

**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 I  
RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI I ANALIZY  
ZA ROK 2015**



*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 inż. Anna Apanel  
Mgr Andrzej Czuryłowski  
Mgr Paweł Mischczuk  
Mgr Michał Saniewski  
Dr hab. inż. Tamara Zalewska

Sprawdził

Zatwierdził

## **Spis treści**

1. Cel i zakres pracy
2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych
  - 2.1. Pobór i przygotowanie próbek
  - 2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewnienia jakości pomiarów
3. Wyniki i omówienie wyników z 2015 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2014
  - 3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu
  - 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu
    - 3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa
    - 3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa
    - 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta
  - 3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego
    - 3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego
    - 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej
    - 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.4. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.5. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
4. Podsumowanie
5. Wnioski

## 1. Cel i zakres pracy

Pomiary radioaktywności w atmosferze prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy stanowią realizację programu Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 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 obejmuje pomiary od 1 stycznia 2015 do 31 grudnia 2015 r.

Pomiary od 1 stycznia 2015 r. do 30 września 2015 r. zostały wykonane w ramach umowy „Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych w latach 2013 – 2015”.

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 2015 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. Pobór i przygotowanie próbek

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

- a) Pobór próbek całkowitego opadu dobowego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do kuwety o powierzchni 1500 cm<sup>2</sup> napełnionej warstwą wody o grubości 1 cm eksponowanej przez okres 24 godzin, od godziny 6 UTC. Po zakończeniu ekspozycji próbki odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę spopiela się następnie w piecu muflowym w temperaturze 450° C. Otrzymany popiół przenosi się do aluminiowej miseczki pomiarowej. Wymiary miseczki pomiarowej są następujące: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać 50 mg cm<sup>-3</sup>, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- b) Pobór próbek całkowitego opadu miesięcznego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do trzech kuwet o łącznej powierzchni 4500 cm<sup>2</sup> eksponowanych przez okres jednego miesiąca od każdego pierwszego dnia danego miesiąca. Przyjęto, że próbce opadu całkowitego przypisuje się datę dnia, w którym rozpoczęto jej ekspozycję. Po zakończeniu ekspozycji próbki, zebraną wodę odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę spopiela się następnie w piecu muflowym w temperaturze 450°C. Otrzymany popiół przenosi się do aluminiowej miseczki pomiarowej. Wymiary miseczki pomiarowej są następujące: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać 50 mg cm<sup>-3</sup>, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- c) Pobór próbek aerozoli powietrza odbywa się poprzez wymuszony przepływ powietrza przez odpowiednie filtry w cyklach półgodzinnych i w takiej postaci poddane są pomiarom.

### 2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewniania jakości pomiarów

#### Pomiar mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu – Sonda TDSG

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

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

- równoważnika mocy dawki H\*(10) opartego o czuły detektor Geigera–Mullera (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 (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 filtru może być ciągły lub skokowy. Taśma filtracyjna prowadzona jest w obszarze gromadzenia pyłów na cylindrycznych łożyskach, przez który przepływa powietrze. Zapewnia to równomierne gromadzenie pyłu przy ciągłym i jednostajnym przesuwie filtru, bez ryzyka zerwania taśmy filtracyjnej.
- Szybki detektor Alfa/Beta umieszczony jest bezpośrednio nad powierzchnią gromadzącą pył i mierzy radioaktywność cząsteczek pyłu.
- Zespół gromadzenia pyłu i detektor ekranowane są osłoną ołowiową 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 filtru.
- Przy pomiarze Alfa-Beta, wpływ naturalnej radioaktywności kompensowany jest metodą stosunku Alfa/Beta lub opcjonalnie metodą połączenia pseudo koincydencji alfa-beta (ABPD) z dyskryminacją energii cząstek alfa (spektroskopia AED).
- Do rejestracji danych i ich oceny użyty jest wielokanałowy rejestrator typu LB9000 połączony z komputerowym rejestratorem danych typu PC.

Monitor LB 9128-MAXI składa się z następujących bloków:

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

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

Cząstki Alfa/Beta mierzone są w czasie rzeczywistym za pomocą diody krzemowej (Si-diode CAM-PIPS) o powierzchni  $1700 \text{ mm}^2$ . 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 (Ea 8,78 MeV), względnie do poprawiania metody ABPD z dyskryminacją energii Alfa, poprzez wybór progu dyskryminacji Alfa powyżej 6 MeV.

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

Zespół napędowy PLC i mechanizm przesuwu filtra z silnikiem krokowym. Zespół pompy, wyposażony w 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 osłonowym DO-1,
- Rejestratora komputerowego z oprogramowaniem do sterowania spektrometrem i archiwizacji danych pomiarowych.

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

Każdy z torów zawiera:

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

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

We wspólnej obudowie TDSPI zainstalowane są:

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

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

Jest wyposażona w:

- Scyntylator BETA typu SPF-32,
- fotopowielacz,
- podstawkę fotopowielacza zintegrowaną z 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 scyntylicyjnej,
2. ustawianie parametrów pracy torów spektrometrycznych przy podłączonych sondach pomiarowych (wysokie napięcie, wzmocnienie zgrubne i precyzyjne, czas pomiaru, ilość powtórzeń, próg dyskryminacji, zakres zliczania impulsów przez przelicznik),
3. funkcja przelicznika umożliwiająca zliczania impulsów z zadanego zakresu z obydwu torów spektrometrycznych w zadanym czasie z zadaną ilością powtórzeń,
4. wykonanie pomiarów kalibracyjnych, tła oraz aktywności próbek beta według ściśle założonej, uzgodnionej z Zamawiającym, procedury pomiarowej (wymuszającej przed pomiarem próbki wykonanie pomiaru tła oraz kalibracji wzorcem w zadanym parametrycznie czasie),
5. archiwizacja wyników pomiarowych w pamięci komputera,
6. kontrola prawidłowości mierzonych wartości w odniesieniu do bezwzględnych zakresów zmienności, a także wartości średniej wraz z odchyleniem standardowym,
7. blokowanie możliwości pomiaru poza okresem ważności współczynnika kalibracji,
8. generowanie raportów z przeprowadzonych pomiarów (na drukarce i w postaci plików pdf),
9. obsługa statusu próbek („prawidłowa”, „do ponownego pomiaru”, „do wysłania”, „wysłana”, „zniszczona”),
10. automatyczne wyznaczanie charakterystyki podłączonych sond i prezentacja jej na ekranie,
11. prezentacja wizualna zbieranych widm z podłączonych sond na ekranie oraz możliwość zapisu wykresów w formacie txt, xml, JPG, pdf,
12. zmiana parametrów pracy (HV, próg dyskryminacji, wzmocnienia, zakres zliczania impulsów) wymusza wykonanie ponownej kalibracji,
13. zapis i odczyt wszystkich bieżących i archiwalnych danych pomiarowych w plikach tekstowych oraz XML.

Wzory obliczeniowe:

1. Współczynnik kalibracji

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

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	$1,15 \text{ g cm}^{-3}$				
	Okres półrozpadu	Energia (MeV)	Aktywność (kBq)		
$^{241}\text{Am}$	$432,6 \pm 0,6 \text{ lat}$	0,026 0,060	$4,94 \pm 0,08$	$4,98 \pm 0,09$	$4,96 \pm 0,09$ $5,09 \pm 0,09$
$^{109}\text{Cd}$	$461,4 \pm 1,2 \text{ dni}$	0,088	$18,96 \pm 0,42$	$19,13 \pm 0,43$	$19,06 \pm 0,43$ $19,57 \pm 0,44$
$^{57}\text{Co}$	$271,80 \pm 0,05 \text{ dni}$	0,014 0,122 0,136	$0,85 \pm 0,01$	$0,85 \pm 0,01$	$0,85 \pm 0,01$ $0,87 \pm 0,01$
$^{51}\text{Cr}$	$27,703 \pm 0,003 \text{ dni}$	0,320	$19,32 \pm 0,35$	$19,49 \pm 0,35$	$19,42 \pm 0,35$ $19,94 \pm 0,36$
$^{113}\text{Sn}$	$115,09 \pm 0,03 \text{ dni}$	0,255 0,392	$3,41 \pm 0,08$	$3,44 \pm 0,08$	$3,43 \pm 0,08$ $3,52 \pm 0,08$
$^{85}\text{Sr}$	$64,850 \pm 0,007 \text{ dni}$	0,514	$2,90 \pm 0,05$	$2,93 \pm 0,05$	$2,92 \pm 0,05$ $3,00 \pm 0,05$
$^{137}\text{Cs}$	$30,05 \pm 0,08 \text{ lat}$	0,662	$3,82 \pm 0,08$	$3,85 \pm 0,08$	$3,84 \pm 0,08$ $3,94 \pm 0,08$
$^{54}\text{Mn}$	$312,13 \pm 0,03 \text{ dni}$	0,835	$4,79 \pm 0,09$	$4,83 \pm 0,09$	$4,81 \pm 0,09$ $4,94 \pm 0,09$
$^{65}\text{Zn}$	$244,01 \pm 0,09 \text{ dni}$	1,116	$9,51 \pm 0,15$	$9,60 \pm 0,15$	$9,56 \pm 0,15$ $9,82 \pm 0,15$
$^{60}\text{Co}$	$5,2710 \pm 0,0008 \text{ lat}$	1,173 1,332	$5,26 \pm 0,07$	$5,31 \pm 0,07$	$5,29 \pm 0,07$ $5,43 \pm 0,07$

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, przeprowadzanych 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 pikie.

