
Maksymalna	0,074
Minimalna	0,004

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

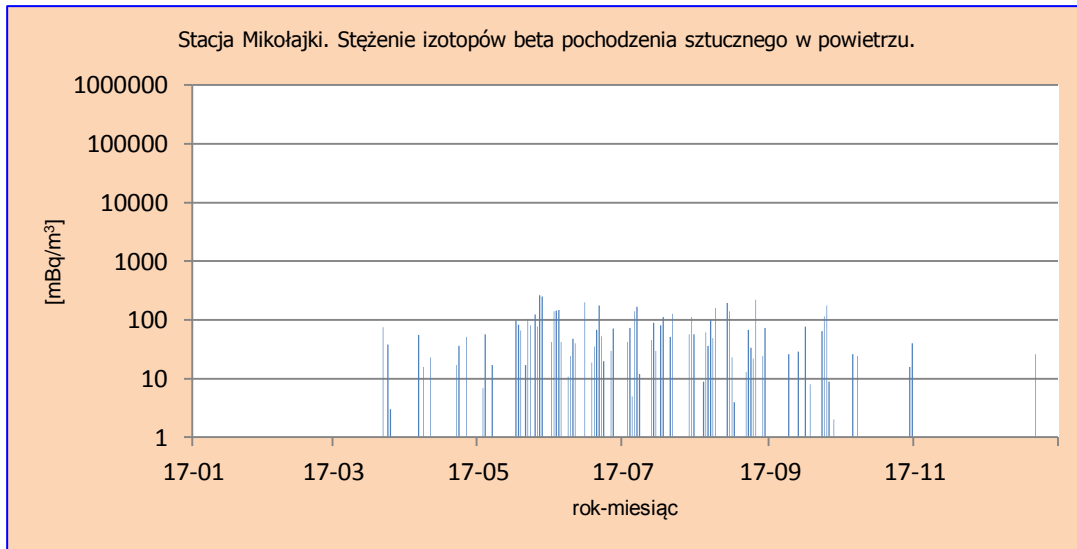
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

Średnie wartości stężeń izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta mieściły się w zakresie od 0 Bq m<sup>-3</sup> - wartości odnotowanej w styczniu i lutym na stacji Mikołajki do 0,675 Bq m<sup>-3</sup> – wartości średniej miesięcznej charakterystycznej dla Legnicy w sierpniu – (Tabela 7, Rys. 26-32).

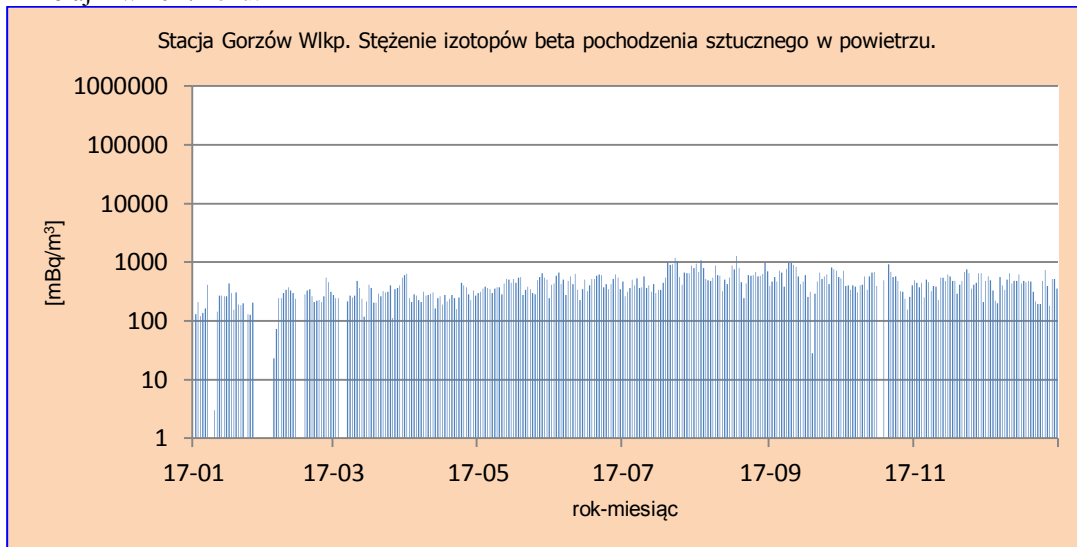
Najwyższe średnie wartości roczne obliczone na podstawie średnich uzyskanych dla wszystkich miesięcy zarejestrowano na stacjach: Gorzów Wielkopolski (0,413 Bq m<sup>-3</sup>) i Legnica (0,381 Bq m<sup>-3</sup>). Najniższą wartość zanotowano w Mikołajkach (0,016 Bq m<sup>-3</sup>) i była ona 15 razy niższa niż średnia dla całej Polski. Średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników otrzymanych na 7 stacjach pomiarowych mieściło się w zakresie od 0,061 Bq m<sup>-3</sup> (styczeń) do 0,381 Bq m<sup>-3</sup> (wrzesień). Najwyższe wartości wystąpiły w miesiącach od czerwca do września. Średnia dla tego okresu wyniosła 0,354 Bq m<sup>-3</sup> i była prawie dwukrotnie wyższa niż średnia dla pozostałych miesięcy – 0,170 Bq m<sup>-3</sup>. Taki układ sugeruje zależność aktywności beta w aerozolach od sezonu, wskazując na większe stężenia w miesiącach letnich.

Tabela 7. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach w 2017 roku, Bq m<sup>-3</sup>.

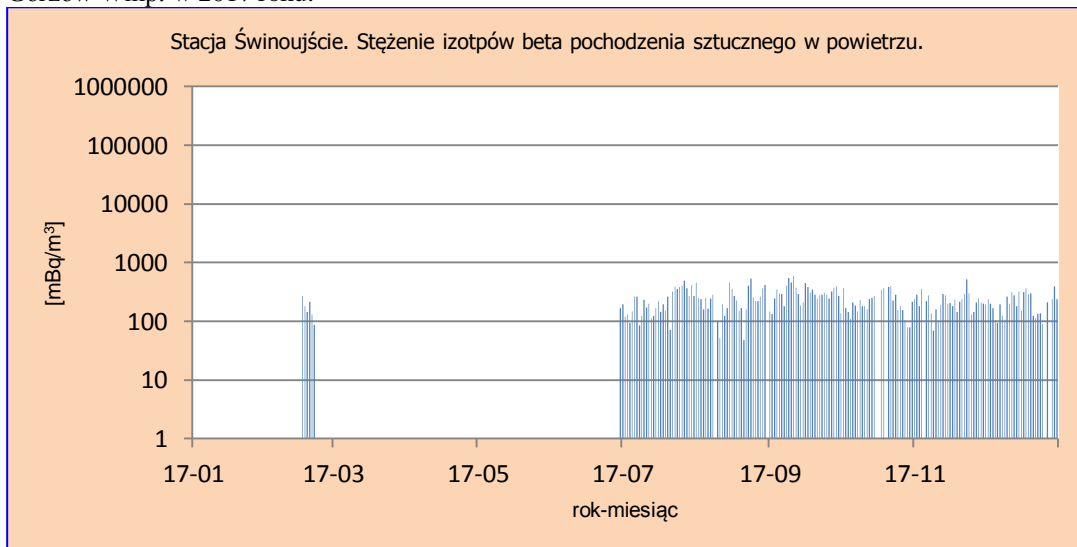
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,150	awaria	0,071	0,082	0,054	0,010	0,061
Luty	0,000	0,219	0,171	0,157	0,115	0,068	0,033	0,109
Marzec	0,004	0,309	awaria	0,219	0,177	0,193	0,046	0,158
Kwiecień	0,007	0,280	awaria	0,222	0,178	0,228	0,115	0,172
Maj	0,040	0,409	awaria	0,138	0,272	0,264	0,135	0,210
Czerwiec	0,044	0,468	0,168	0,495	0,340	0,480	0,232	0,318
Lipiec	0,039	0,561	0,231	0,627	0,380	0,472	0,180	0,356
Sierpień	0,040	0,653	0,232	0,675	0,437	0,390	0,111	0,362
Wrzesień	0,017	0,576	0,316	0,655	0,434	0,336	0,335	0,381
Październik	0,003	0,417	0,192	0,470	0,237	0,232	0,181	0,247
Listopad	0,000	0,469	0,215	0,556	0,140	0,101	0,113	0,228
Grudzień	0,001	0,427	0,197	0,282	0,151	0,069	0,124	0,179
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,000	0,150	0,168	0,071	0,082	0,054	0,010	
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	0,044	0,653	0,316	0,675	0,437	0,480	0,335	
<b>Średnia roczna na podstawie wartości dobowych dla 2017r.</b>	0,016	0,413	0,228	0,381	0,246	0,242	0,135	0,237



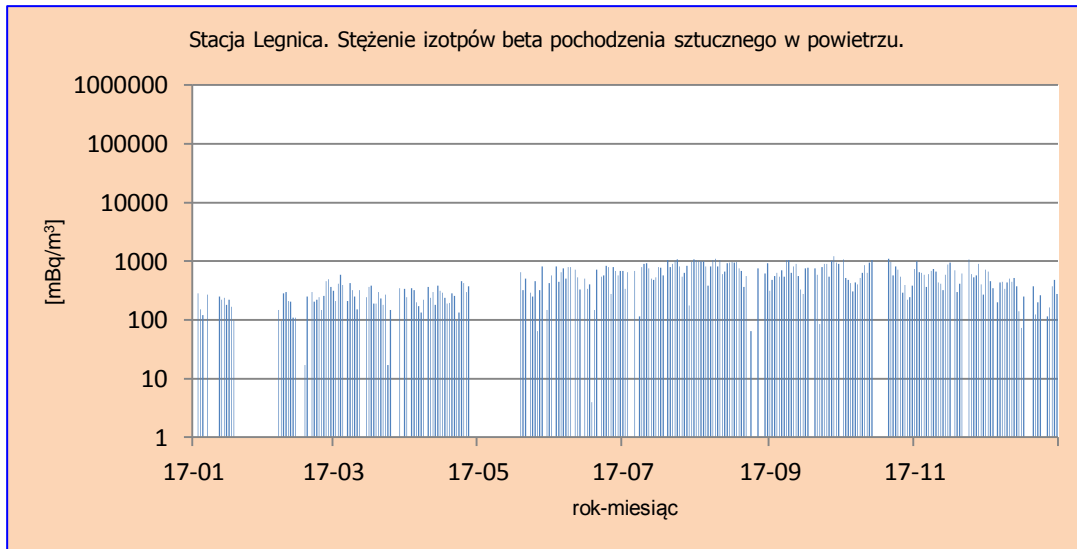
Rys.26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2017 roku.



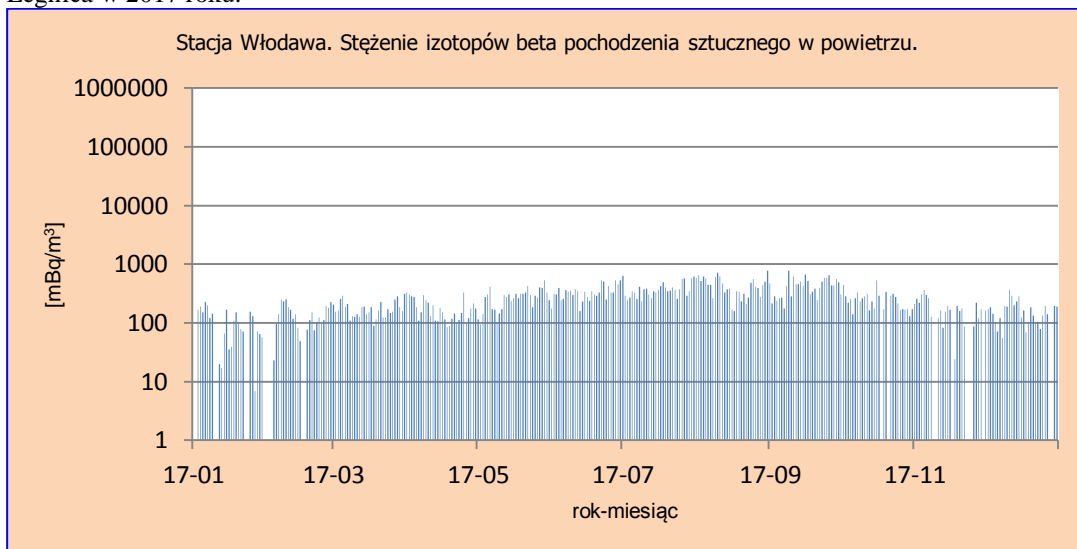
Rys.27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2017 roku.



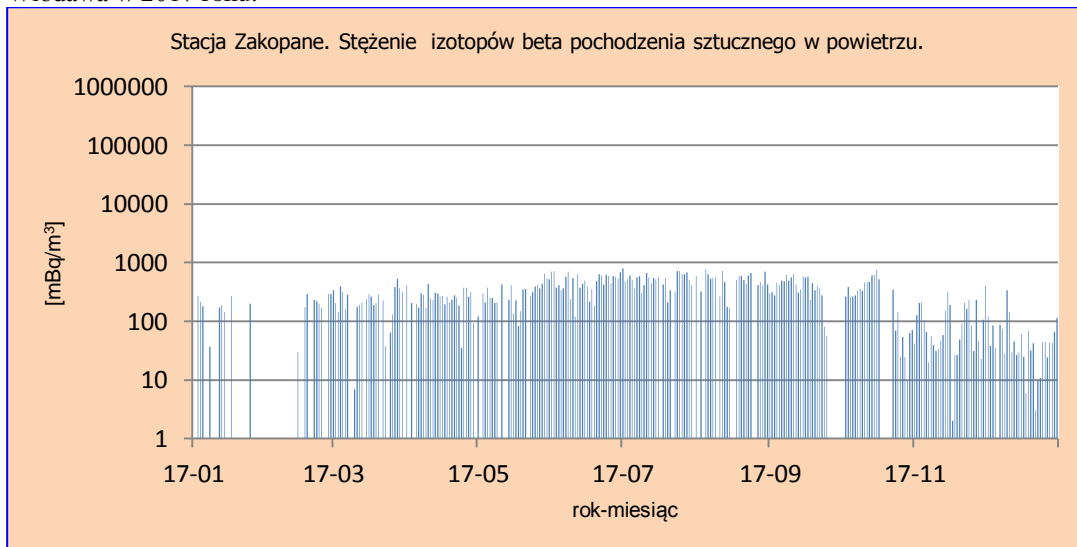
Rys.28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2017 roku.



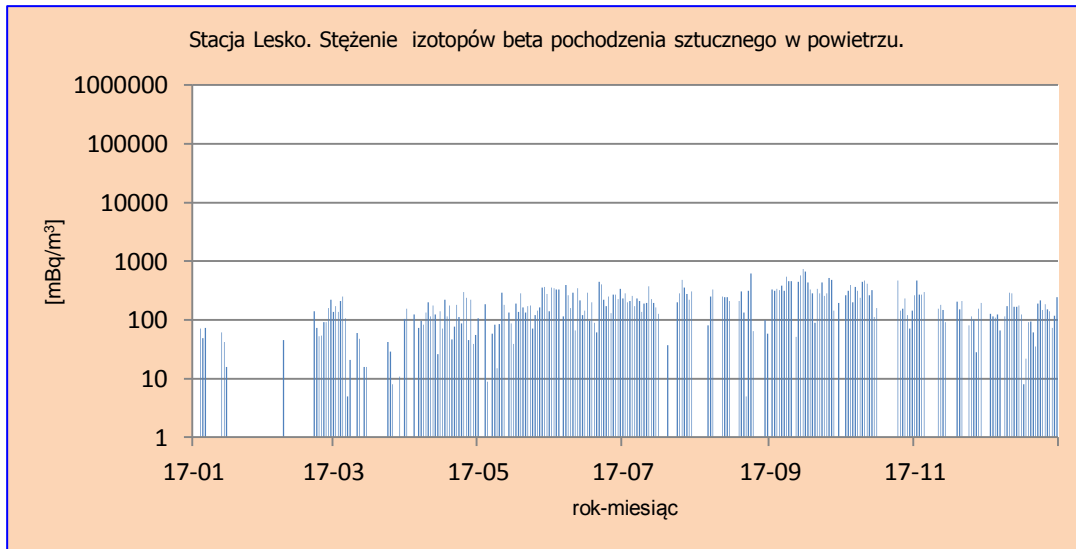
Rys.29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Legnica w 2017 roku.



Rys.30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Włodawa w 2017 roku.



Rys.31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Zakopane w 2017 roku.



Rys.32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2017 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2017 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło  $0,237 \text{ Bq m}^{-3}$  i było porównywalne z wartością z roku poprzedniego -  $0,240 \text{ Bq m}^{-3}$ . Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2017 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych w okresie badań 2000 - 2017. Wartości te są ponad czternastokrotnie wyższe niż minimalne średnie stężenie przypadające na rok 2001. Aktywności te można uznać jednak za niskie, pozostające na poziomie tła i niestanowiące zagrożenia. Średnia aktywność badanego promieniowania w aerozolu w badanym okresie wyniosła  $0,095 \text{ Bq m}^{-3}$  (Tabela 8).

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2017,  $\text{Bq m}^{-3}$

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		
2014	0,137		
2015	0,241	Średnia	0,095
2016	0,240	Maksymalna	0,241
<b>2017</b>	<b>0,237</b>	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 całkowity opad, mokry i suchy, zawierający cząstki i pyły docierający do powierzchni ziemi z atmosfery, w którym zawieszono są izotopy promieniotwórcze. Globalna aktywność beta opadu całkowitego wynika z obecności izotopów emitujących promieniowanie beta w opadzie atmosferycznym.