Limity detekcji zostały policzone dla poziomu ufności 0,70, przy założeniu, że czas pomiaru tła jest taki sam, jak czas pomiaru próbki.

Aktywność właściwą poszczególnych radionuklidów wyznaczano na podstawie zależności:

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

gdzie:

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

$\lambda_i$  – stała rozpadu,

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

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

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

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

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

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

ETAP I – Chemiczne oczyszczanie próbki

1. Przeprowadzenie izotopu <sup>90</sup>Sr z próby opadu do roztworu.

Próbkę opadu miesięcznego o znanej masie umieszcza się w zlewce, zwilża wodą destylowaną i dodaje ok. 200 ml kwasu azotowego HNO<sub>3</sub> (1:1). Próbkę odparowuje się w ciągu 8 godzin, mieszając od czasu do czasu. Pozostałość w zlewce przesącza się przez twardy sączek. Osad jest odrzucany, przesącz uzupełniony wodą destylowaną do uzyskania 150 ml objętości.

2. Wytrącanie szczawianów.

- Do 150 ml przesączu dodaje się 100 ml 8% kwasu 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°C w celu całkowitego wytrącenia osadu. Po opadnięciu osadu roztwór dekantuje się z nad osadu szczawianów.

- Osad szczawianów rozpuszcza się w roztworze (1:1) HNO<sub>3</sub> (na początku dodajemy kilka mililitrów kwasu, następnie dozujemy kwas kroplami aż do całkowitego rozpuszczenia osadu).

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

3. Spopielanie osadu.

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

4. Rozpuszczanie popiołu.

Osad w tygłu 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  $\text{HNO}_3$ , 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  $\text{HNO}_3$  (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.  $60^\circ\text{C}$ , do całkowitego wytrącenia szczawianów.

9. Przygotowanie próbki do pomiarów.

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

ETAP III – Pomiar aktywności

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

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

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

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

$N_0$  – ilość impulsów na minutę netto (wynikająca z różnicy pomiędzy całkowitą ilością impulsów na



minutę –  $N$  i ilością impulsów na minutę tła –  $N_t$  )

$\eta$  - współczynnik kalibracji [Bq/imp/min]

$S$  – powierzchnia zbierająca [ $m^2$ ]

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

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

$t_0$  – godzina oddzielenia osadu od roztworu

$t_1$  – godzina odpowiadająca połowie czasu pomiaru próbki

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

Błąd pomiaru:

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

$\sigma$ - błąd pomiaru [ $Bq m^{-2}$ ]

$t_p$  – czas pomiaru próby [min]

$t_{pt}$  – czas pomiaru tła [min]

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



### 3. Wyniki i omówienie wyników z 2015 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2014

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

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

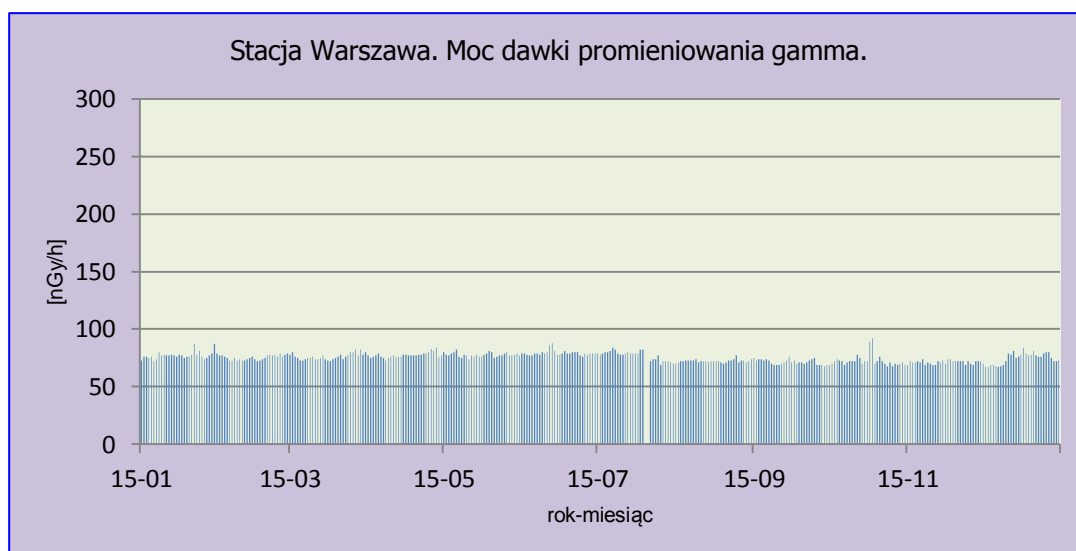
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2015

Poziom promieniowania gamma związany z obecnością izotopów emitujących ten rodzaj promieniowania jonizującego w jednostce czasu określany jest za pomocą mocy dawki. W 2015 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 stosunkowo szerokim zakresie (Rys. 2-10), od najniższej średniej miesięcznej wartości 71,3 nGy h<sup>-1</sup> uzyskanej w listopadzie na stacji Warszawa do maksymalnej zarejestrowanej w sierpniu w Zakopanem – 126,5 nGy h<sup>-1</sup> (Tabela 1).

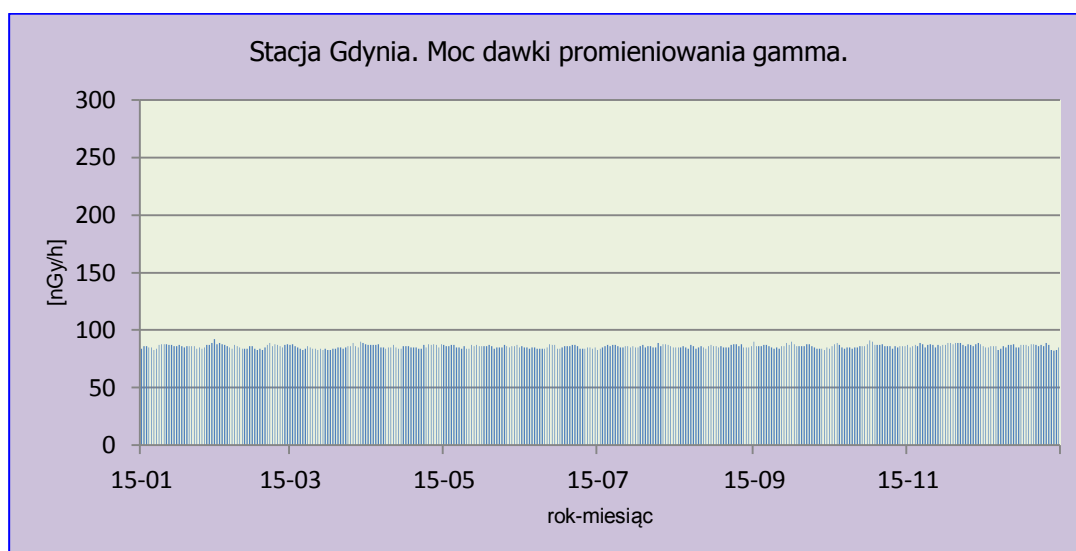
Zbliżone średnie miesięczne uzyskane z wartości dobowych odnotowano odpowiednio na stacjach: Warszawa i Świnoujście (ok. 75 nGy h<sup>-1</sup>), Gdynia i Gorzów Wielkopolski (ok. 86 nGy h<sup>-1</sup>) oraz Mikołajki, Legnica i Lesko (ok. 100 nGy h<sup>-1</sup>). Najniższe średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w skali roku charakteryzowały okolice Warszawy, gdzie średnia roczna dobowa uzyskana ze wszystkich miesięcy wyniosła 75,2 nGy h<sup>-1</sup>. W Mikołajkach oraz w południowej części Polski (Zakopane, Lesko) gdzie zazwyczaj występuje podwyższony poziom promieniowania, średnie roczne dobowe czyli średnie z 365 dni dla każdej stacji były na poziomie 101,7; 115,7; 104,4 nGy h<sup>-1</sup>. Biorąc pod uwagę wyniki średnich wartości obliczonych dla poszczególnych miesięcy ze wszystkich stacji, wahały się one w granicy od 86,1 nGy h<sup>-1</sup> do 94,7 nGy h<sup>-1</sup>. W 2015 roku średnia roczna ze wszystkich stacji - 91,5 nGy h<sup>-1</sup> była bardzo zbliżona do wartości odnotowanej w roku ubiegłym (92,0 nGy h<sup>-1</sup>). Otrzymane wyniki wskazują na brak zmienności sezonowej, co oznacza, że głównym elementem determinującym moc dawki promieniowania gamma jest lokalizacja geograficzna.

Tabela 1. Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu w 2015 roku, nGy h<sup>-1</sup>.

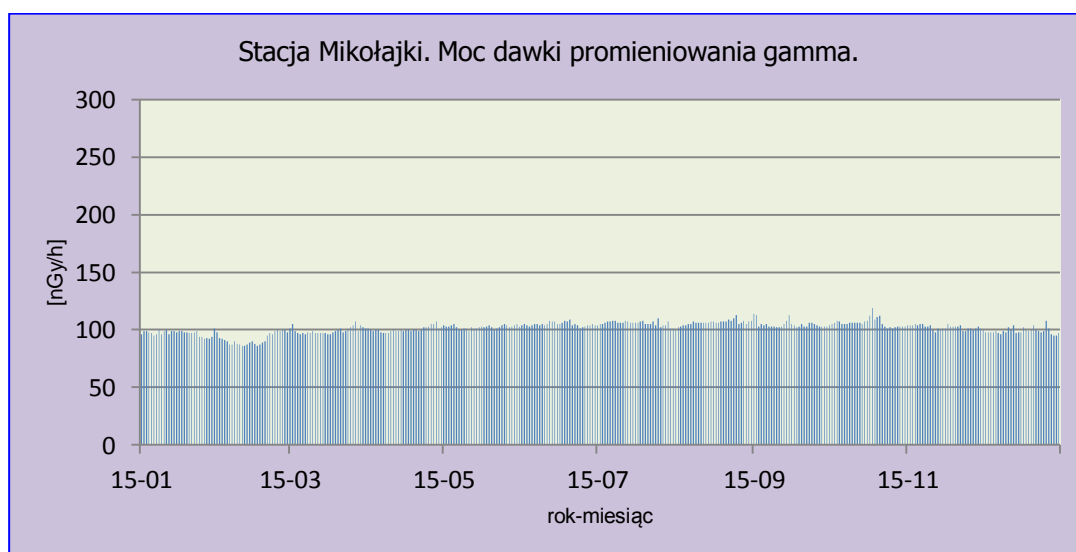
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	77,3	86,2	97,1	85,3	76,1	93,9	79,2	107,6	100,8	89,3
Luty	75,4	85,8	91,7	84,5	75,3	93,9	77,8	94,8	95,4	86,1
Marzec	76,3	85,2	99,3	84,7	75,1	94,4	78,3	97,9	101,8	88,1
Kwiecień	77,4	85,9	100,3	85,2	75,3	95,6	78,9	114,2	102,3	90,6
Maj	77,7	85,8	102,4	86,1	74,9	99,2	79,5	119,1	103,9	92,1
Czerwiec	79,4	85,2	104,9	89,2	74,8	98,2	79,4	119,7	105,5	92,9
Lipiec	77,2	85,9	105,7	89,9	75,6	101,5	80,9	124,4	107,8	94,3
Sierpień	72,3	85,7	106,2	87,9	76,4	104,6	81,4	126,5	110,9	94,7
Wrzesień	71,5	86,1	104,8	86,5	75,7	103,9	81,4	124,7	110,0	93,8
Październik	72,6	86,3	105,9	87,9	76,7	103,7	81,2	121,5	106,5	93,6
Listopad	71,3	87,3	102,3	87,0	77,1	100,0	80,2	119,1	105,7	92,2
Grudzień	74,6	85,9	99,1	85,0	75,4	95,1	78,4	117,0	102,1	90,3
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	71,3	85,2	91,7	84,5	74,8	93,9	77,8	94,8	95,4	85,5
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	79,4	87,3	106,2	89,9	77,1	104,6	81,4	126,5	110,9	95,9
<b>Średnia roczna dobowo dla 2015r.</b>	75,2	85,9	101,7	86,6	75,7	98,7	79,7	115,7	104,4	<b>91,5</b>



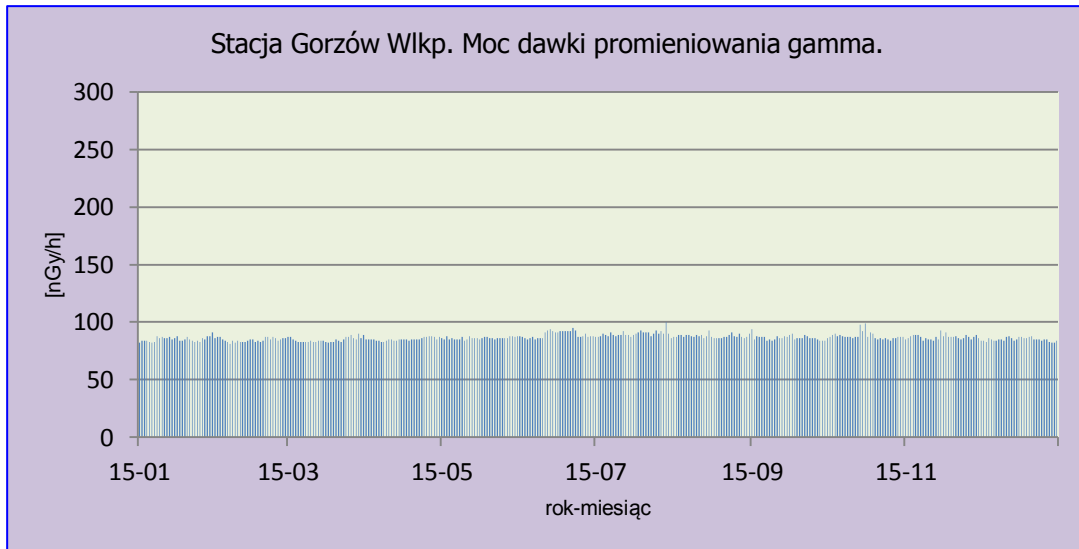
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2015 roku.



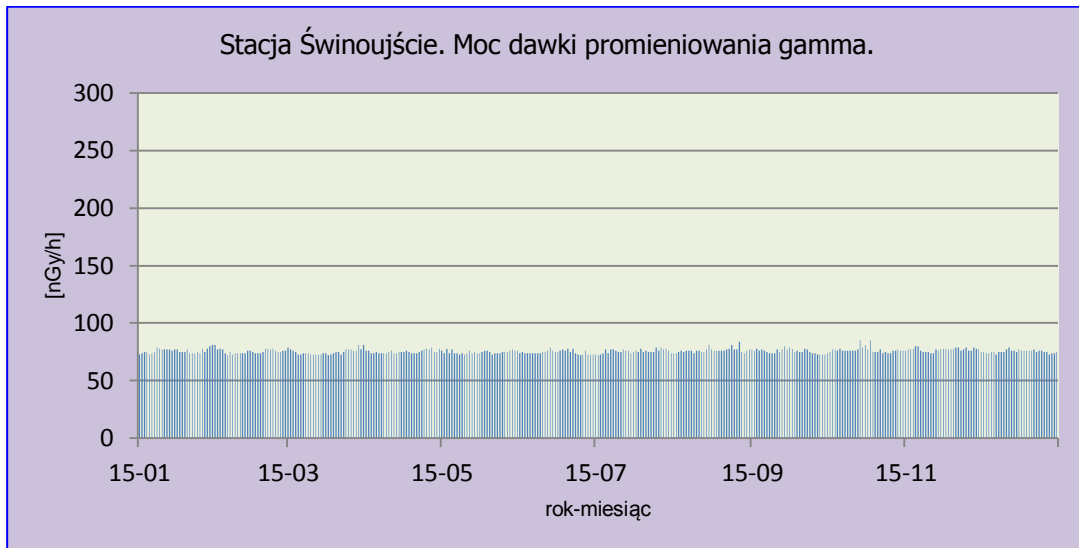
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2015 roku.



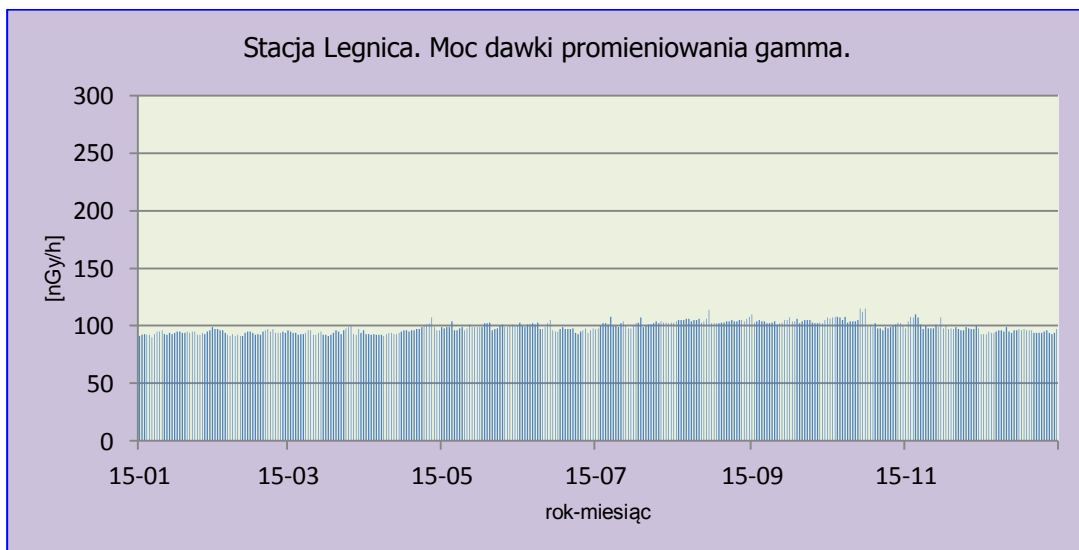
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2015 roku.