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

W 2017 roku maksymalne wartości dobowe zmieniały się w szerokim zakresie od 2,0 Bq m<sup>-2</sup> na stacjach Świnoujście do 40,0 Bq m<sup>-2</sup> - Warszawa (Tabela 9, Rys 33-41). Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera. Średnia suma wyznaczona na podstawie wartości dobowych dla całego roku 2017 wynosiła 330,6 Bq m<sup>-2</sup> i była nieznacznie wyższa od sumy wyznaczonej dla roku 2016 (312,2 Bq m<sup>-2</sup>). Miesięczne średnie aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w zakresie 0,2 Bq m<sup>-2</sup> (Gdynia) do 1,2 Bq m<sup>-2</sup> dla Zakopanego. Porównując średnie wartości roczne wyznaczone na podstawie danych dobowych w 2017 roku, najmniejszy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta wystąpił w Gdyni (0,2 Bq m<sup>-2</sup>) i Świnoujściu (0,4 Bq m<sup>-2</sup>), co mogło mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej. Największy dopływ izotopów promieniotwórczych beta odnotowano w Zakopanym (1,2 Bq m<sup>-2</sup>) oraz w Warszawie, Mikołajkach, Legnicy i Włodawie (1,1 Bq m<sup>-2</sup>). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie beta obliczone na podstawie danych ze wszystkich stacji w 2017 roku wynosiło 0,9 Bq m<sup>-2</sup> i było takie samo jak w 2016 roku.

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2017 roku, Bq m<sup>-2</sup>.

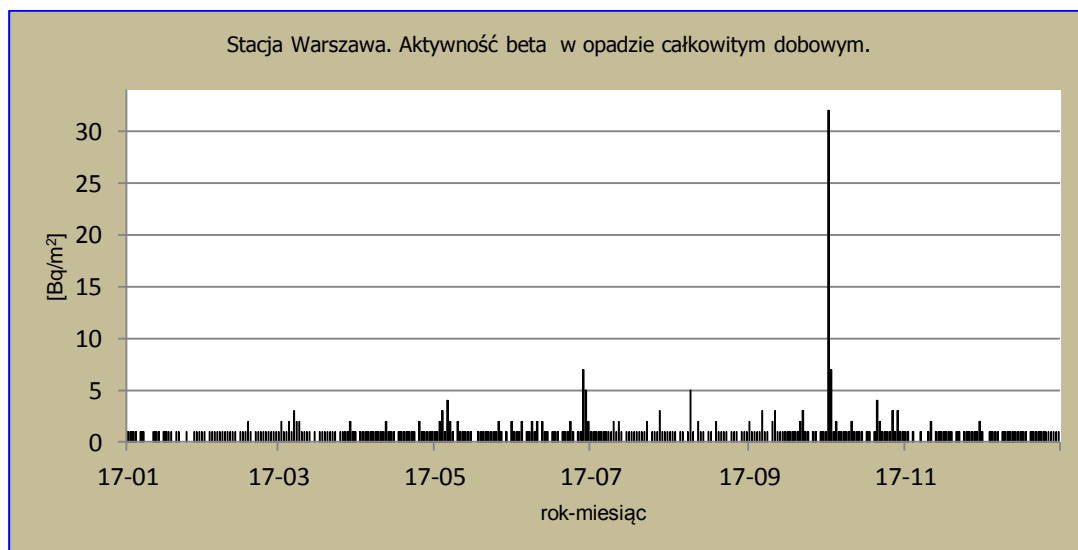
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	2,3	2,1	3,0	1,9	1,8	2,1	0,9	1,2	0,9	1,8
Luty	0,9	0,3	0,9	0,6	0,6	1,3	1,3	1,0	0,9	0,9
Marzec	1,1	0,1	0,9	0,6	0,4	1,1	0,9	1,0	0,9	0,8
Kwiecień	1,0	0,2	1,1	0,8	0,4	1,0	1,0	1,5	0,9	0,9
Maj	1,2	0,2	0,9	0,8	0,5	1,0	1,0	1,2	1,1	0,9
Czerwiec	1,4	0,3	1,2	1,0	0,5	1,2	0,9	1,4	0,9	1,0
Lipiec	1,1	0,4	1,2	1,0	0,5	1,2	1,2	1,4	1,0	1,0
Sierpień	1,0	0,4	1,2	1,0	0,3	1,4	1,0	1,4	1,2	1,0
Wrzesień	1,2	0,2	1,4	0,6	0,4	1,3	1,0	1,3	1,1	1,0
Październik	2,5	0,3	1,6	1,5	0,5	1,0	2,2	1,2	1,0	1,3
Listopad	0,8	0,3	1,0	0,5	0,3	1,2	0,9	1,0	0,9	0,8
Grudzień	0,9	0,1	0,9	0,6	0,5	1,3	0,8	1,4	1,0	0,8
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	2,5	2,1	3,0	1,9	1,8	2,1	2,2	1,5	1,2	2,0
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,8	0,1	0,9	0,5	0,3	1,0	0,8	1,0	0,9	0,7
<b>Maksymalna wartość dobową</b>	32	3	14	25	2	9	40	6	3	14,9
<b>Minimalna wartość dobową</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
<b>Średnia wartość roczna</b>	1,1	0,2	1,1	0,8	0,4	1,1	1,1	1,2	1,0	0,9
<b>Suma roczna na podstawie danych. dob.</b>	<b>330,6</b>									

## Podwyższone wartości aktywności beta w dobowych próbkach opadu atmosferycznego

Zdecydowanie podwyższone pojedyncze wartości stężeń izotopów emitujących promieniowanie beta w dobowych próbkach opadu całkowitego, które zmierzono na kilku stacjach w październiku miały związek z uwolnieniami, do jakich doszło w zakładach atomowych Majak zlokalizowanych 120 kilometrów na południe od Jekaterynburga i 70 kilometrów na północny zachód od Czelabińska, na terenie Federacji Rosyjskiej. W pierwszych dniach października podczas rutynowych pomiarów próbek dobowych opadu atmosferycznego zanotowano bardzo wysokie wartości aktywności beta (Tabela 9a, Rys 33-41). Uzyskane wyniki były kilkadziesiąt razy wyższe niż występujące standardowo, w niektórych przypadkach osiągnęły wartości od 14 do 40 Bq m<sup>-2</sup> i nie można było ich wytłumaczyć opadami, które wystąpiły w okresie od 1 do 3 października. Próbkę dobową o najwyższej aktywności zostały dodatkowo zmierzone za pomocą spektrometrii gamma. Pomiary wykazały obecność w próbkach izotopu rutenu-106, który został zidentyfikowany po raz pierwszy w całym okresie prowadzenia pomiarów. Izotop ten był zidentyfikowany również przez inne instytucje prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych w Polsce (np. CLOR). Źródło emisji rutenu, którego obecność zidentyfikowano również w innych krajach europejskich przez pewien czas pozostawało nieznanne. W połowie października Francuski Państwowy Instytut Bezpieczeństwa Radiologicznego - IRSN ogłosił, iż w ostatnim tygodniu września doszło do wypadku w instalacji nuklearnej w Rosji lub Kazachstanie, po czym Rosyjska Federalna Służba ds. Hydrometeorologii i Monitoringu Środowiska Naturalnego (ROSIDROGMMET) poinformowała o silnym skażeniu okolic Czelabińska, w sąsiedztwie zakładów atomowych „Majak”. Szczegółowe wyniki pomiarów spektrometrycznych próbek całkowitego opadu dobowego i miesięcznego zostały omówione w rozdziale 3.7. Należy jednak podkreślić, że punktowy wzrost aktywności beta w opadzie atmosferycznym nie wpłynął na wzrost wartości średnich charakterystycznych dla całego roku.

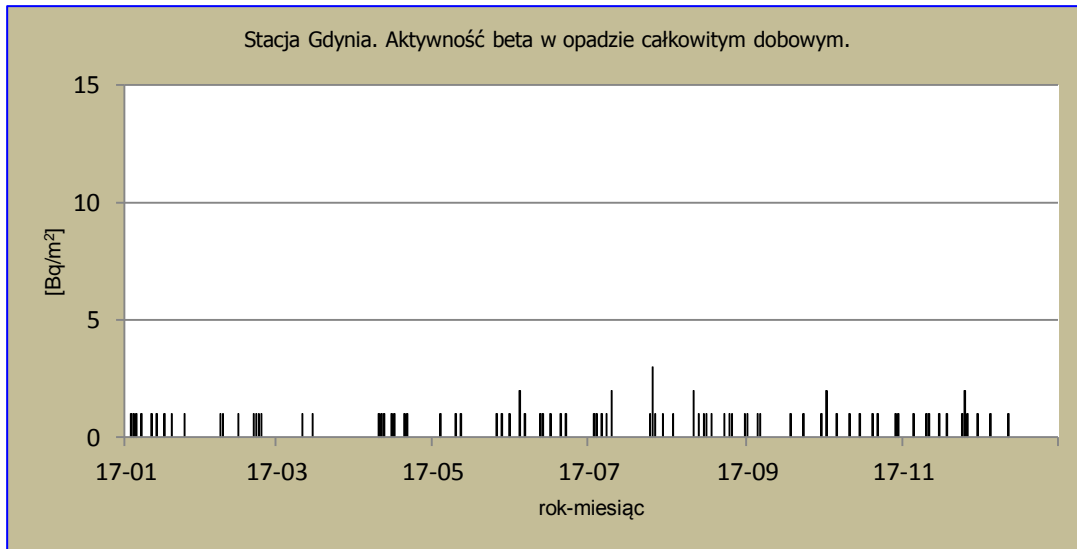
Tabela 9a. Podwyższone stężenia (aktywności) izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2017 roku, Bq m<sup>-2</sup>.

Stacja	Próbka z dnia (wystawiona danego dnia o godz. 6.00 UTC do godz. 6.00 UTC kolejnego dnia)	(Aktywność) Stężenie izotopów beta pomiar [Bq m <sup>-2</sup> ]	Opad deszczu [mm]
Poznań	2017-10-01	25	brak
Warszawa	2017-10-02	32	6,6
Warszawa	2017-10-03	7	5,0
Mikołajki	2017-10-02	14	9,8
Włodawa	2017-10-03	40	14,6

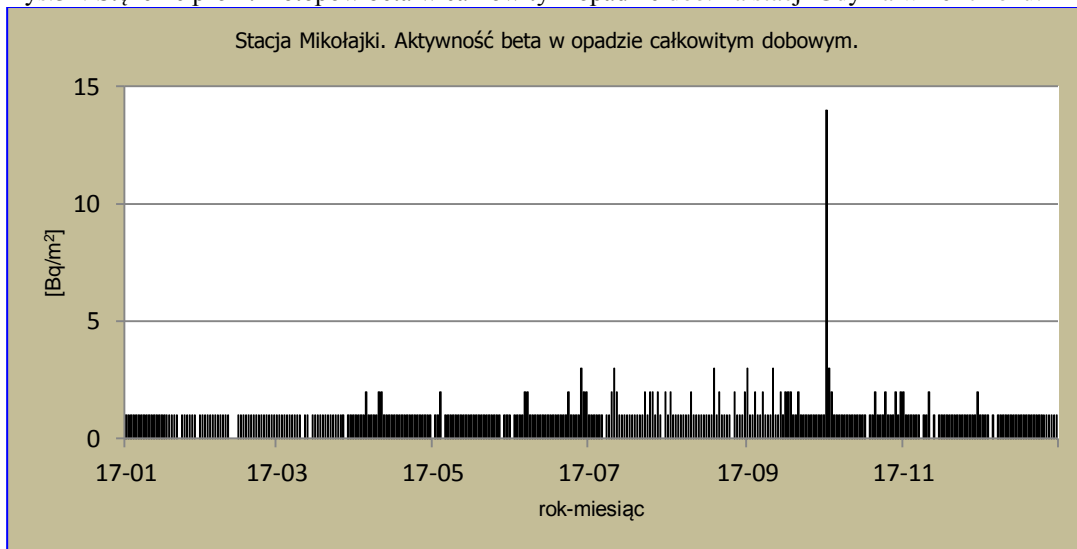


Rys.33.

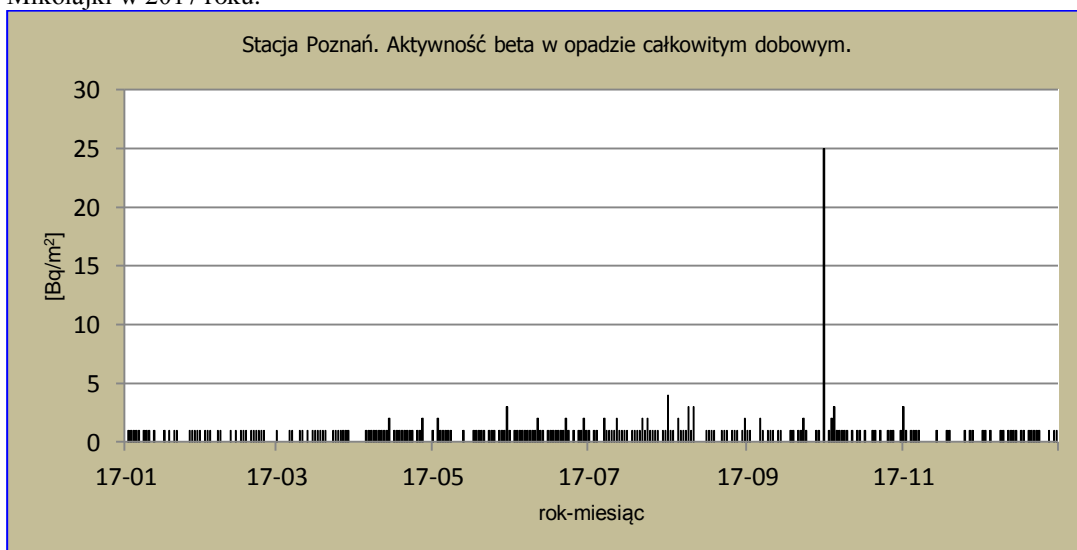
Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Warszawa w 2017 roku.



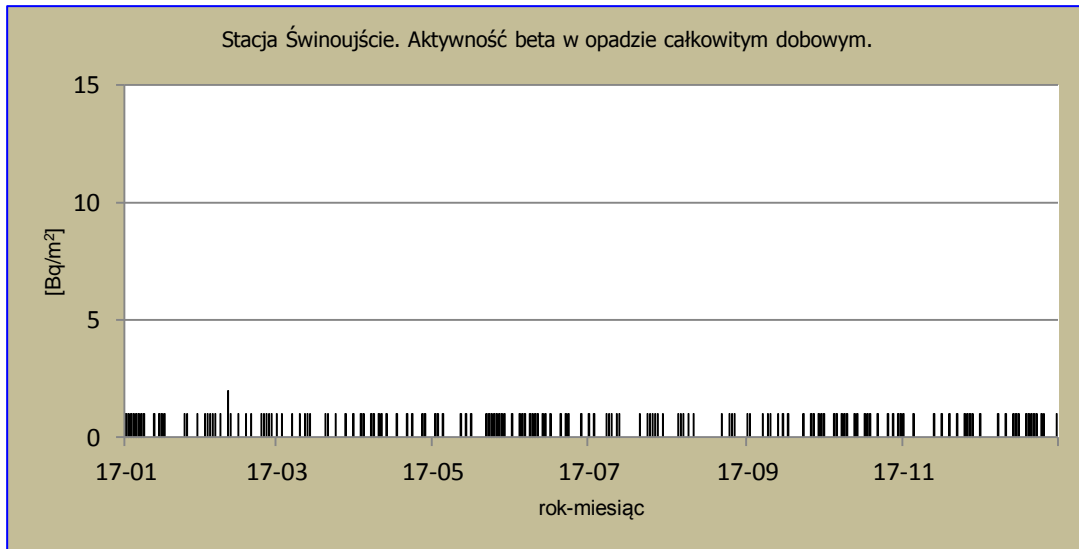
Rys.34. Stężenie prom. izotopów beta w całkowitym opadzie dob. na stacji Gdynia w 2017 roku.



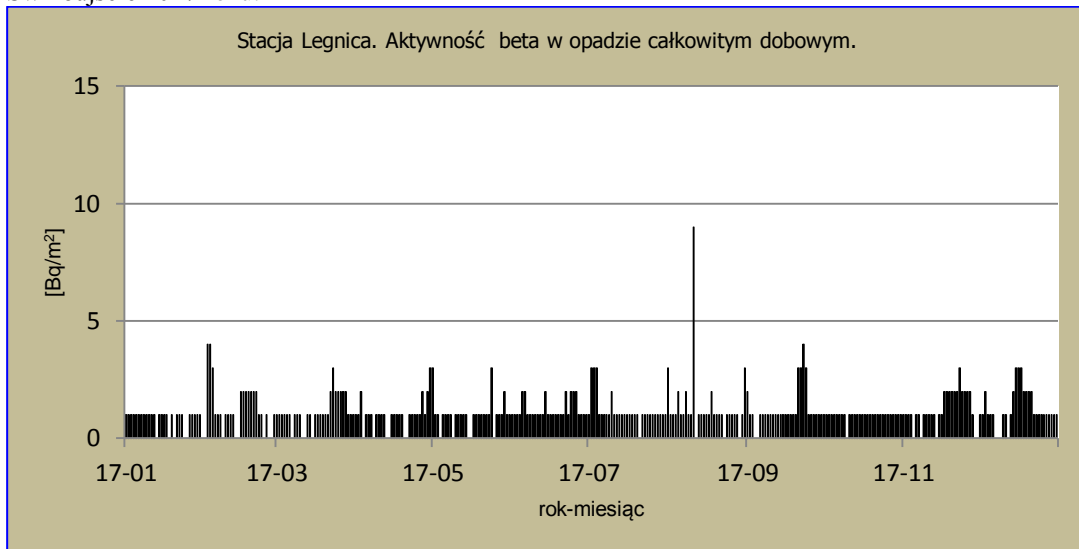
Rys.35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Mikołajki w 2017 roku.