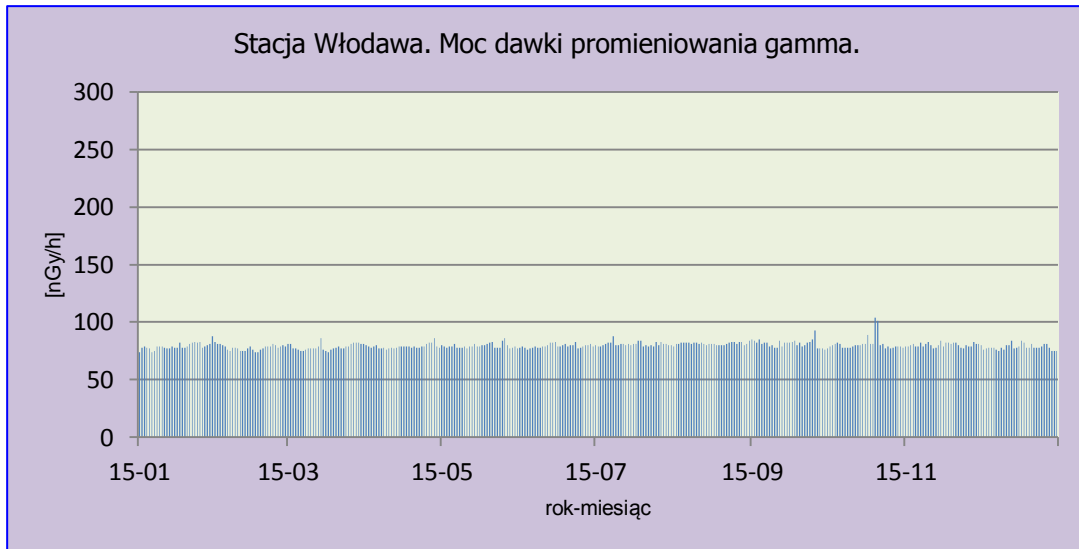
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2015 roku.



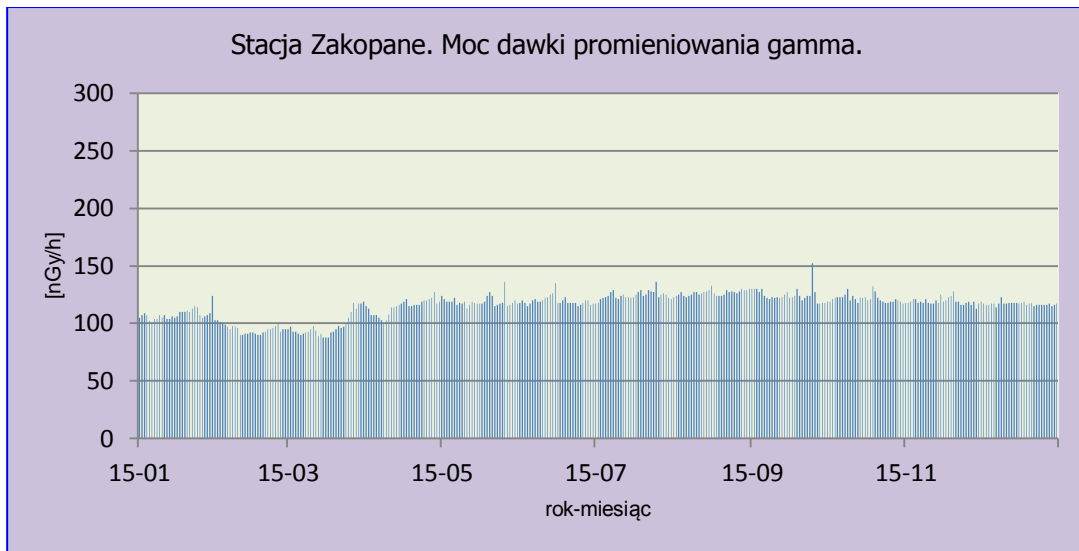
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2015 roku.



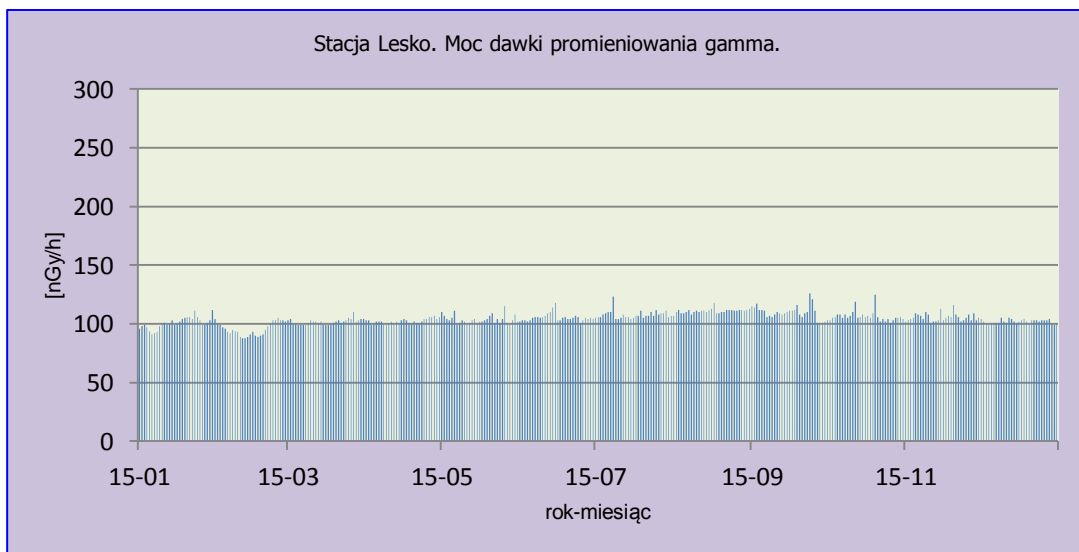
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2015 roku.



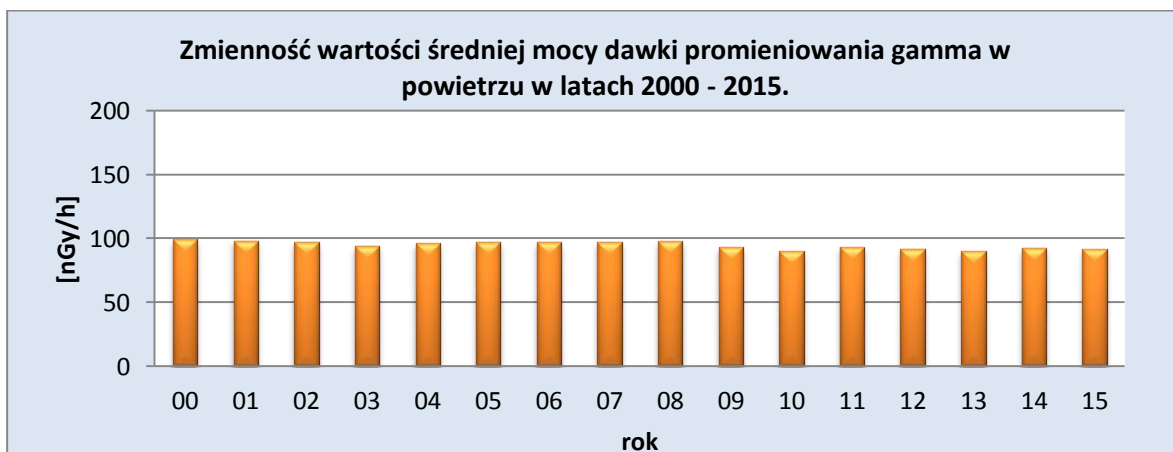
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2015 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 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 2015 roku wynosiła  $91,5 \text{ nGy h}^{-1}$  i była niższa od obserwowanej w roku poprzednim o  $0,5 \text{ nGy h}^{-1}$  (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 - 2015 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. W omawianym okresie wartości te zmieniały się w stosunkowo wąskim przedziale od  $89,6 \text{ nGy h}^{-1}$  w 2010 roku do  $99,1 \text{ nGy h}^{-1}$ , wartości, która charakteryzowała rok 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach utrzymuje się na poziomie  $94,6 \text{ nGy h}^{-1}$ .

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2015,  $\text{nGy h}^{-1}$ .

Rok	Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma
2000	99,1
2001	98,3
2002	96,7
2003	93,8
2004	96,1
2005	96,8
2006	96,7
2007	96,6
2008	97,7
2009	93,1
2010	89,6
2011	93,3
2012	91,8
2013	90,1
2014	92,0
<b>2015</b>	<b>91,5</b>
Średnia	94,6
Minimalna	89,6
Maksymalna	99,1



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2015.

## 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

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

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

Zmienność obserwowanych parametrów pomiarowych zależy również od warunków meteorologicznych.

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

Promieniowanie alfa - cząstki alfa są to atomy helu pozbawione powłok elektronowych powstające podczas reakcji jądrowych. Składają się z dwóch protonów i dwóch elektronów.

Promieniowanie beta są to elektrony powstające w wyniku reakcji jądrowych jak np. zderzeń jąder atomowych z cząstkami.

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

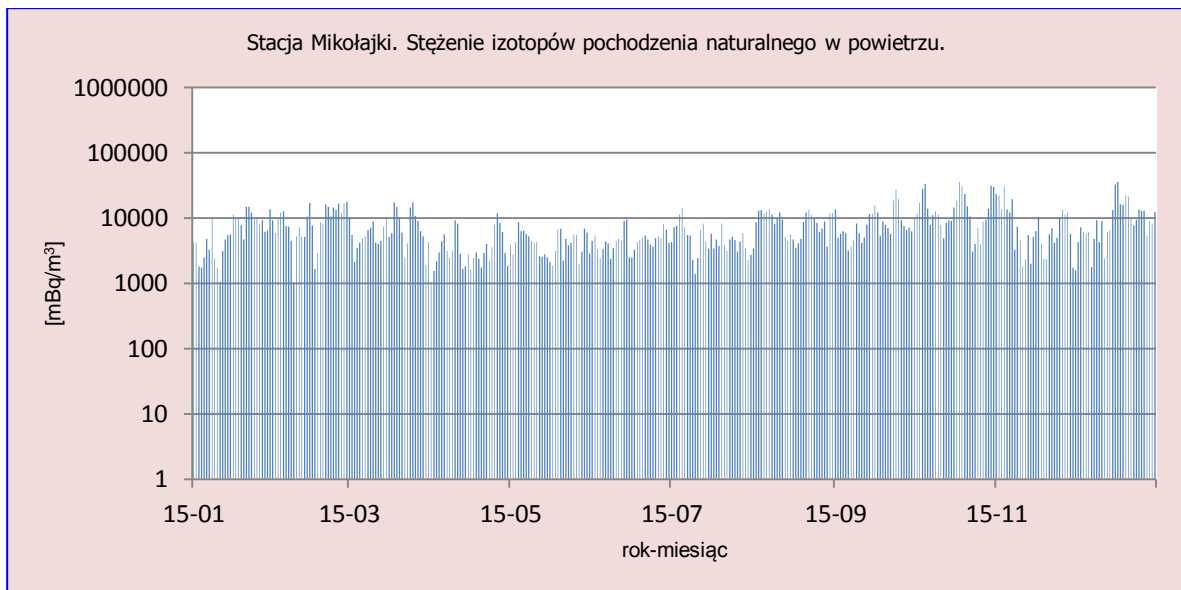
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2015

Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych w 2015 roku zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością  $1,2 \text{ Bq m}^{-3}$  charakteryzowały się aerozole zbierane w styczniu i marcu na stacji Świnoujście, gdzie najwyższa uzyskana wartość, odnotowana dla tej miejscowości w październiku, wynosiła  $8,1 \text{ Bq m}^{-3}$ . Najwyższe średnie miesięczne stężenie izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa ( $26,8 \text{ Bq m}^{-3}$ ) odnotowano w lutym na stacji Zakopane oraz w następnej kolejności w październiku w Mikołajkach ( $14,8 \text{ Bq m}^{-3}$ ) oraz w grudniu w Legnicy ( $14,4 \text{ Bq m}^{-3}$ ). Wartości średnich rocznych dobowych czyli średnich z 365 dni dla każdej stacji mieściły się w zakresie od  $3,3 \text{ Bq m}^{-3}$  (Świnoujście) do  $12,6 \text{ Bq m}^{-3}$  (Zakopane).

Analizując wszystkie wyniki otrzymane na 7 stacjach stwierdzono, że zdecydowana większość minimalnych stężeń pojawia się w pierwszej połowie roku, zaś maksymalne średnie wartości przypadają na okres jesienno – zimowy. Średnie wartości stężeń wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z danych uzyskanych na 7 badanych stacjach zmieniały się od wartości  $3,7 \text{ Bq m}^{-3}$  charakteryzującej próbki w kwietniu do wartości obliczonej z danych uzyskanych w październiku –  $10,1 \text{ Bq m}^{-3}$ .

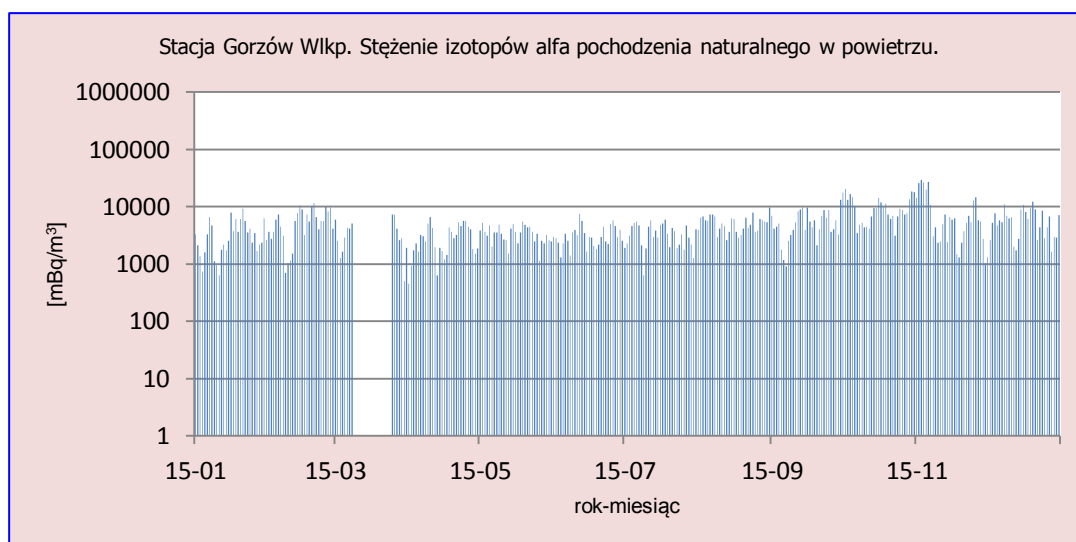
Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promien. izotopów alfa pochodzenia nat. w aerozolach w 2015, Bq m<sup>-3</sup>.

Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	6,9	3,4	1,2	4,8	6,2	12,6	8,9	6,3
Luty	9,8	5,7	1,7	9,9	7,1	26,8	8,7	10,0
Marzec	7,3	3,6	1,2	9,4	5,6	14,4	6,4	6,9
Kwiecień	3,9	3,0	1,4	5,8	3,2	4,9	3,8	3,7
Maj	4,4	3,4	1,9	8,0	4,0	7,2	5,0	4,8
Czerwiec	4,7	3,2	2,0	7,8	5,0	11,8	7,2	6,0
Lipiec	5,2	3,4	2,2	8,7	5,0	10,4	8,1	6,1
Sierpień	8,9	5,2	4,1	8,3	9,1	13,7	10,7	8,6
Wrzesień	9,0	5,4	4,1	4,0	7,9	9,2	6,9	6,6
Październik	14,8	9,9	8,1	5,4	8,8	15,3	8,5	10,1
Listopad	9,0	9,0	7,5	7,0	6,1	10,1	10,6	8,5
Grudzień	10,9	5,8	4,6	14,4	5,4	12,5	7,9	8,8
<b>Maks. średnia miesięczna</b>	14,8	9,9	8,1	14,4	9,1	26,8	10,7	14,8
<b>Min. średnia miesięczna</b>	3,9	3,0	1,2	4,0	3,2	4,9	3,8	3,9
<b>Średnia roczna dobową, 2015r.</b>	7,9	5,1	3,3	7,8	6,1	12,6	7,7	<b>7,2</b>

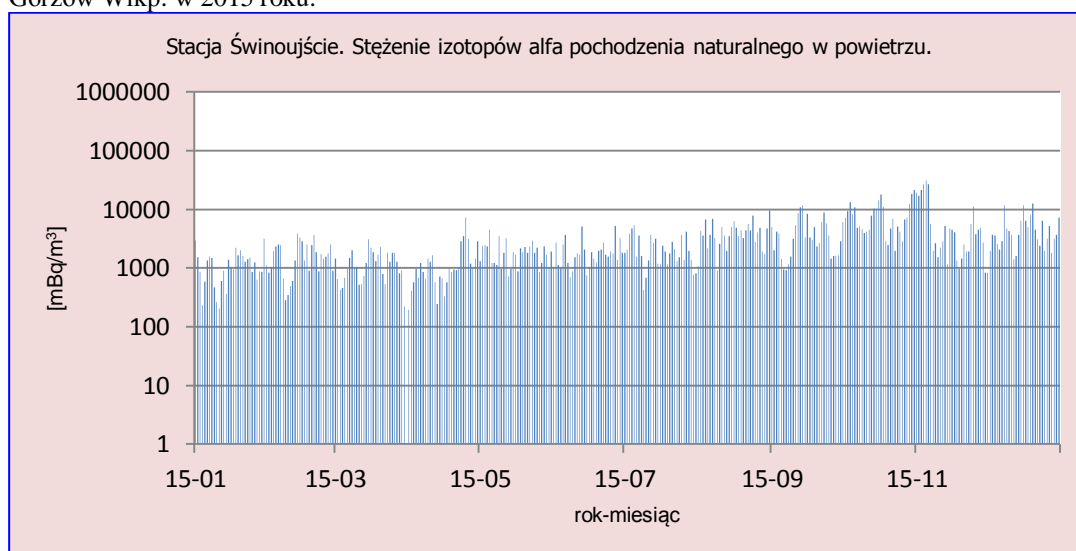


Rys.12. Stężenie prom. izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2015 roku.