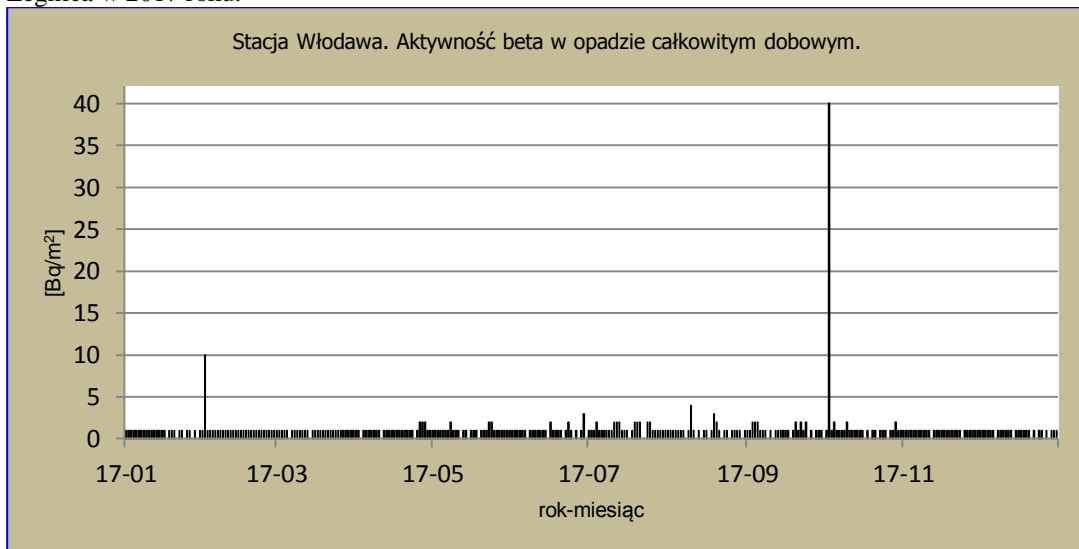
Rys.36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Poznań w 2017 roku.



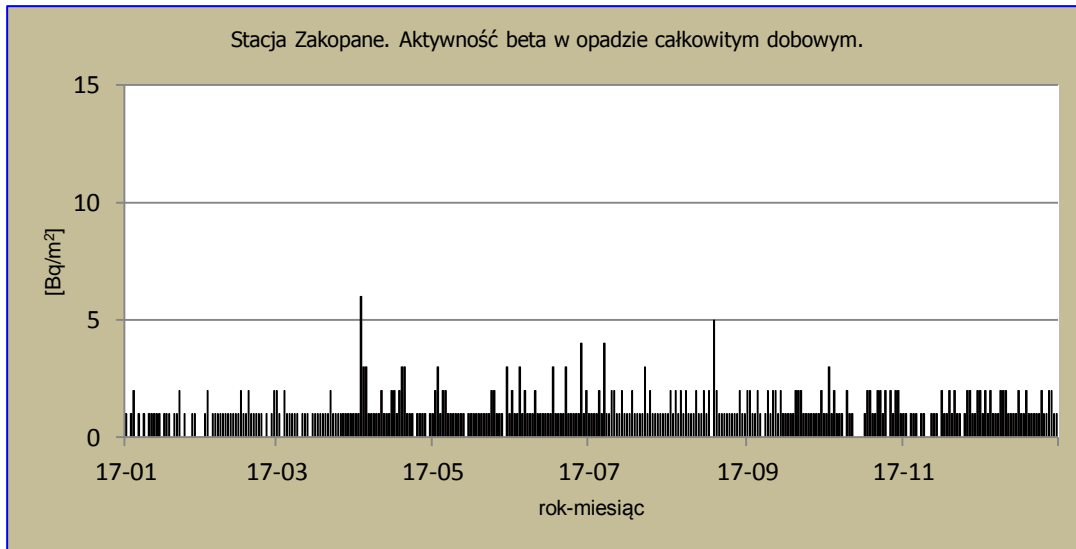
Rys.37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Świnoujście 2017 roku.



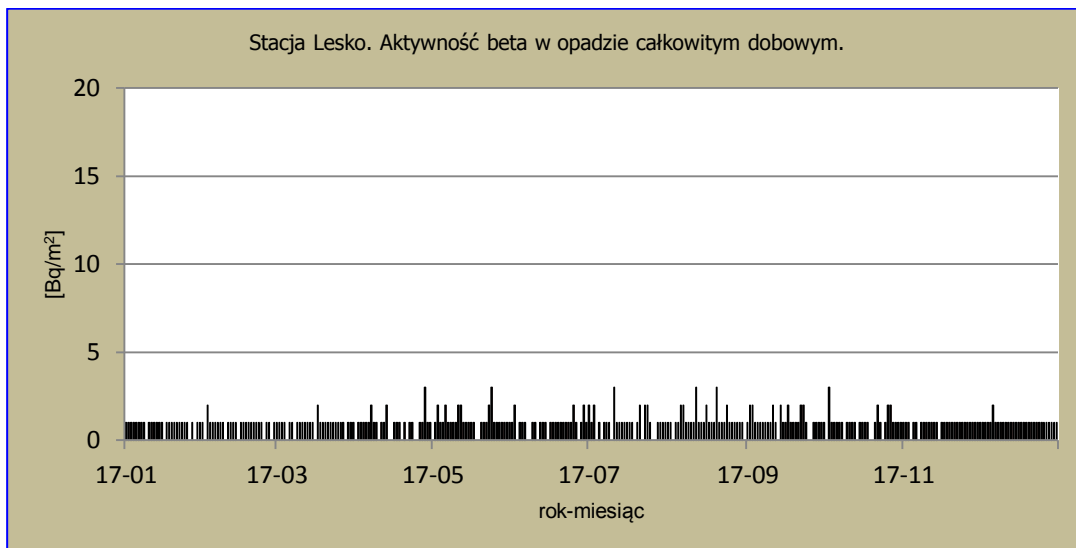
Rys.38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Legnica w 2017 roku.



Rys.39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Włodawa w 2017 roku.



Rys.40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Zakopane w 2017 roku.



Rys.41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Lesko w 2017 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Aktywność beta w całkowitym opadzie dobowym dla całego obszaru Polski, obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2017 roku ( $0,33 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ ) była taka sama jak w latach 2000 i 2009 - 2011. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2017 utrzymuje się na poziomie  $0,32 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  (Tabela 10).

Tabela 10. Średnia sumaryczna aktywność beta całkowitego opadu dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2017, kBq m<sup>-2</sup>rok<sup>-1</sup>

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
2014	0,32
2015	0,31
2016	0,31
<b>2017</b>	<b>0,33</b>
Średnia	0,32
Maksymalna	0,34
Minimalna	0,30

### 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej

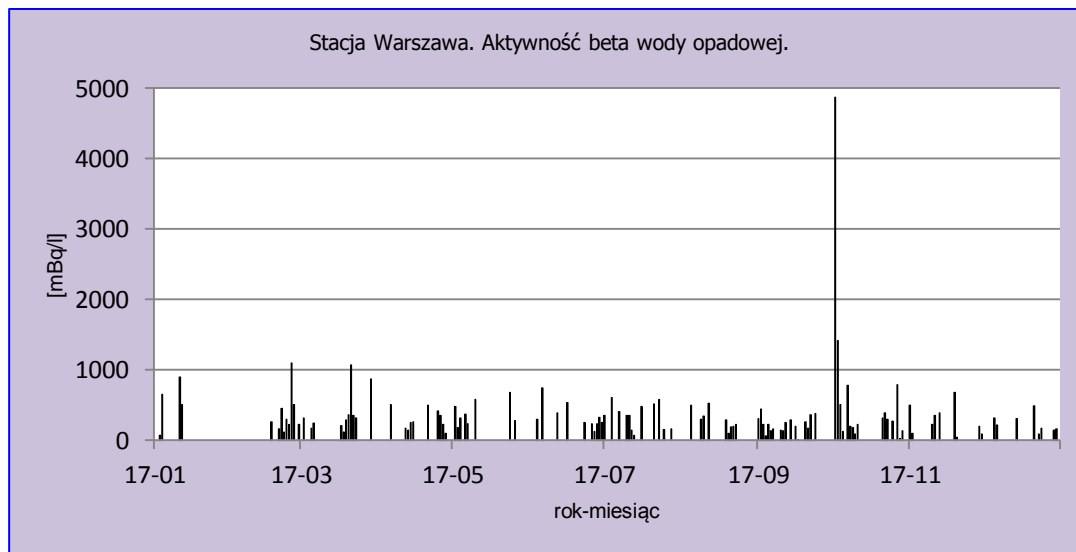
Globalną aktywność beta wody opadowej określa się jako aktywność izotopów emitujących promieniowanie beta w całkowitym opadzie dobowym odniesioną do objętości wody opadowej. Globalna aktywność beta wody opadowej obliczana jest na podstawie aktywności beta dobowych próbek opadu całkowitego tylko wtedy,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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

W 2017 roku maksymalna wartość dobowej aktywności beta wody opadowej wahała się w przedziale od 646 mBq l<sup>-1</sup> (Gdynia) do 4874 mBq l<sup>-1</sup> (Warszawa) (Tabela 11, Rys. 42-50). Minimalne dobowe wartości zmieniały się w zakresie od 1 mBq l<sup>-1</sup> w Gdyni i Świnoujściu do 62 mBq l<sup>-1</sup> w Legnicy. Średnia roczna aktywność beta wody opadowej wahała się od 117,8 mBq l<sup>-1</sup> w Gdyni do 428,1 mBq l<sup>-1</sup> w Legnicy. Średnia miesięczna aktywność wody opadowej była najwyższa w lutym 407 mBq l<sup>-1</sup> a najniższa w styczniu – 20 mBq l<sup>-1</sup>.

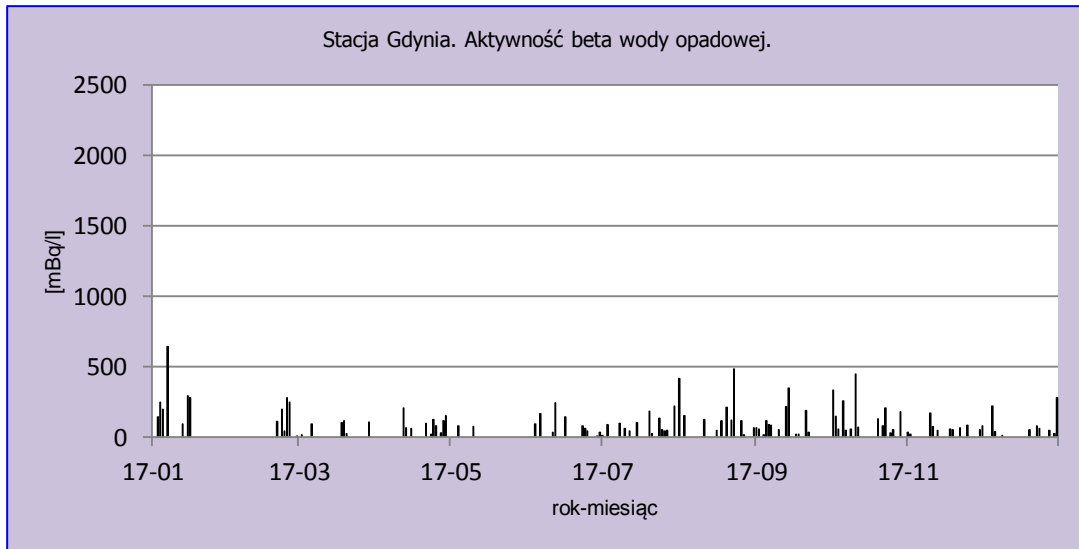
Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2017 roku, mBq l<sup>-1</sup>.

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	15,6	10,7	21,2	13,7	7,5	16,1	29,5	36,8	31,7	20
Luty	372,8	149,2	351,4	252,5	292,5	783,0	236,3	733,7	494,3	407
Marzec	394,6	78,7	422,9	271,7	71,9	346,0	371,5	313,2	268,5	282
Kwiecień	294,7	96,9	341,3	416,1	210,2	386,3	471,8	315,5	437,4	330
Maj	390,9	79,0	668,5	303,3	129,1	456,6	517,9	397,1	296,9	360
Czerwiec	341,7	92,0	329,2	292,2	129,7	433,9	393,6	296,4	366,4	297
Lipiec	350,0	87,7	385,0	203,3	165,6	362,3	343,9	324,3	190,3	268
Sierpień	297,2	171,3	337,1	255,8	112,5	285,2	327,8	282,9	332,2	267
Wrzesień	221,9	103,1	421,1	408,7	248,7	309,0	313,8	243,4	317,1	287
Październik	666,3	133,3	436,9	166,1	82,9	309,6	490,3	333,3	404,5	336
Listopad	288,0	68,3	387,8	280,3	112,0	582,8	344,6	365,2	347,3	308
Grudzień	239,9	91,7	380,8	341,8	172,5	550,7	326,8	502,2	279,6	321
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	666,3	171,3	668,5	416,1	292,5	783,0	517,9	733,7	494,3	407
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	15,6	10,7	21,2	13,7	7,5	16,1	29,5	36,8	31,7	20
<b>Maksymalna wartość dobową</b>	4874,0	646,0	1623,0	1667,0	920,0	2211,0	2728,0	2044,0	1296,0	2001
<b>Minimalna wartość dobową</b>	13	1	50	31	1	62	10	39	49	28
<b>Średnia roczna</b>	367,0	117,8	402,3	282,6	169,1	428,1	376,1	361,9	337,4	<b>316</b>

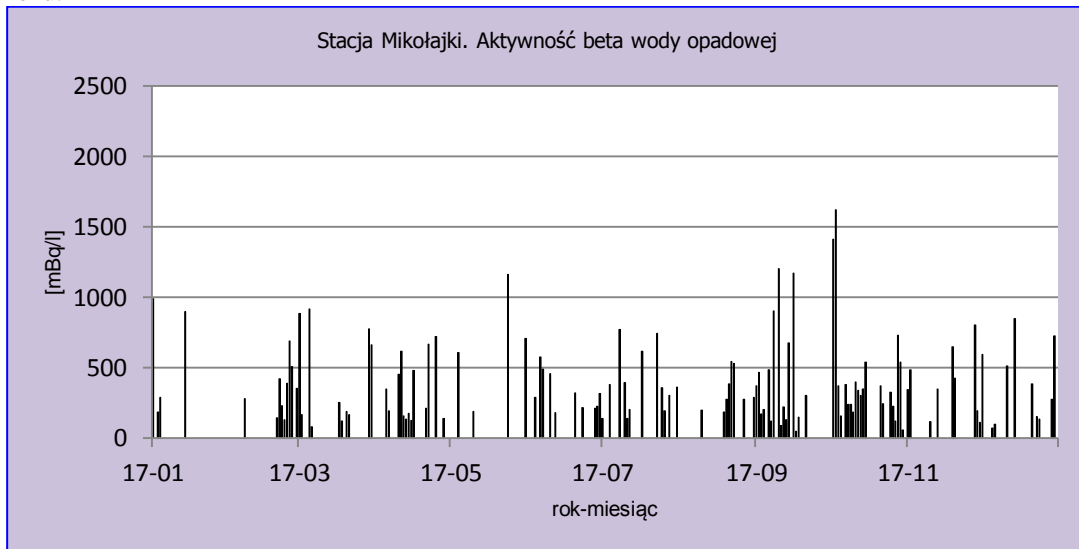


Rys.42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2017 roku.

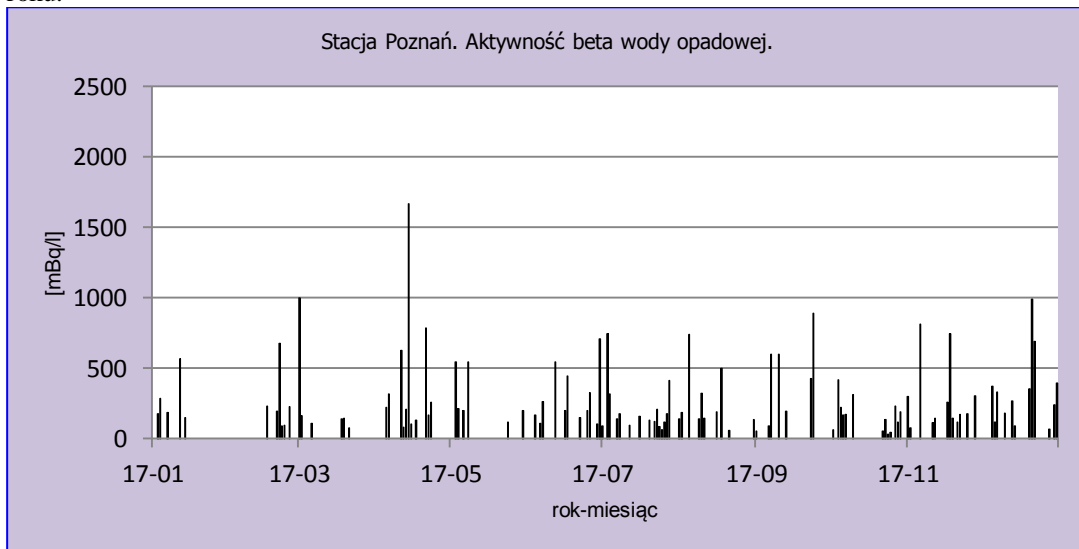




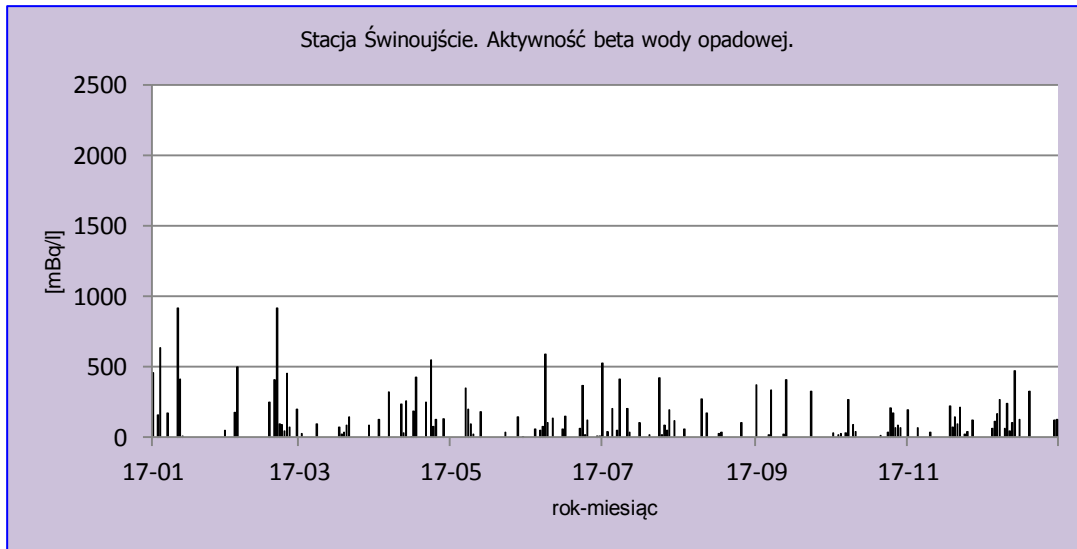
Rys.43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2017 roku.