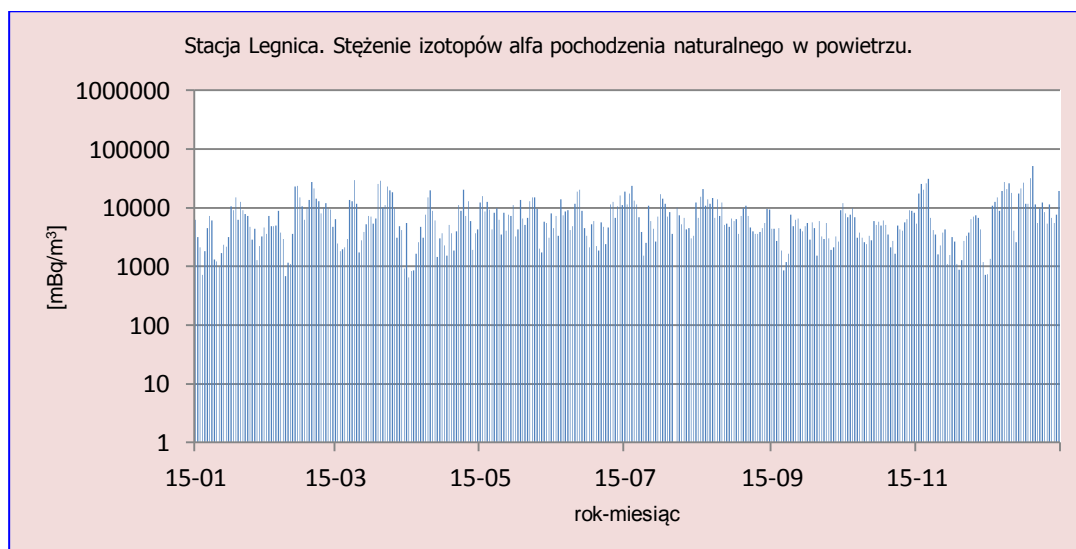




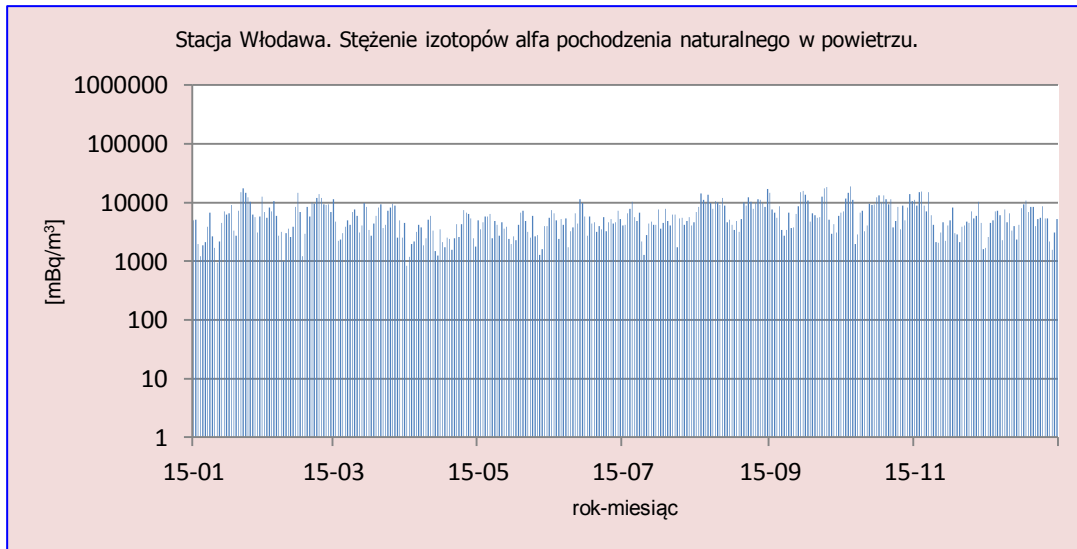
Rys.13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2015 roku.



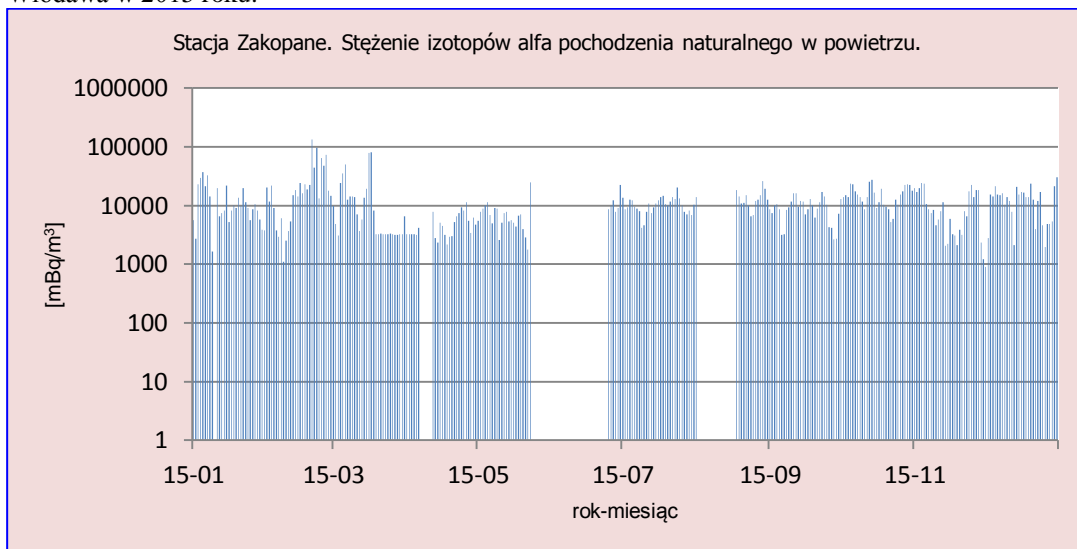
Rys.14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2015 roku.



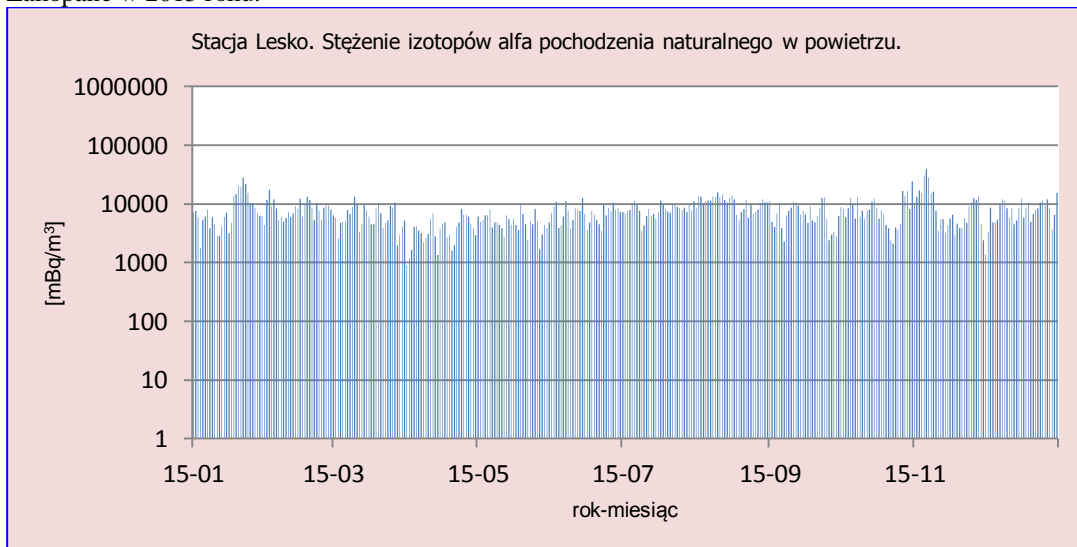
Rys.15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys.16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Zakopane w 2015 roku.



Rys.18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Lesko w 2015 roku.

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W roku 2015 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było tylko o 0,2 Bq m<sup>-3</sup> niższe niż w ubiegłym roku i wynosiło 7,2 Bq m<sup>-3</sup>. Zbliżone wartości otrzymano również w latach: 2003 -2005, 2007 oraz 2010 i 2011. W okresie ostatnich 15 lat nie obserwuje się jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie (4,9 Bq m<sup>-3</sup>) charakteryzowało rok 2001, najwyższe natomiast (8,6 Bq m<sup>-3</sup>) wystąpiło w 2008 roku. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2015 wynosi 7,0 Bq m<sup>-3</sup> (Tabela 4). Zmienność zmierzonych wartości jak wspomniano na początku rozdziału wynika z czynników meteorologicznych a także naturalnych procesów zachodzących w skorupie ziemskiej także pod wpływem promieniowania kosmicznego. Zmienność ta dotyczy zarówno ww. parametrów a także omówionych na kolejnych stronach tego raportu.

Tabela 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2015, Bq m<sup>-3</sup>.

Rok	Średnie roczne stężenie
2000	5,6
2001	4,9
2002	6,3
2003	7,8
2004	7,1
2005	7,4
2006	8,0
2007	7,5
2008	8,6
2009	8,2
2010	7,0
2011	7,4
2012	6,0
2013	5,3
2014	7,4
<b>2015</b>	<b>7,2</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 2015

Na wszystkich stacjach, gdzie prowadzone były pomiary stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa z wyjątkiem Świnoujścia i Włodawy, odnotowano miesięczne wartości minimalne pozostające powyżej limitów detekcji. Mieściły się one w przedziale od 0,001 Bq m<sup>-3</sup> do 0,011 Bq m<sup>-3</sup> (Tabela 5, Rys. 19-25). Maksymalna średnia miesięczna wartość (0,599 Bq m<sup>-3</sup>) wystąpiła na stacji Zakopane.

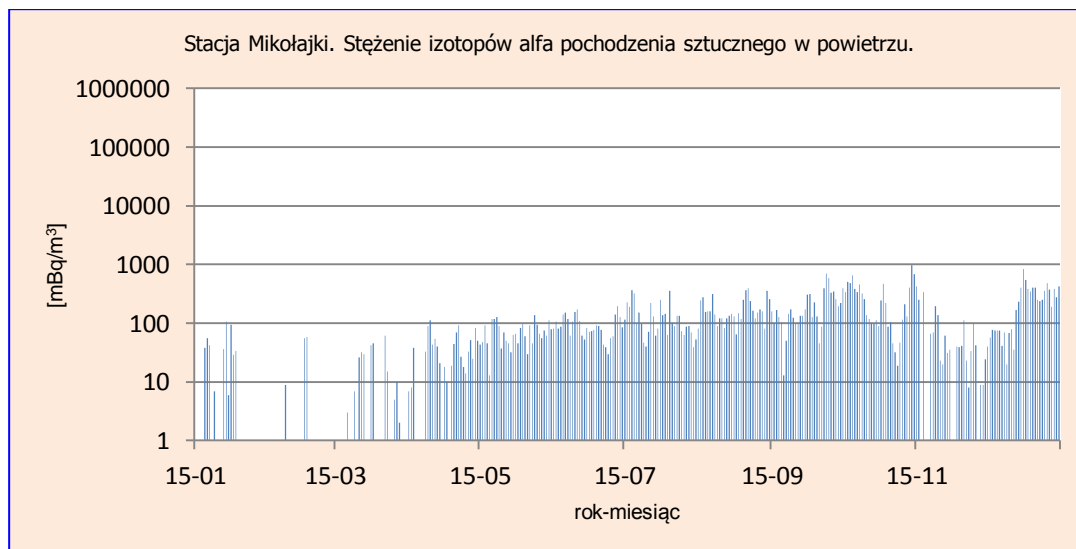
Stosunkowo wysokie wartości pojawiły się również w Mikołajkach ( $0,277 \text{ Bq m}^{-3}$ ) i Legnicy ( $0,243 \text{ Bq m}^{-3}$ ), gdzie odnotowano także najwyższe średnie wartości dobowe w skali roku.

Średnia obliczona dla kolejnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniała się w stosunkowo szerokim zakresie (w porównaniu z zeszłymi latami) od  $0,024 \text{ Bq m}^{-3}$  – wartości wyznaczonej w lutym, do  $0,135 \text{ Bq m}^{-3}$  – wartości wyznaczonej z danych w lipcu. Średnia roczna dobową czyli średnia ze wszystkich dni kiedy były uzyskane pomiary obliczona dla wszystkich stacji utrzymuje się na poziomie  $0,074 \text{ Bq m}^{-3}$ .

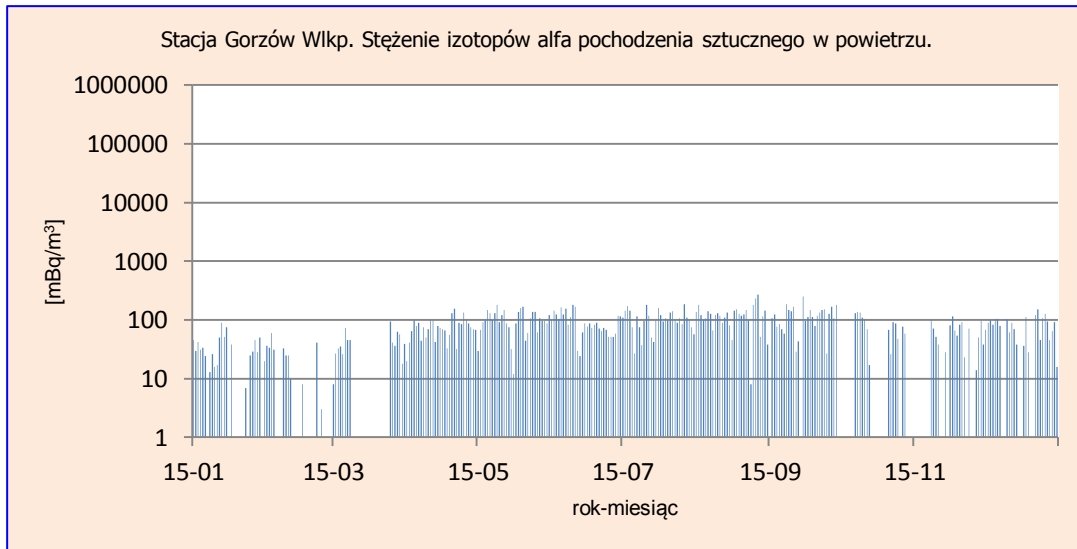
Poziom promieniowania alfa pochodzenia sztucznego stanowił ok. 1,0% poziomu radioaktywności związanego z promieniowaniem alfa ze źródeł naturalnych, dla porównania w ubiegłym roku procent ten wynosił zaledwie 0,4%.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolach w 2015 roku,  $\text{Bq m}^{-3}$ .

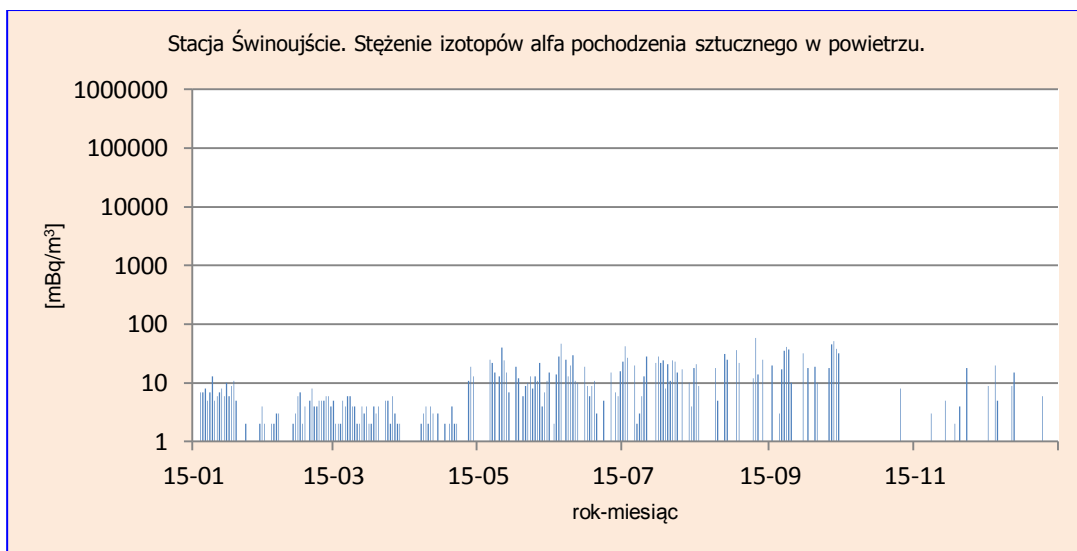
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,014	0,025	0,004	0,152	0,000	0,055	0,018	0,038
Luty	0,004	0,011	0,003	0,135	0,001	0,009	0,005	0,024
Marzec	0,009	0,043	0,003	0,114	0,001	0,330	0,002	0,072
Kwiecień	0,033	0,076	0,003	0,149	0,018	0,348	0,024	0,093
Maj	0,071	0,102	0,010	0,243	0,016	0,243	0,011	0,099
Czerwiec	0,094	0,094	0,010	0,235	0,028	0,081	0,015	0,080
Lipiec	0,132	0,105	0,013	0,046	0,034	0,599	0,015	0,135
Sierpień	0,178	0,121	0,009	0,026	0,050	0,220	0,031	0,091
Wrzesień	0,203	0,107	0,014	0,022	0,064	0,219	0,025	0,094
Październik	0,277	0,037	0,000	0,017	0,044	0,054	0,029	0,066
Listopad	0,071	0,036	0,001	0,022	0,027	0,096	0,001	0,036
Grudzień	0,248	0,065	0,002	0,010	0,036	0,046	0,003	0,059
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,004	0,011	0,000	0,010	0,000	0,009	0,001	
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	0,277	0,121	0,014	0,243	0,064	0,599	0,031	
<b>Średnia roczna dobową dla 2015 r.</b>	0,112	0,070	0,006	0,097	0,027	0,193	0,015	<b>0,074</b>



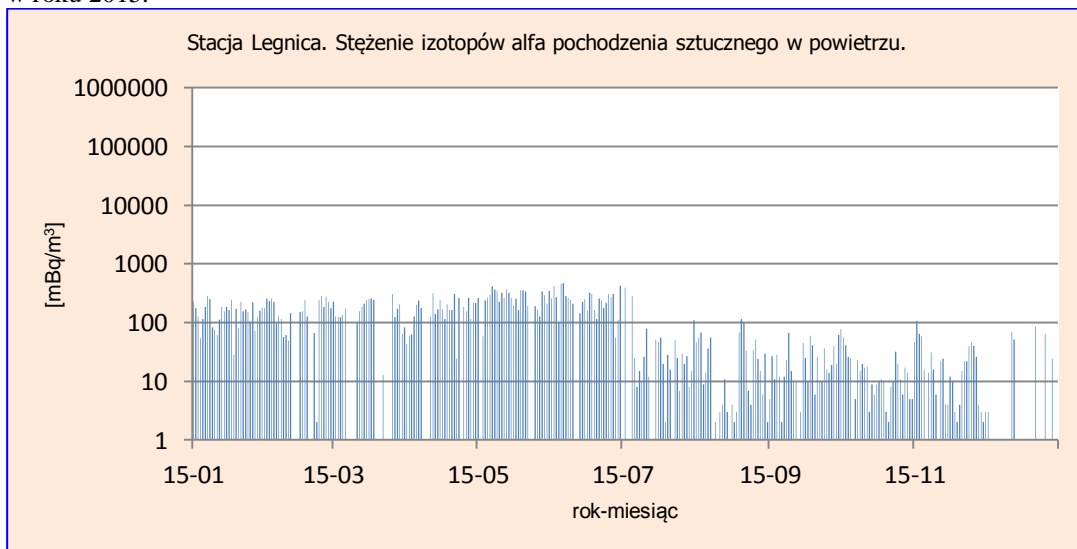
Rys.19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2015 roku.