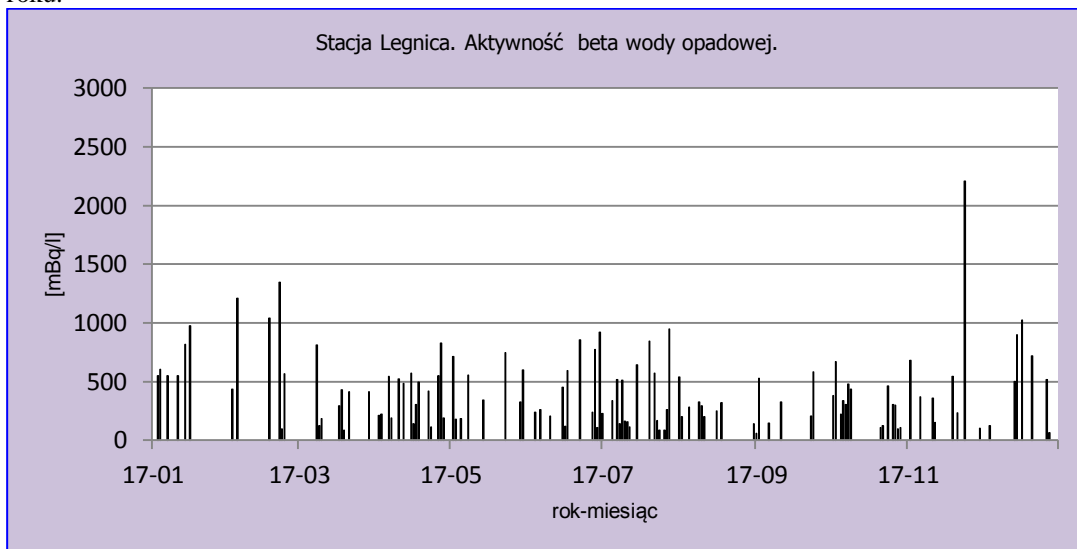
Rys.44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2017 roku.



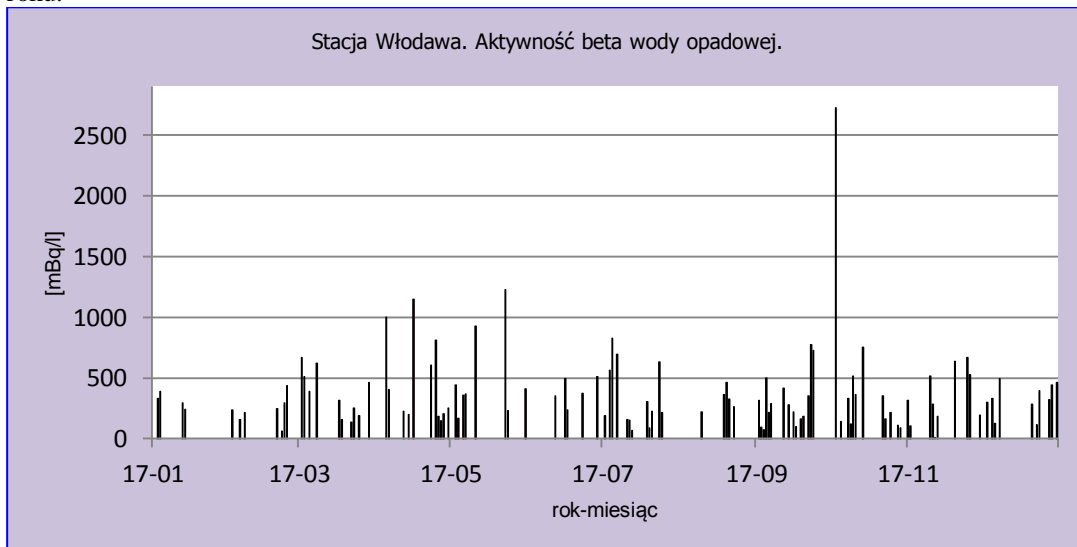
Rys.45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2017 roku.



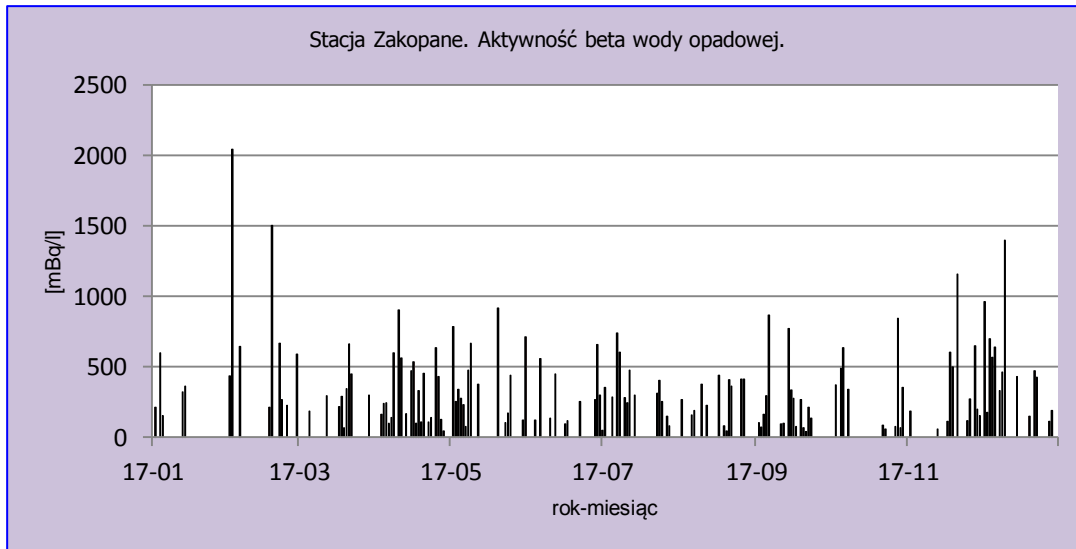
Rys.46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2017 roku.



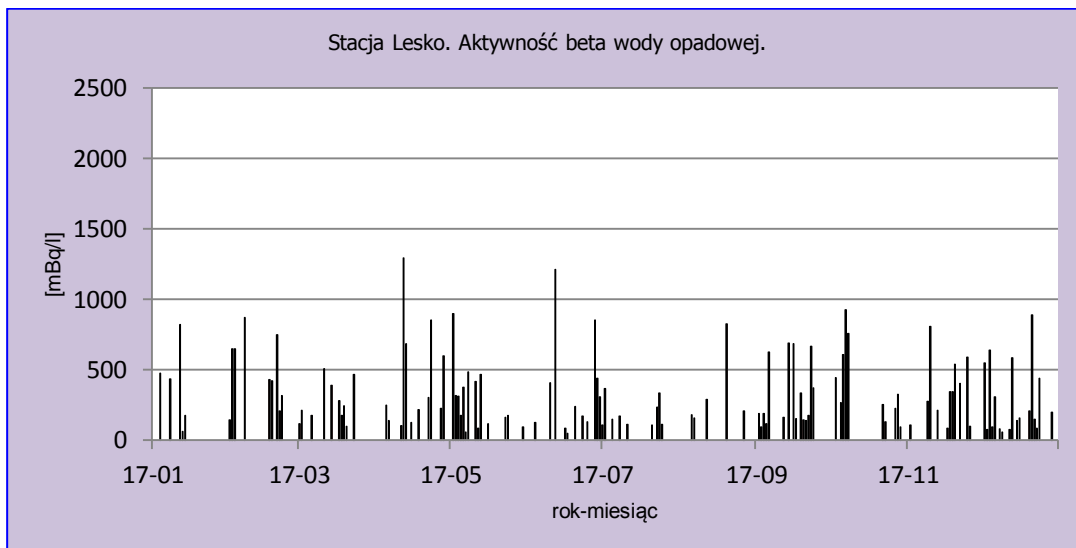
Rys.47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2017 roku.



Rys.48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2017 roku.



Rys.49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2017 roku.



Rys.50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2017 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej w 2017 roku wyniosła  $316 \text{ mBq l}^{-1}$  (Tabela 12). Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie od 2000 do 2017, przypada na rok 2003 i wynosi  $376 \text{ mBq l}^{-1}$ , minimalna wartość charakteryzuje rok 2014 –  $311 \text{ mBq l}^{-1}$ . Średnia aktywność beta wody opadowej w latach 2000 - 2017 wynosi  $343 \text{ mBq l}^{-1}$ .

Tabela 12. Średnie aktywności beta wody opadowej w latach 2000 – 2017, mBq l<sup>-1</sup>.

Rok	Aktywność beta (mBq/l)
2000	352
2001	371
2002	348
2003	376
2004	374
2005	358
2006	346
2007	333
2008	338
2009	345
2010	328
2011	352
2012	342
2013	315
2014	311
2015	350
2016	324
<b>2017</b>	<b>316</b>
Średnia	343
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.

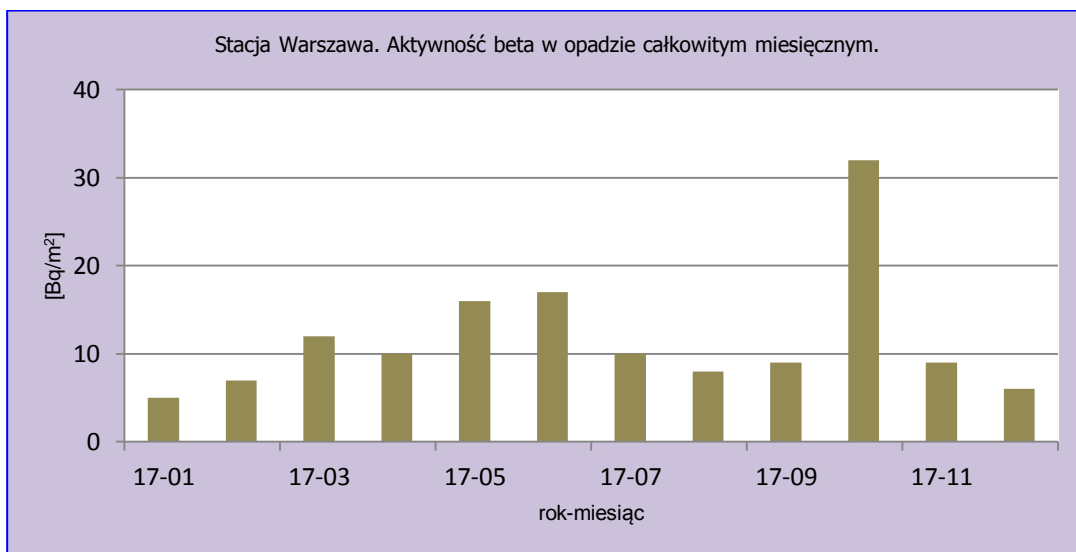
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

W 2017 roku aktywności promieniowania beta w miesięcznym opadzie atmosferycznym oscylowały w szerokim zakresie od 2 Bq m<sup>-2</sup> do 27 Bq m<sup>-2</sup> (Tabela 13). Maksymalną wartość w skali roku zarejestrowano w październiku na skutek awarii w zakładach „Majak” na stacji Poznań (37 Bq m<sup>-2</sup>), Warszawa (32 Bq m<sup>-2</sup>) oraz Włodawa (31 Bq m<sup>-2</sup>) a minimalne w miesiącach styczeń – luty w Świnoujściu (2 Bq m<sup>-2</sup>).

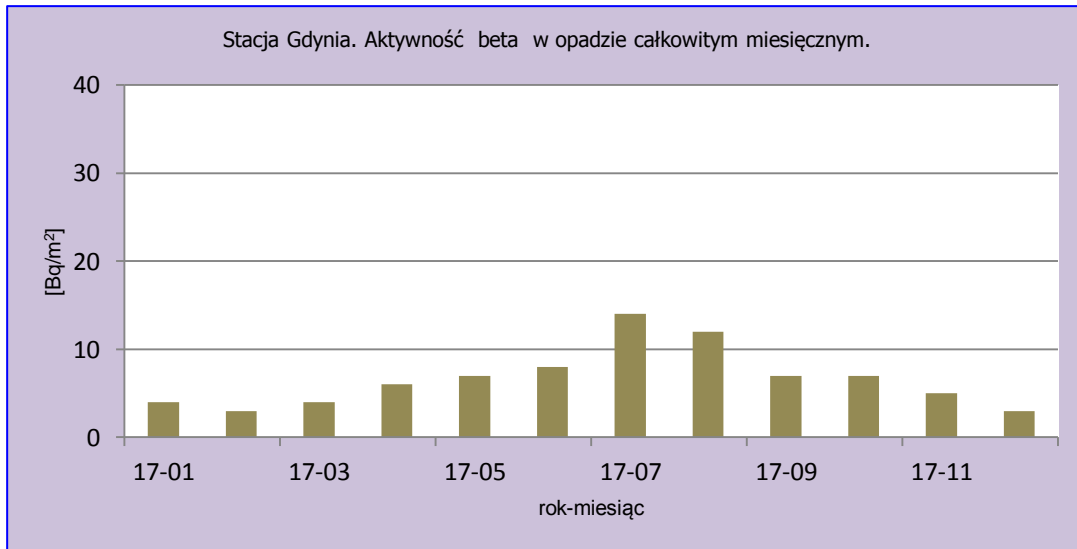
Średnia roczna aktywność promieniowania beta w Polsce w próbkach opadu całkowitego wynosiła 8,7 Bq m<sup>-2</sup> i była prawie o 1 Bq m<sup>-2</sup> wyższa niż w roku ubiegłym (7,8 Bq m<sup>-2</sup>). Najniższe średnie roczne aktywności beta obliczone na podstawie danych dla zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w 2017 roku zarejestrowano na stacjach zlokalizowanych na wybrzeżu: Świnoujście (4,8 Bq m<sup>-2</sup>) i Gdynia (6,7 Bq m<sup>-2</sup>) i były one odpowiednio o 45% i 23% niższe od średniej dla obszaru całej Polski (Rys. 51-59). Niskie wartości notowane w Gdyni i Świnoujściu wynikały przede wszystkim z bliskości morza i związanymi z tym warunkami meteorologicznymi np. cyrkulacją powietrza. Na pozostałych stacjach średnia aktywność promieniowania beta zmieniała się w zakresie od 7,3 Bq m<sup>-2</sup> w Mikołajkach do 11,9 Bq m<sup>-2</sup> na stacji Poznań.

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2017, w Bq m<sup>-2</sup>.

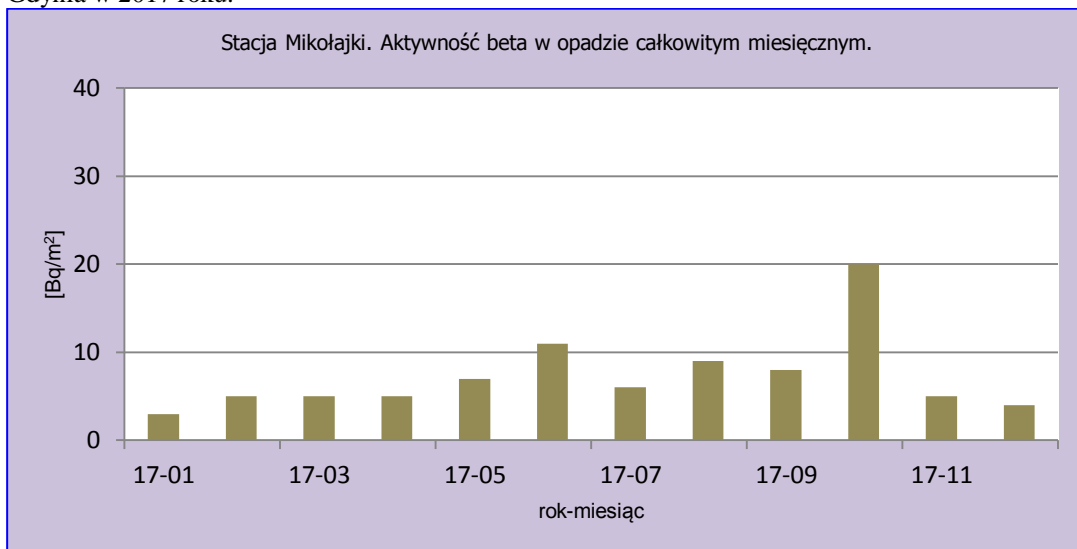
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	5	4	3	3	3	5	3	3	5
Luty	7	3	5	6	2	5	6	7	4
Marzec	12	4	5	6	2	4	5	7	4
Kwiecień	10	6	5	9	4	6	9	17	8
Maj	16	7	7	14	7	11	9	12	13
Czerwiec	17	8	11	14	7	11	10	9	8
Lipiec	10	14	6	11	7	11	10	18	9
Sierpień	8	12	9	17	5	21	10	15	11
Wrzesień	9	7	8	12	5	7	9	13	9
Październik	32	7	20	37	9	6	31	7	5
Listopad	9	5	5	8	5	5	6	9	10
Grudzień	6	3	4	6	2	4	5	8	5
Średnia	11,8	6,7	7,3	11,9	4,8	8,0	9,4	10,4	7,6
Maksymalna	32,0	14,0	20,0	37,0	9,0	21,0	31,0	18,0	13,0
Minimalna	5,0	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	3,0	3,0	4,0
Średnia roczna	<b>8,7</b>								
Maks. miesięczna	37,0								
Min. miesięczna	2,0								



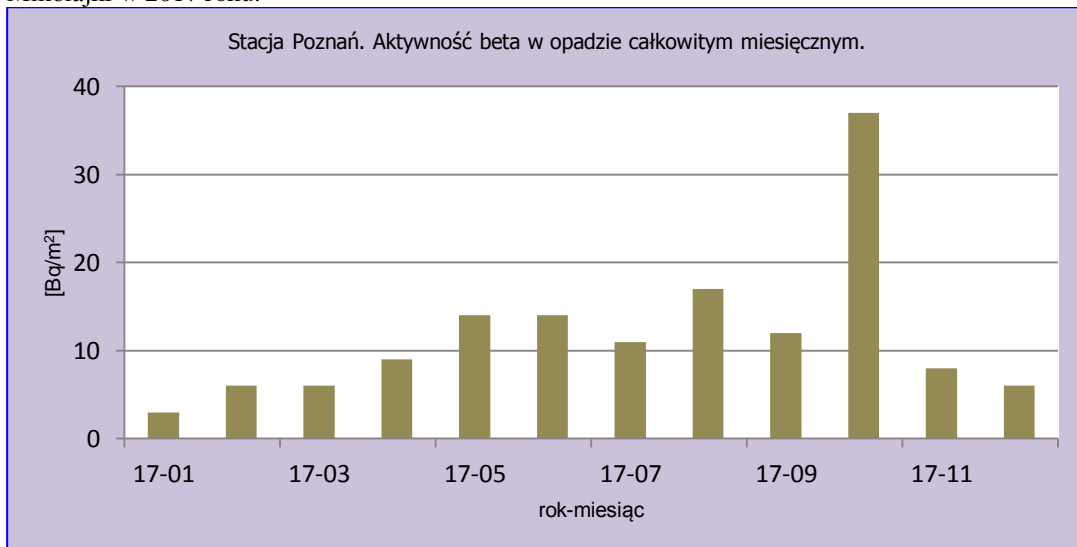
Rys.51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2017r.



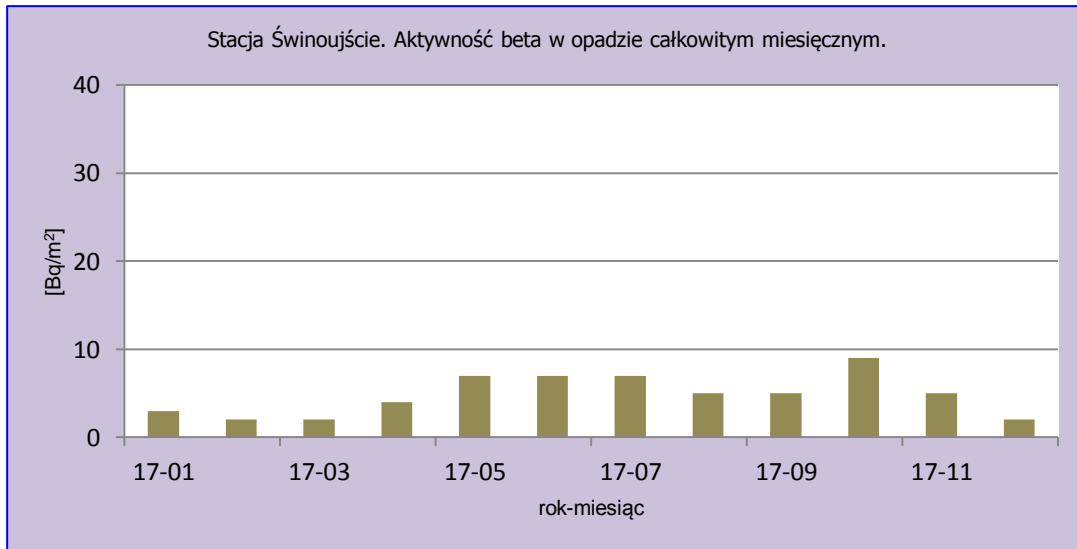
Rys.52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2017 roku.



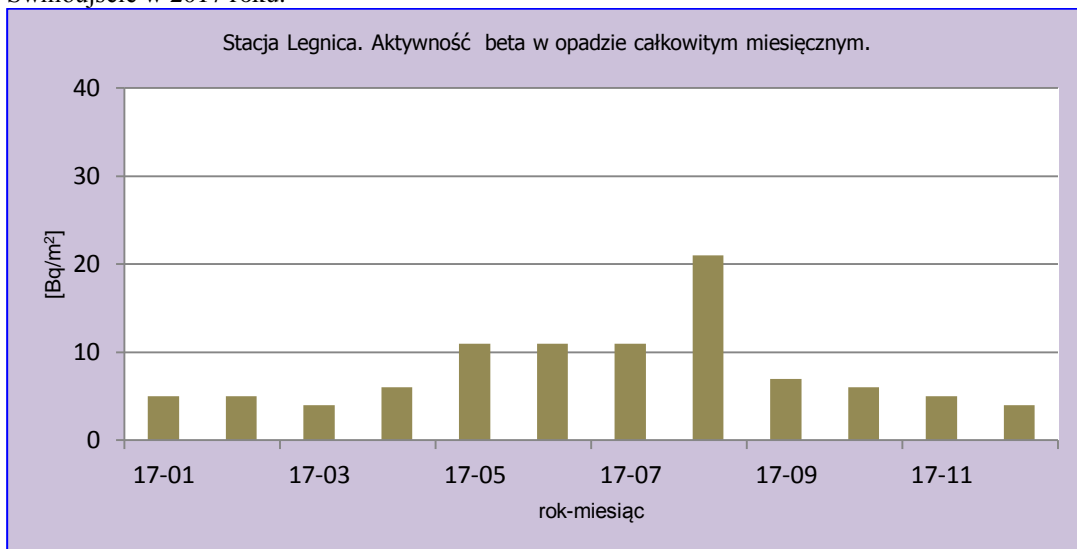
Rys.53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2017 roku.



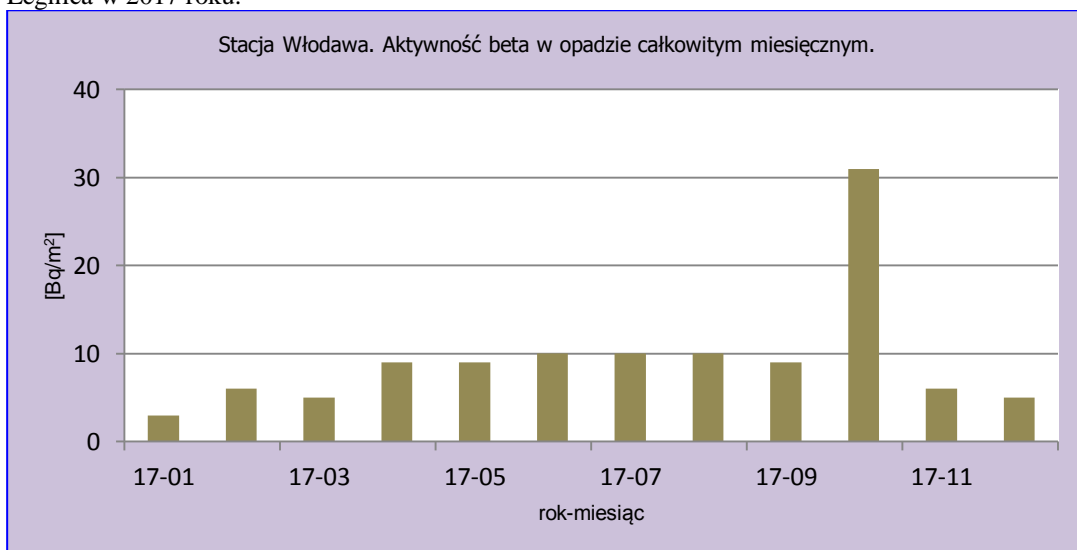
Rys.54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2017 roku.



Rys.55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2017 roku.

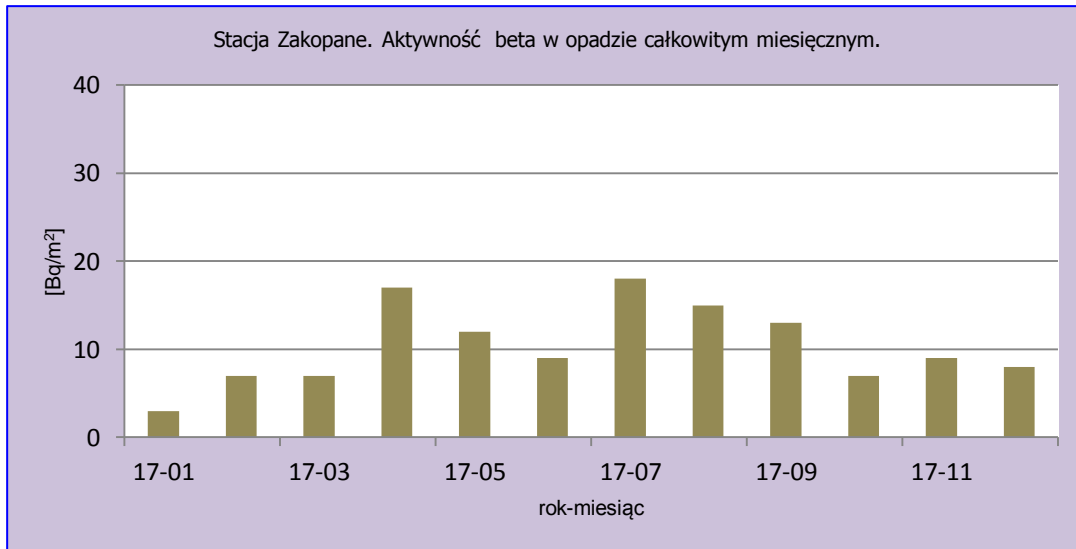


Rys.56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2017 roku.

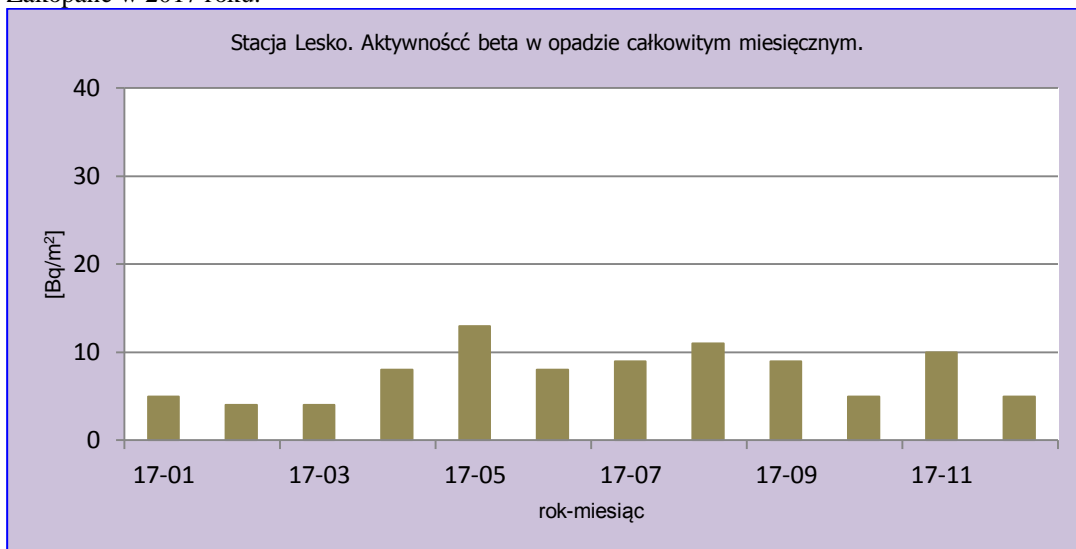


Rys.57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2017 roku.





Rys.58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2017 roku.



Rys.59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2017 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2017 roku średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym opadzie miesięcznym wynosiła 8,7 Bq m<sup>-2</sup> i była najwyższą wartością odnotowaną w latach 2000-2017, co było związane z pojawieniem się rutenu-106 w opadzie całkowitym w październiku. W omawianym okresie średnia aktywność promieniowania beta wahała się w przedziale od 6 Bq m<sup>-2</sup> (2005) do 8,7 Bq m<sup>-2</sup> (2017), a średnia aktywność całkowitego opadu atmosferycznego w badanym okresie wynosi 7,1 Bq m<sup>-2</sup> (Tabela 14).

Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2017, Bq m<sup>-2</sup>.

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
2000	6,1
2001	7,1
2002	6,7

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
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
2014	8,0
2015	7,5
2016	7,8
<b>2017</b>	<b>8,7</b>
Średnia	7,1
Minimalna	6,0
Maksymalna	8,7

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

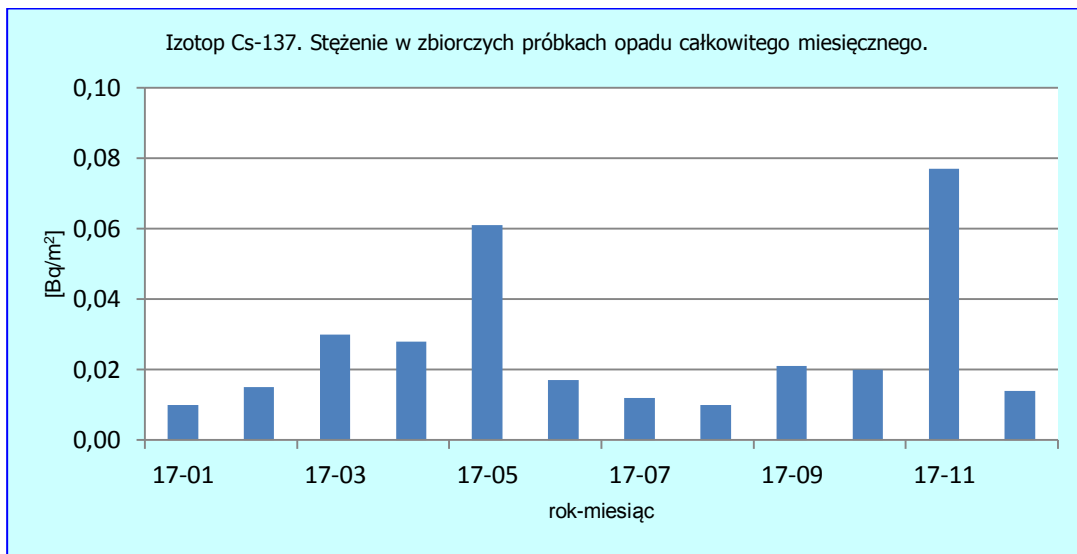
Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego o stosunkowo długim okresie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku  $^{134}\text{Cs}$ . Ich stężenia promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) 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 2017

W 2017 roku średnie stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w opadzie atmosferycznym wynosiło  $0,032 \text{ Bq m}^{-2}$ , natomiast stężenia  $^{134}\text{Cs}$  były poniżej limitu oznaczalności stosowanej metody pomiarowej. Najniższe aktywności promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  odnotowano w miesiącach: styczeń ( $0,010 \text{ Bq m}^{-2}$ ) i sierpień ( $0,010 \text{ Bq m}^{-2}$ ), natomiast najwyższe wystąpiły w maju ( $0,061 \text{ Bq m}^{-2}$ ) oraz w marcu ( $0,030 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Taki rozkład stężeń w roku był związany z intensywnymi opadami oraz łatwiejszym wypłukiwaniem izotopów z atmosfery. (Tabela 15, Rys. 60).

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2017 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$
Miesiąc	Cs-137	Cs-134
Styczeń	0,010 ± 0,002	< 0,003
Luty	0,015 ± 0,001	< 0,003
Marzec	0,030 ± 0,002	< 0,004
Kwiecień	0,028 ± 0,002	< 0,003
Maj	0,061 ± 0,003	< 0,004
Czerwiec	0,017 ± 0,002	< 0,004
Lipiec	0,012 ± 0,002	< 0,003
Sierpień	0,010 ± 0,002	< 0,003
Wrzesień	0,021 ± 0,002	< 0,004
Październik	0,020 ± 0,002	< 0,006
Listopad	0,077 ± 0,003	< 0,003
Grudzień	0,014 ± 0,002	< 0,003
<b>Suma roczna</b>	<b>0,315</b>	
Średnia	0,026	
Maksymalna	0,077	
Minimalna	0,010	



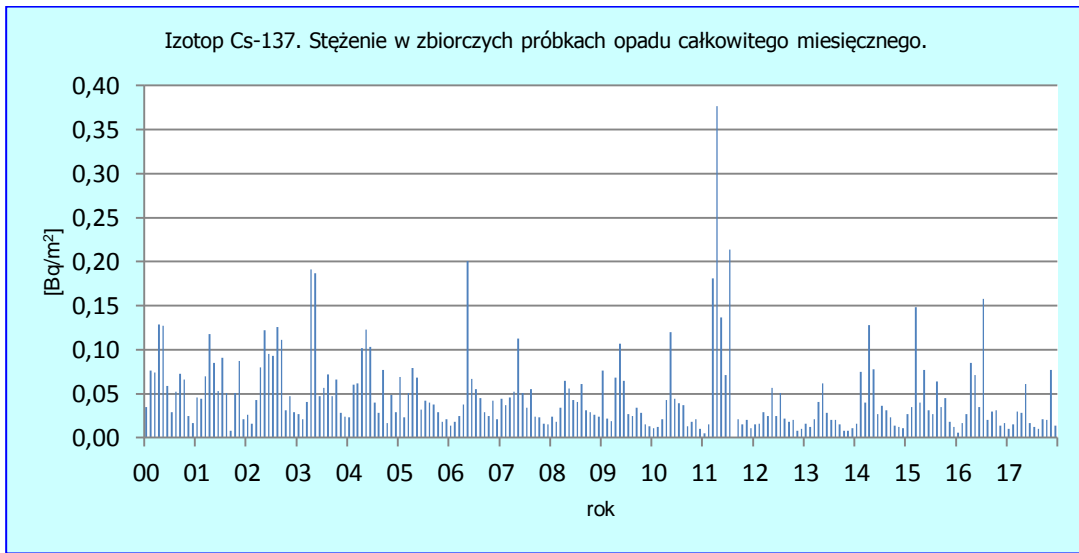
Rys.60. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w roku 2017.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

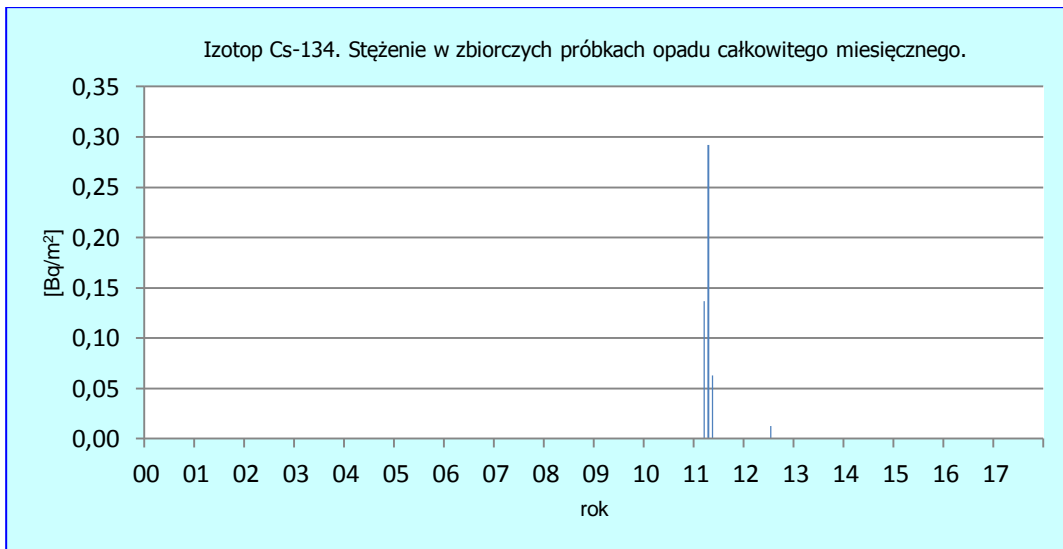
Izotop  $^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się niską prędkością suchej depozycji ( $0,05 - 0,5 \text{ cm s}^{-1}$ ), dlatego ładunek tego izotopu docierający do powierzchni ziemi wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wyplukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym najczęściej największy dopływ  $^{137}\text{Cs}$  do powierzchni ziemi występuje w okresie wiosenno-letnim, kiedy miesięczne sumy opadów są największe (Rys. 61). Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w 2017 roku wynosiła  $0,315 \text{ Bq m}^{-2}$  i była trzy razy

mniejsza od wartości w 2011 ( $1,067 \text{ Bq m}^{-2}$ ), kiedy odnotowano podwyższoną depozycję związaną z awarią elektrowni atomowej w Fukushima. Roczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  wraz z całkowitym opadem atmosferycznym w roku 2017 był zdecydowanie niższy niż w roku ubiegłym -  $0,511 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tabela 16, Rys. 63). Minimalny sumaryczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  przypadał na rok 2013 ( $0,262 \text{ Bq m}^{-2}$ ). W okresie 2000 – 2017 średnia suma rocznych dopływów  $^{137}\text{Cs}$  wynosił  $0,570 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tabela 16).

W przypadku izotopu  $^{134}\text{Cs}$  tylko w roku 2011 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limitu oznaczalności stosowanej metody pomiarowej (Rys.62). W omawianych pomiarach od roku 2000 oprócz roku 2011, kiedy doszło do incydentu w Fukushima, nie zanotowano obecności  $^{134}\text{Cs}$  w powietrzu.



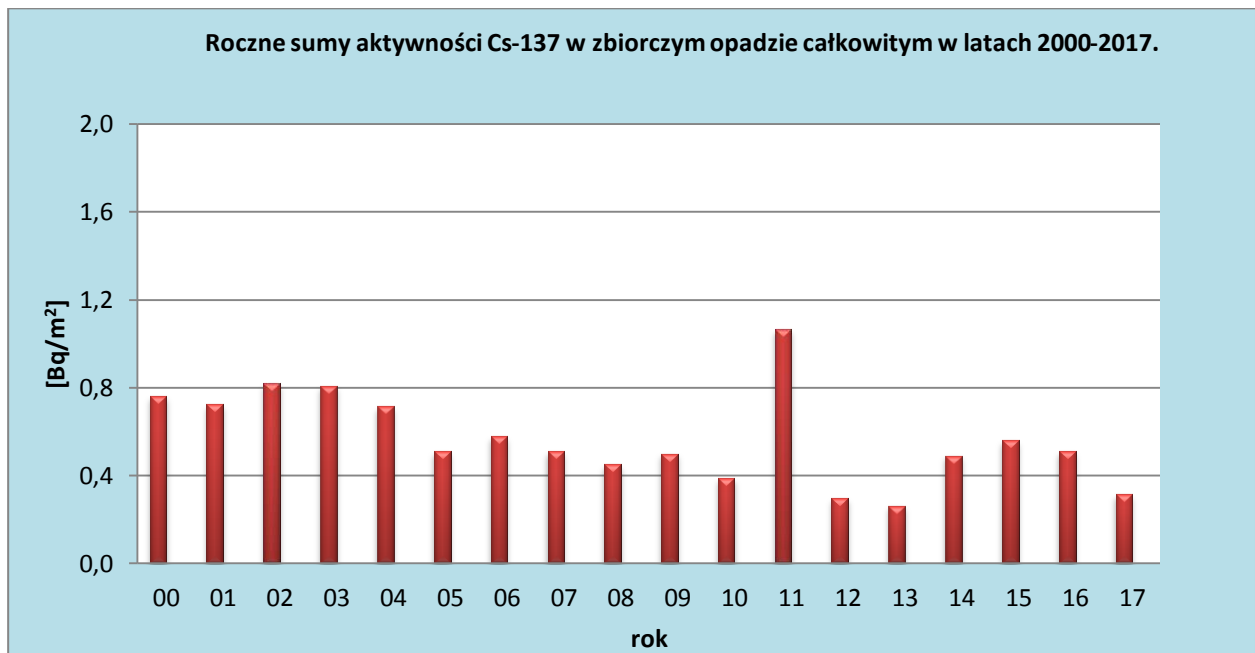
Rys.61. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2017.



Rys.62. Stężenie promieniotwórcze  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2017.

Tabela 16. Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2017,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

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	
2014	0,491	
2015	0,559	
2016	0,511	
<b>2017</b>	<b>0,315</b>	
Średnia	0,570	
Minimalna	0,262	
Maksymalna	1,067	



Rys.63. Roczne sumy dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2017.

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

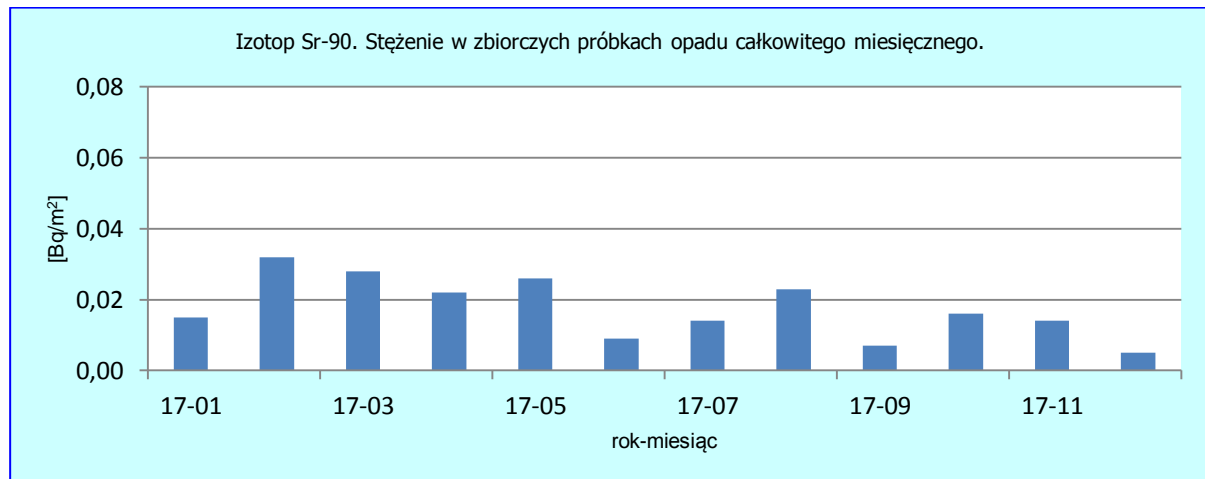
W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  przeprowadzono w 2017 roku pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu –  $^{90}\text{Sr}$ , który podobnie jak  $^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się stosunkowo długim okresem połowicznego rozpadu (28 lat).

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2017

Najniższe stężenie  $^{90}\text{Sr}$  zarejestrowano w grudniu ( $0,005 \text{ Bq m}^{-2}$ ) a najwyższe aktywności wystąpiły w lutym i marcu ( $0,032 \text{ Bq m}^{-2}$  i  $0,028 \text{ Bq m}^{-2}$ ) (Tab. 17, Rys. 64).

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2017 r.

	<b>Aktywność <math>\text{Bq m}^{-2}</math></b>
Miesiąc	<b>Sr-90</b>
Styczeń	$0,015 \pm 0,001$
Luty	$0,032 \pm 0,002$
Marzec	$0,028 \pm 0,001$
Kwiecień	$0,022 \pm 0,001$
Maj	$0,026 \pm 0,001$
Czerwiec	$0,009 \pm 0,001$
Lipiec	$0,014 \pm 0,001$
Sierpień	$0,023 \pm 0,002$
Wrzesień	$0,007 \pm 0,001$
Październik	$0,016 \pm 0,001$
Listopad	$0,014 \pm 0,001$
Grudzień	$0,005 \pm 0,001$
<b>Suma roczna</b>	<b>0,211</b>
Średnia	0,018
Maksymalna	0,032
Minimalna	0,005



Rys.64. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2017 roku.

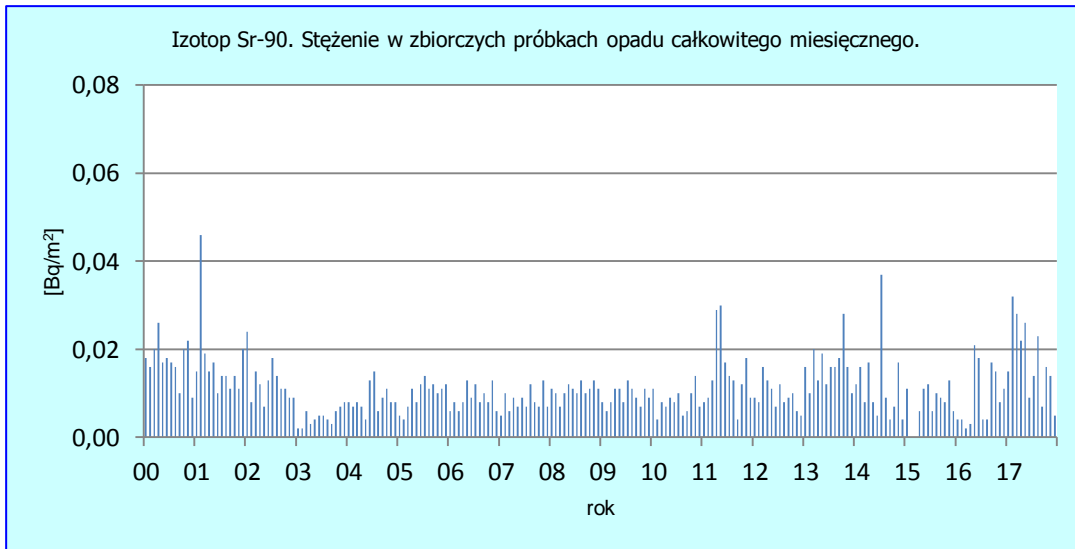
### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Najwyższe roczne sumy aktywności  $^{90}\text{Sr}$  zmierzono w opadzie całkowitym w latach 2000, 2001 oraz 2017 (Tab. 18). Wynosiły one odpowiednio:  $0,209 \text{ Bq m}^{-2}$ ,  $0,206 \text{ Bq m}^{-2}$  i  $0,211 \text{ Bq m}^{-2}$ , a najniższą wartość odnotowano w roku 2003 ( $0,055 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Roczny dopływ  $^{90}\text{Sr}$  wraz z opadem całkowitym w 2017 roku był najwyższym dopływem w omawianym okresie i prawie dwa razy wyższy niż w roku poprzednim i prawie o 60% wyższy niż średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2017.

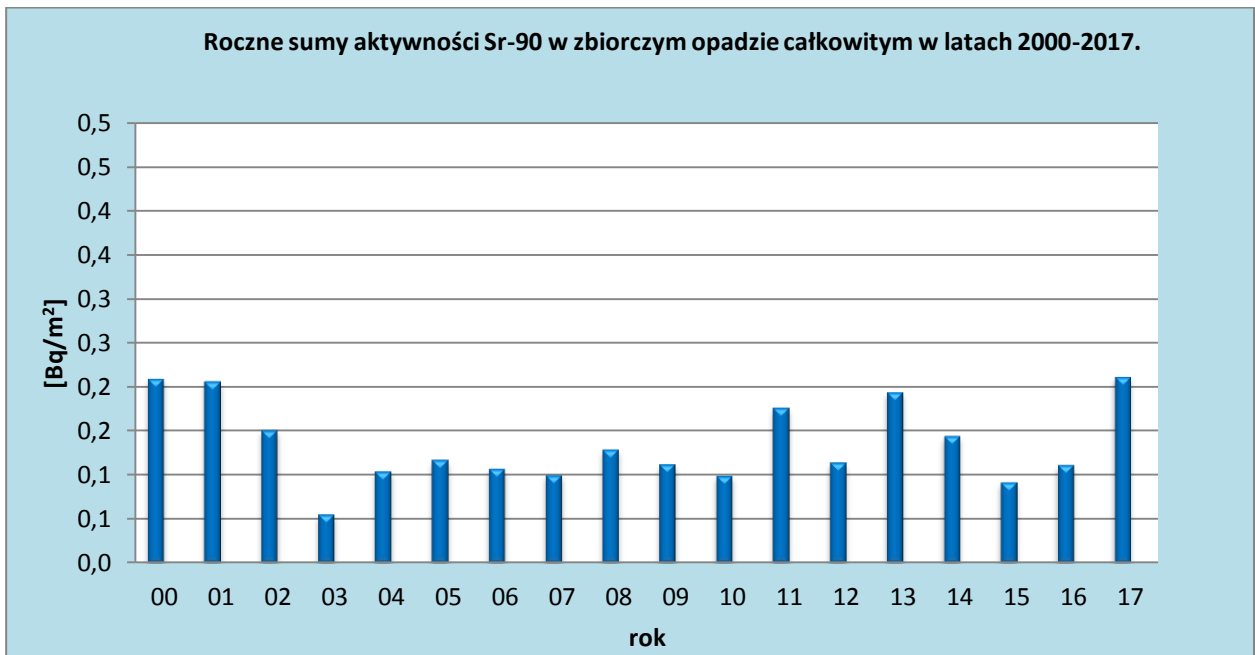
Tabela 18. Roczna suma aktywności  $^{90}\text{S}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2017,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

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
2014	0,144
2015	0,092
2016	0,111
<b>2017</b>	<b>0,211</b>
Średnia	0,135
Minimalna	0,055
Maksymalna	0,211





Rys.65. Stężenie promieniotwórcze <sup>90</sup>Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2017.



Rys.66. Roczne sumy dopływu <sup>90</sup>Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2017.

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

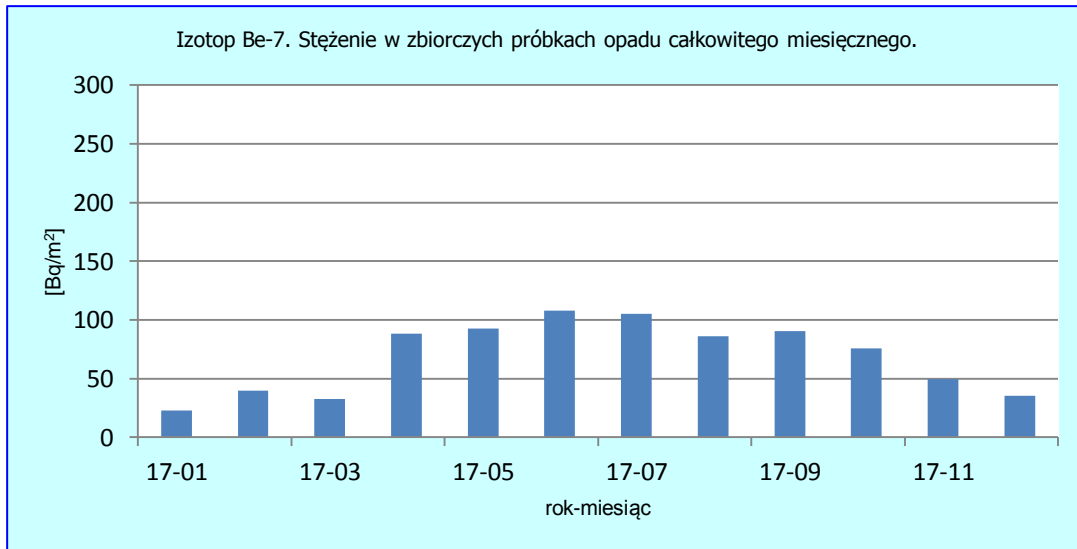
W 2017 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  i  $^{40}\text{K}$ . Izotop  $^{40}\text{K}$  jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo 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 2017

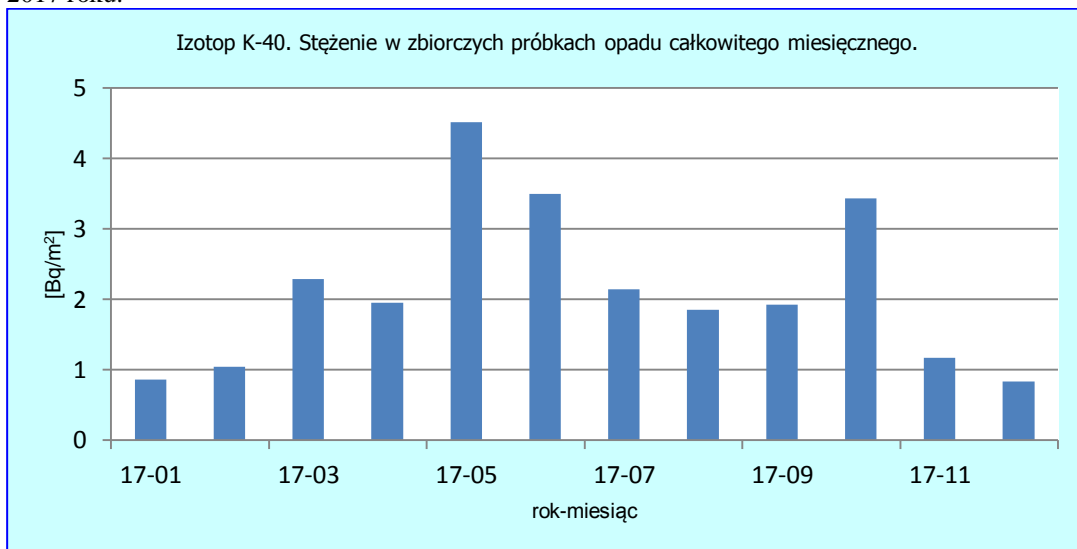
Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się  $^7\text{Be}$ . Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła  $68,96 \text{ Bq m}^{-2}$  i wahała się w zakresie od  $22,95 \text{ Bq m}^{-2}$  (styczeń) do  $108,18 \text{ Bq m}^{-2}$  (czerwiec) (Tabela 19, Rys. 67). Roczny dopływ tego izotopu wynosił  $827,5 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tabela 19). Aktywność  $^{40}\text{K}$  zmieniała się w zakresie od  $0,84 \text{ Bq m}^{-2}$  (grudzień) do  $4,52 \text{ Bq m}^{-2}$  (maj), natomiast roczny dopływ był na poziomie  $25,55 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tabela 19, Rys. 68). W przypadku  $^{226}\text{Ra}$  roczny dopływ wynosił  $1,07 \text{ Bq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$  a miesięczne ładunki oscylowały w zakresie od  $0,054 \text{ Bq m}^{-2}$  (październik) do  $0,221 \text{ Bq m}^{-2}$  (czerwiec) (Tabela 19, Rys. 69). Roczny dopływ  $^{228}\text{Ac}$  był dwa razy niż  $^{226}\text{Ra}$  i wynosił  $0,452 \text{ Bq m}^{-2}$ , a jego miesięczne ładunki mieściły się w przedziale od  $0,031 \text{ Bq m}^{-2}$  w styczniu do  $0,075 \text{ Bq m}^{-2}$  w maju (Tabela 19, Rys. 70).

Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$  oraz  $^{226}\text{Ra}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2017 r., [ $\text{Bq m}^{-2}$ ].

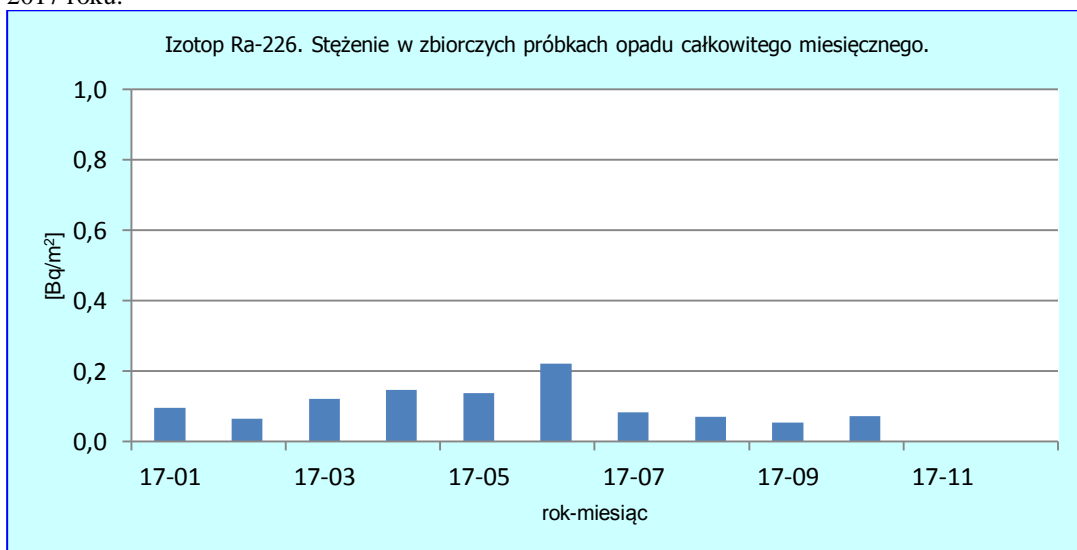
Miesiąc	$^{228}\text{Ac}$	$^7\text{Be}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$
Styczeń	0,031	22,951	0,860	0,096
Luty	0,033	39,945	1,049	0,066
Marzec	0,064	32,644	2,287	0,121
Kwiecień	0,052	88,456	1,953	0,148
Maj	0,075	92,513	4,520	0,138
Czerwiec	0,056	108,180	3,500	0,221
Lipiec	0,033	105,336	2,147	0,083
Sierpień	0,049	85,970	1,857	0,071
Wrzesień	0,059	90,713	1,927	0,054
Październik	<0,025	75,983	3,439	0,073
Listopad	<0,012	49,411	1,169	<0,044
Grudzień	<0,012	35,412	0,839	<0,044
<b>Suma roczna</b>	<b>0,452</b>	<b>827,514</b>	<b>25,547</b>	<b>1,071</b>
Średnia	0,050	68,960	2,129	0,107
Maksymalna	0,075	108,180	4,520	0,221
Minimalna	0,031	22,951	0,839	0,054



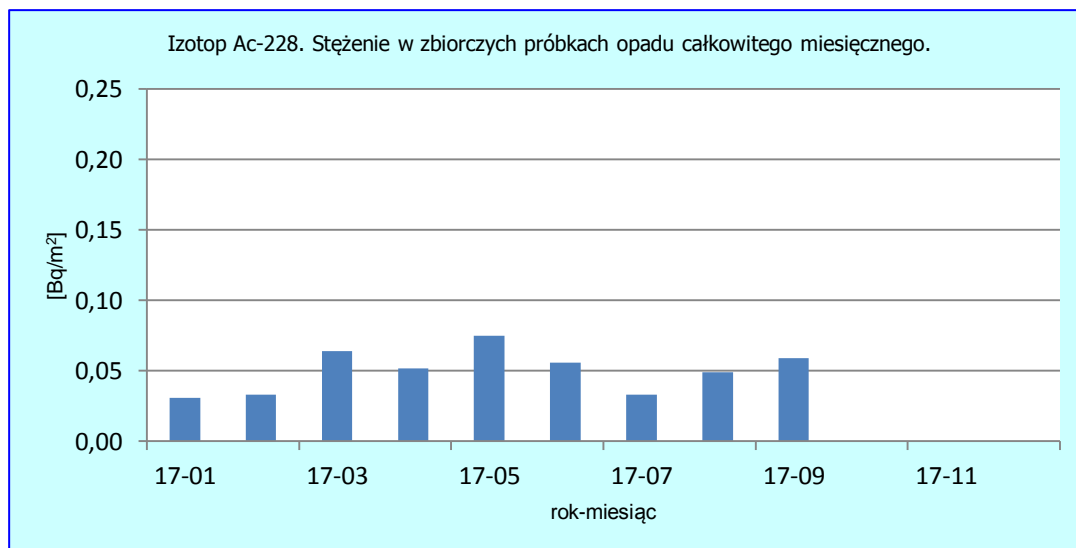
Rys.67. Stężenie promieniotwórcze <sup>7</sup>Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2017 roku.



Rys.68. Stężenie promieniotwórcze <sup>40</sup>K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2017 roku.



Rys.69. Stężenie promieniotwórcze <sup>226</sup>Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2017 roku.



Rys. 70. Stężenie promieniotwórcze <sup>228</sup>Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2017 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2017 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

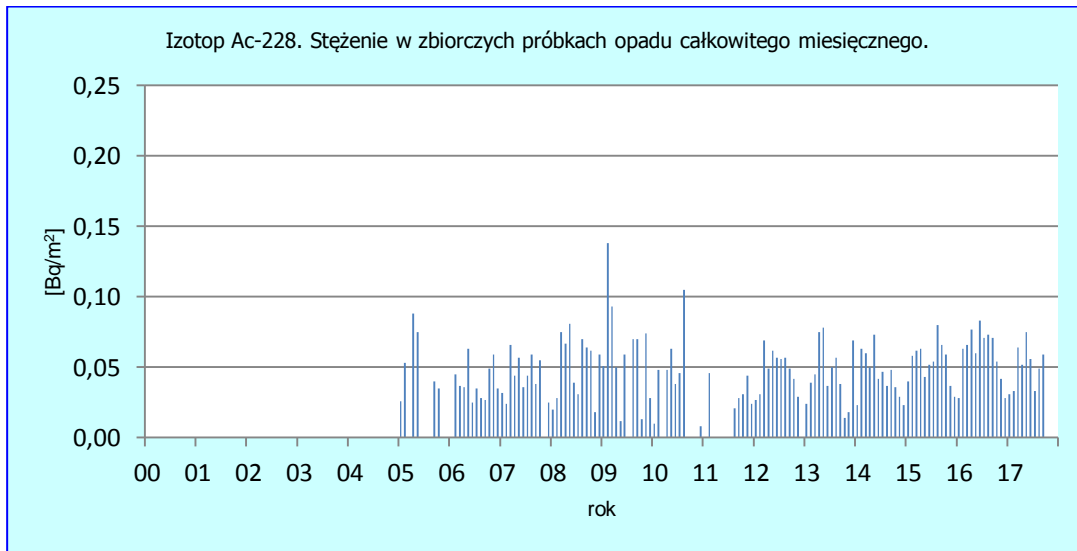
W okresie od 2000 do 2017 roku (Tabela 20) spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy <sup>7</sup>Be i <sup>40</sup>K (Rys. 67-70). Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku <sup>137</sup>Cs wypłukiwaniem tych izotopów z atmosfery.

W roku 2017 średnie roczne ładunki pierwiastków: <sup>7</sup>Be, <sup>40</sup>K były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2017), a w przypadku ładunek <sup>228</sup>Ac i <sup>226</sup>Ra ładunek w roku 2017 był niższy od średniej z badanego okresu (Tabela 20).

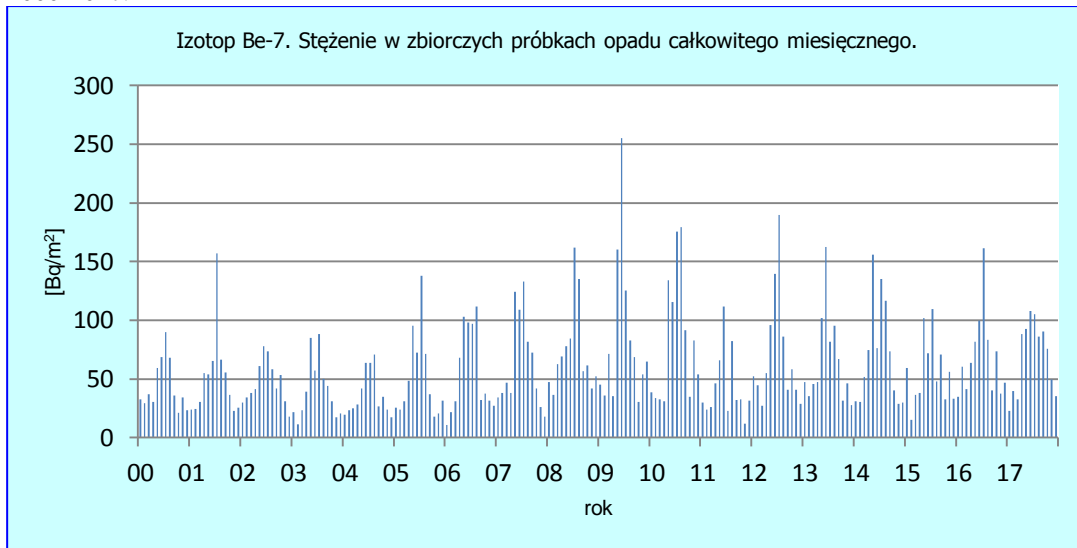
Tabela 20. Roczna suma aktywności <sup>226</sup>Ra, <sup>7</sup>Be, <sup>228</sup>Ac, <sup>40</sup>K w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2017, Bq m<sup>-2</sup>

Rok	<sup>228</sup> Ac	<sup>7</sup> Be	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra
2000		532,0	19,14	2,53
2001		618,0	15,34	2,49
2002		559,7	19,06	2,49
2003		489,5	19,72	2,33
2004		439,6	20,45	2,97
2005	0,402	614,2	16,06	2,58
2006	0,450	670,9	16,18	1,07
2007	0,493	764,6	16,99	1,30
2008	0,614	888,3	18,76	1,82
2009	0,676	1029,9	15,69	1,41
2010	0,366	1005,7	16,63	0,81
2011	0,194	517,8	16,69	0,66
2012	0,528	859,9	20,50	1,39
2013	0,069	790,8	22,52	0,85
2014	0,531	845,5	28,38	0,80
2015	0,643	673,	30,57	0,80
2016	0,716	826,5	25,01	1,45

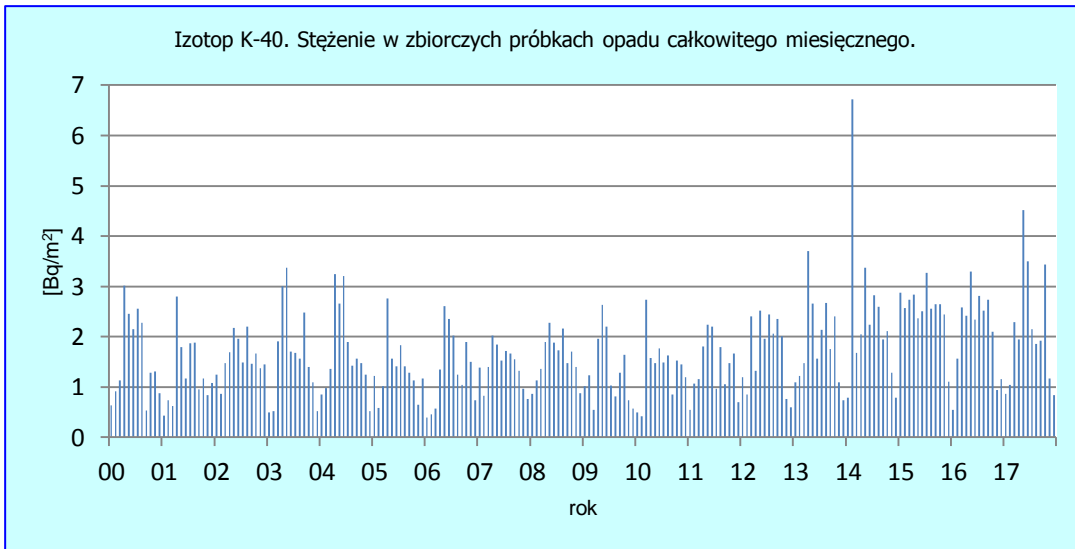
Rok	<sup>228</sup> Ac	<sup>7</sup> Be	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra
<b>2017</b>	<b>0,452</b>	<b>827,51</b>	<b>25,55</b>	<b>1,07</b>
Średnia	0,472	719,7	20,18	1,60
Minimalna	0,069	439,7	15,34	0,66
Maksymalna	0,716	1029,9	30,57	2,97



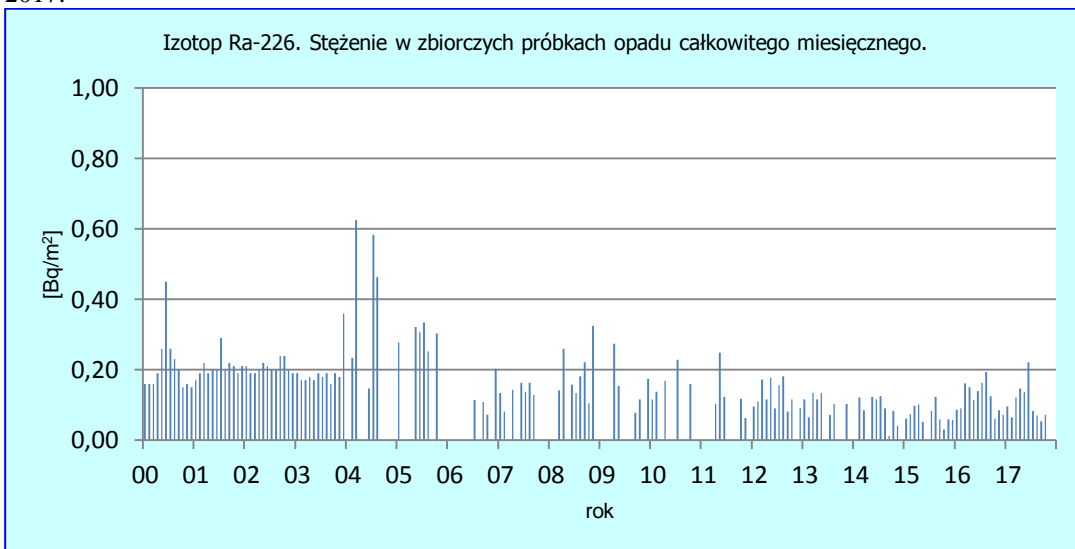
Rys.71. Stężenie promieniotwórcze <sup>228</sup>Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2017.



Rys.72. Stężenie promieniotwórcze <sup>7</sup>Be w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2017.



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2017.



Rys. 74. Stężenie promieniotwórcze  $^{226}\text{Ra}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2017.

### 3.7 Stężenie promieniotwórcze $^{106}\text{Ru}$ w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego i próbkach całkowitego opadu dobowego

Na skutek awarii zakładów atomowych „Majak” w rejonie wsi Argajasz, koło Czelabińska na Uralu pod koniec września 2017 r., w Polsce na początku października odnotowano obecność aktywności  $^{106}\text{Ru}$  w całkowitym opadzie atmosferycznym. Promieniotwórczy izotop rutenu Ru-106 jest izotopem pochodzenia antropogenicznego wykorzystywanym m.in. w leczeniu nowotworów, o okresie połowicznego rozpadu wynoszącym 374 dni. Stężenie promieniotwórcze  $^{106}\text{Ru}$  (aktywność odniesiona do powierzchni) zostało oznaczone w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego pochodzących z 9 stacji (tych samych, w których oznaczono stężenia innych izotopów emitujących promieniowanie gamma) (Tabela 21). Stężenia powyżej granicy oznaczalności wystąpiły w próbkach zebranych od września do grudnia, przy czym najwyższa aktywność wystąpiła w październiku ( $6,318 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Pod koniec roku aktywność tego izotopu znacząco spadła, lecz ciągle była notowana w całkowitym opadzie miesięcznym (Tabela 21).

Dodatkowo pomiarom poddano próbki całkowitych opadów dobowych, w których zmierzono wysokie aktywności beta (Tabela 22). W przypadku dobowych dopływów  $^{106}\text{Ru}$  do powierzchni Polski najwyższe ładunki występowały 1 października 2017 w Poznaniu ( $12,07 \text{ Bq m}^{-2}$ ), 2 października 2017 w Warszawie ( $14,48 \text{ Bq m}^{-2}$ ) i 3 października 2017 we Włodawie ( $19,87 \text{ Bq m}^{-2}$ ).

Tabela 21. Stężenie promieniotwórcze  $^{106}\text{Ru}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2017 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ . LLD – dolny próg detekcji

Miesiąc	Ru-106, aktywność [ $\text{Bq m}^{-2}$ ]	Ru-106, LLD [ $\text{Bq m}^{-2}$ ]
Styczeń - sierpień	Nie wykryto	
Wrzesień	$0,237 \pm 0,018$	0,023
Październik	$6,318 \pm 0,147$	0,038
Listopad	$0,117 \pm 0,013$	0,018
Grudzień	$0,164 \pm 0,014$	0,018
<b>Suma</b>	<b>6,836</b>	
Średnia	1,709	
Maksymalna	6,318	
Minimalna	0,117	

Tabela 22. Stężenie promieniotwórcze  $^{106}\text{Ru}$  w próbkach opadu całkowitego dobowego,  $\text{Bq m}^{-2}$ . LLD – dolny próg detekcji

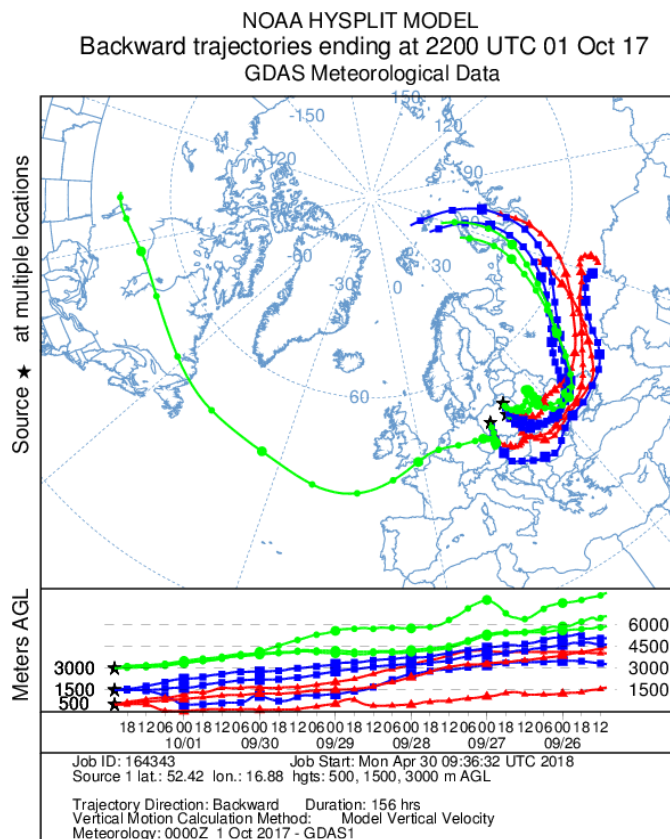
Stacja	Próbka z dnia (wystawiona danego dnia o godz. 6.00 UTC do godz. 6.00 UTC kolejnego dnia)	Aktywność promieniotwórcza Ru-106, [ $\text{Bq m}^{-2}$ ]	Granica oznaczalności Ru-106, [ $\text{Bq m}^{-2}$ ]	Aktywność izotopów emitujących promieniowanie beta w dobowych próbkach całkowitego opadu dobowego [ $\text{Bq m}^{-2}$ ]
Poznań	2017-10-01	$12,07 \pm 0,99$	0,51	25
Warszawa	2017-10-02	$14,48 \pm 1,16$	0,45	32
Warszawa	2017-10-03	$2,99 \pm 0,35$	0,38	7
Mikołajki	2017-10-02	$5,71 \pm 0,54$	0,38	14
Włodawa	2017-10-03	$19,69 \pm 1,53$	0,52	40

### 3.8 Analiza trajektorii mas powietrza napływających nad Polskę w okresie 1-3 październik 2017.

Pod koniec września 2017 roku, w zakładach „Majak”, w rejonie wsi Argajasz, koło Czelabińska na Uralu, jednym z głównych ośrodków przerobu materiałów radioaktywnych w Rosji doszło do emisji substancji promieniotwórczej. Od 25 września do 1 października odnotowano w tym rejonie wysokie zanieczyszczenie izotopem rutenu Ru-106.

W Polsce znaczna aktywność  $^{106}\text{Ru}$  została wykryta 1 października w Poznaniu, następnie 2 października w Warszawie i Mikołajkach oraz 3 października we Włodawie. Taki kierunek przemieszczania się skażonych mas powietrza mógłby świadczyć, że do emisji substancji promieniotwórczej doszło na zachodzie Europy, a nie w Rosji. Jednak analiza trajektorii mas powietrza napływających nad Polskę w okresie 1-3 października pozwala określić dokładną ich drogę.

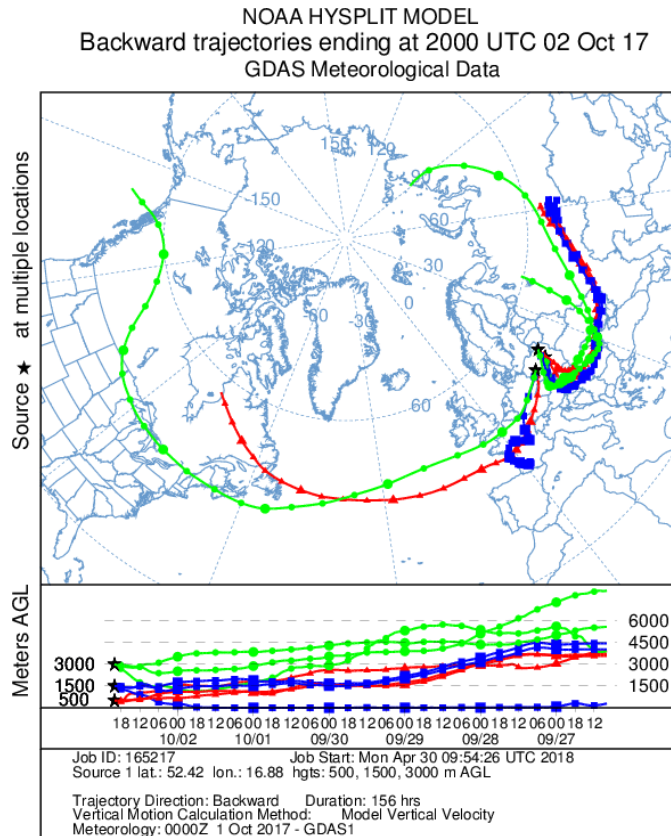
Wygodnym narzędziem do wyznaczenia drogi, jaką pokonała masa powietrze, są tzw. trajektorie wsteczne. Są to linie wykreślone na mapie geograficznej obrazujące drogę, jaką pokona powietrze zanim dotrze nad dany obszar. Trajektorie są wyliczane na podstawie modeli prognoz pogody. W przedstawionej analizie wykorzystano model NOAA HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) i przedstawiono napływ powietrza z wysokości 0,5, 1,5 oraz 3km.



Rys. 75. Trajektorie wsteczne dla Poznania, Warszawy i Mikołajek z godziny 22 UTC 1 października 2017.

Na Rys. 75 widzimy, że powietrze, które znalazło się o godzinie 22 UTC 1 października 2017 nad Poznaniem na wysokości 0,5 km oraz 1,5 km przemieszczało się znad rejonu, w którym doszło do emisji substancji promieniotwórczej i dotarło do Polski od południa. Następnego dnia, 2 października o godzinie 20 UTC, również od południa, nastąpił napływ powietrza z rejonu Czelabińska nad Warszawę i Mikołajki (Rys. 76). Tego dnia, nad Poznaniem, występowały już masy powietrza z zachodu Europy.





Rys. 76. Trajektorie wsteczne dla Poznania, Warszawy i Mikołajek z godziny 20 UTC 2 października 2017.

3 października 2017 w godzinach 8 i 10 UTC powietrze znad rejonu Uralu dotarło nad wschodnią część Polski, jak również pozostało jeszcze częściowo nad Polską centralną (Rys. 77 i 78). Dodatkowo masa powietrza znad rejonu, w którym doszło do emisji substancji promieniotwórczej, znalazła się również nad Włodawą 3 października o godzinie 19 UTC (Rys. 79). Taki układ mas powietrza miał wpływ na to, że najwyższe stężenie  $^{106}\text{Ru}$  zostało zanotowane właśnie 3 października we Włodawie.





## 4. Podsumowanie

W 2017 roku monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy atmosfery prowadzono w ramach Umowy nr 36/2015/F pomiędzy Głównym Inspektoratem 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-PIB. Stacje IMGW-PIB zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu<sup>3</sup>, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2017 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.
10. Został wykryty i zmierzony po raz pierwszy  $^{106}\text{Ru}$ .

Wyniki uzyskane w roku 2017 zestawiono w Tabeli 23 na kolejnej stronie.

---

<sup>3</sup> Z racji uzupełniającego się programu pomiarowego stacja Gorzów Wlkp. oraz Poznań są traktowane jako jedna stacja.

Tabela 23. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2017.

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna <sup>4</sup>			
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>90,9 nSv/h</b> Str. 15			
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>6,4 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 21			
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,055 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 25			
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,237 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 32			
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. 33	Suma roczna <b>0,330 kBq/m<sup>2</sup></b> Str. 33		
6.	Globalna aktywność beta wody opadowej <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>316 mBq/litr</b> Str. 39			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>8,7 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 43			
8.	Stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <b>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</b>	Wartość średnia <b>0,026 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 48	Suma roczna <b>0,315 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 48		
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>0,018 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 53	Suma roczna <b>0,211 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 53		
12.	Sumy roczne aktywności <sup>228</sup> Ac, <sup>7</sup> Be, <sup>40</sup> K, <sup>226</sup> Ra, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. [Bq/m <sup>2</sup> ] <b>Wartości na poziomie tła</b> Str. 55	Ac-228 <b>0,452</b>	Be-7 <b>827,5</b>	K-40 <b>25,6</b>	Ra-226 <b>1,071</b>
13.	Stężenie promieniotwórcze <sup>106</sup> Ru w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w poszczególnych miesiącach roku 2018 kiedy został zmierzony. [Bq/m <sup>2</sup> ] Pomiar po raz pierwszy więc brak odniesień Str. 60	Wrzesień 2017 0,237	Październik 2017 6,318	Listopad 2017 0,117	Grudzień 2017 0,164

<sup>4</sup> Suma roczna dotyczy tylko wyników spektrometrycznych oraz opadu całkowitego dobowego.

## 5. Wnioski

Poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery związany z obecnością izotopów promieniotwórczych sztucznych i naturalnych w 2017 roku nie odbiegał w sposób znaczący od poziomu, który obserwowano w poprzednich latach z wyjątkiem epizodycznej sytuacji w październiku.

Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2017 roku wynosiła  $90,9 \text{ nSv h}^{-1}$  i była niższa od obserwowanej w roku poprzednim o  $1,2 \text{ nSv h}^{-1}$ . W latach 2000 - 2017 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  $89,6 \text{ nSv h}^{-1}$  w 2010 roku do  $99,1 \text{ nSv h}^{-1}$  w 2000 roku. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła  $94,2 \text{ nSv h}^{-1}$ .

W roku 2017 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o  $1,3 \text{ Bq m}^{-3}$  niższe niż w roku ubiegłym i wynosiło  $6,4 \text{ Bq m}^{-3}$ . Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2017 wynosiła  $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$ .

W przypadku izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa, średnie roczne stężenie promieniotwórcze w 2017 roku wyniosło  $0,055 \text{ Bq m}^{-3}$  i było prawie 15% niższe niż w roku poprzednim. Średnie stężenie wyznaczone dla okresu 2000 – 2017 wynosiło  $0,032 \text{ Bq m}^{-3}$  i mieściło się w przedziale od  $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$  (2001) do  $0,074 \text{ Bq m}^{-3}$  (2015)

W 2017 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło  $0,237 \text{ Bq m}^{-3}$  i było porównywalne z wartością z roku poprzedniego -  $0,240 \text{ Bq m}^{-3}$ . Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2017 były jednymi z najwyższych odnotowanych w okresie 2000–2017 r., ale są to nadal wartości zbliżone do tła naturalnego i niestanowiące zagrożenia.

Stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie alfa i beta w aerozolach zawieszonych w powietrzu, zarówno pochodzenia naturalnego, jak i sztucznego pozostały na poziomie zbliżonym do lat poprzednich. Są to niskie naturalne wartości niestanowiące zagrożenia.

Globalna 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 2017 roku ( $0,33 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ ) była taka sama jak w latach 2000 i 2009 - 2011. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2017 utrzymuje się na poziomie  $0,32 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ . W 2017 roku wyższe aktywności beta odnotowane w przypadku pojedynczych próbek na wybranych stacjach związane były z awarią w zakładach „Majak” na Uralu.

Średnia aktywność beta wody opadowej w 2017 roku wyniosła  $316 \text{ mBq l}^{-1}$ . Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie od 2000 do 2017, przypadła na rok 2003 i wynosiła  $376 \text{ mBq l}^{-1}$ , minimalna wartość charakteryzuje rok 2014 –  $311 \text{ mBq l}^{-1}$ . Średnia aktywność beta wody opadowej w omawianym okresie wynosiła  $343 \text{ mBq l}^{-1}$ .

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w 2017 r. wynosiła  $8,7 \text{ Bq m}^{-2}$  i była najwyższą wartością odnotowaną w latach 2000-2017, co było związane z pojawieniem się rutenu-106 w opadzie całkowitym w październiku. W omawianym okresie średnia aktywność promieniowania beta wahała się w przedziale od  $6 \text{ Bq m}^{-2}$  (2005) do  $8,7 \text{ Bq m}^{-2}$  (2017), a średnia aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego w badanym okresie wynosiła  $7,1 \text{ Bq m}^{-2}$ .

Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w opadzie atmosferycznym wynosiło  $0,032 \text{ Bq m}^{-2}$ . Najniższy dopływ  $^{137}\text{Cs}$  odnotowano w miesiącach: styczeń ( $0,010 \text{ Bq m}^{-2}$ ), sierpień ( $0,010 \text{ Bq m}^{-2}$ ), natomiast najwyższy wystąpił w maju ( $0,061 \text{ Bq m}^{-2}$ ) oraz w marcu ( $0,030 \text{ Bq m}^{-2}$ ). W okresie od 2000 do 2017 roku ładunek izotopu  $^{134}\text{Cs}$  zarejestrowany był jedynie w okresie marzec-maj 2011 r., kiedy nad Polskę dotarły skażone masy powietrza po awarii elektrowni atomowej Fukushima Daii-chi, 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 2017 wynosił  $0,315 \text{ Bq m}^{-2}$  i był niższy niż w roku 2016 ( $0,511 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Minimalny sumaryczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  przypadął na rok 2013 ( $0,262 \text{ Bq m}^{-2}$ ), maksymalny zaś odnotowano w 2011 i był na poziomie  $1,067 \text{ Bq m}^{-2}$ . W latach 2000 – 2017 średnia suma rocznych dopływów  $^{137}\text{Cs}$  wynosiła  $0,570 \text{ Bq m}^{-2}$ .

Roczny dopływ  $^{90}\text{Sr}$  wraz z opadem całkowitym w 2017 roku wynosił  $0,211 \text{ Bq m}^{-2}$  i był to najwyższy dopływ w latach 2000 -2017.

Na skutek awarii zakładów atomowych „Majak” pod koniec września, na początku października w Polsce odnotowano obecność  $^{106}\text{Ru}$  w całkowitym opadzie atmosferycznym.

W okresie od 2000 do 2017 roku spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy  $^7\text{Be}$  i  $^{40}\text{K}$ . Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  wypłukiwaniem tych izotopów z atmosfery. W roku 2017 średnie roczne ładunki pierwiastków:  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$  były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2017), a w przypadku  $^{228}\text{Ac}$  i  $^{226}\text{Ra}$  ładunek w roku 2017 był niższy od średniej z badanego okresu.