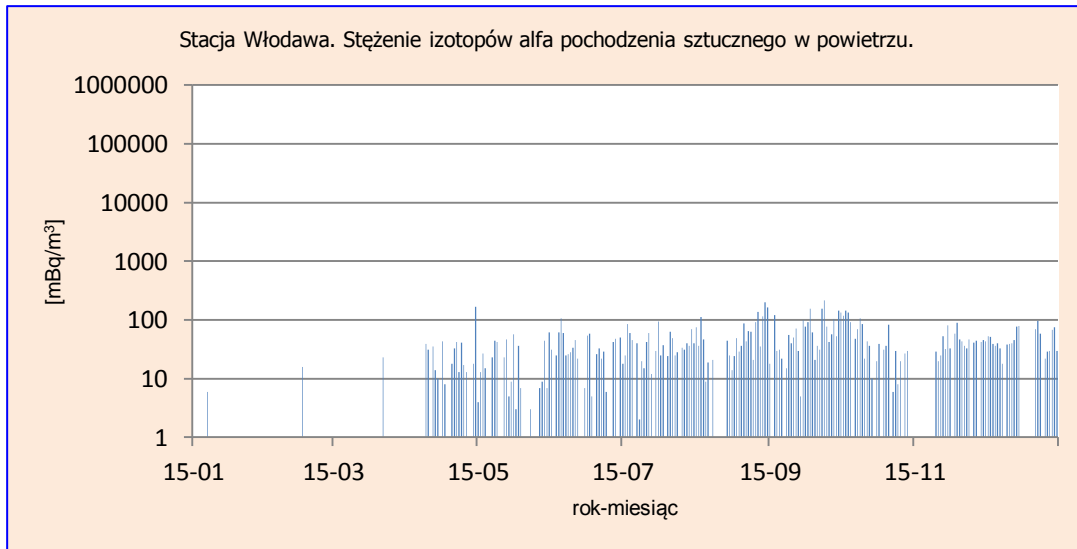
Rys.20. Radioaktywność izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2015 roku.



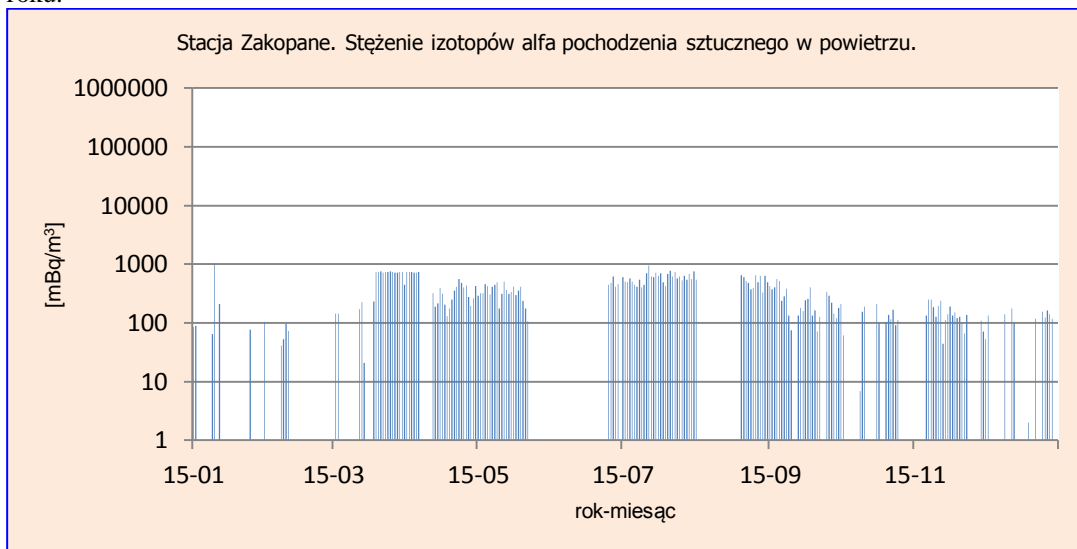
Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w roku 2015.



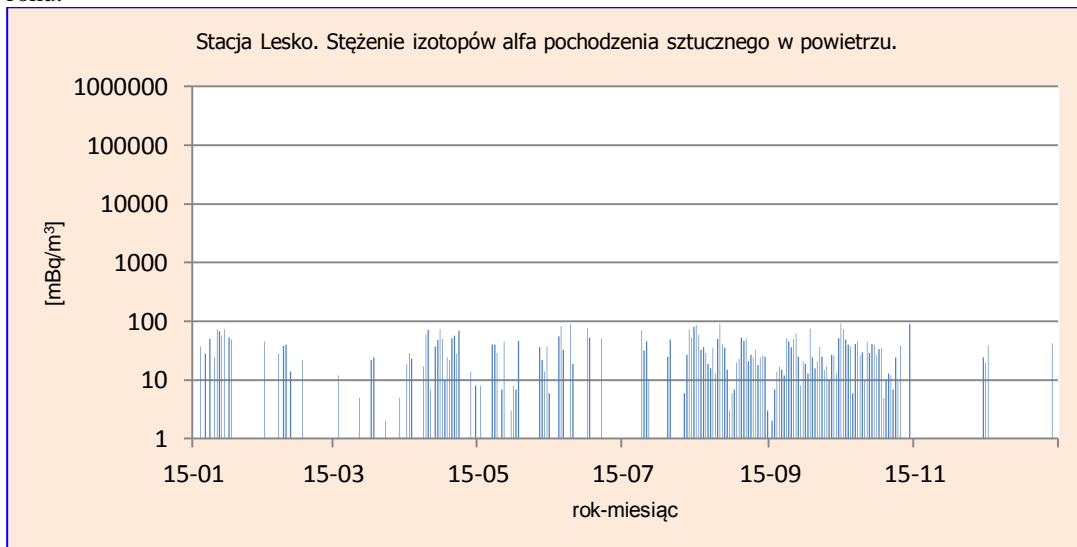
Rys.22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys.24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2015 roku.



Rys.25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2015 roku.

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2015 roku wyniosło  $0,074 \text{ Bq m}^{-3}$  i było to najwyższe stężenie odnotowane od 2000 roku. W latach 2000 – 2015 najniższe średnie roczne stężenie  $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$  odnotowano w 2001 roku (Tabela 6), natomiast średnia uzyskana ze wszystkich wartości w badanym okresie utrzymuje się na poziomie  $0,028 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa pochodzenia sztucznego w latach 2000 – 2015,  $\text{Bq m}^{-3}$

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
<b>2015</b>	<b>0,074</b>
Średnia	0,028
Maksymalna	0,074
Minimalna	0,004



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

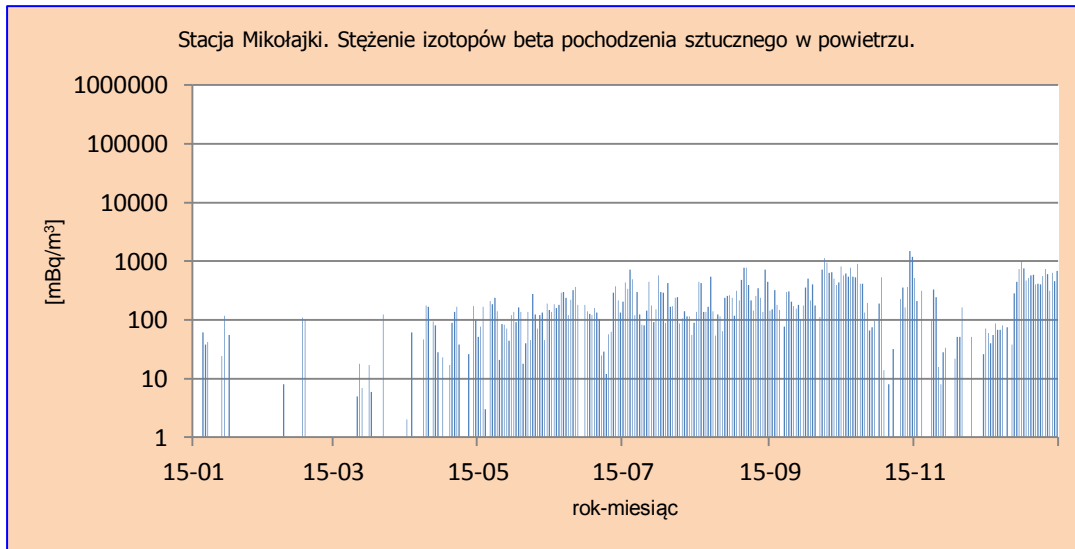
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2015

Średnie wartości stężeń izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta na stacji Włodawa, w miesiącach od stycznia do marca pozostawały poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. W pozostałych przypadkach wyniki mieściły się w zakresie od 0,001 Bq m<sup>-3</sup> - średniej miesięcznej zanotowanej we wrześniu na stacji Lesko do maksymalnej średniej charakterystycznej dla Zakopanego w lipcu 2015 r. - 1,310 Bq m<sup>-3</sup> (Tabela 7, Rys. 26-32).

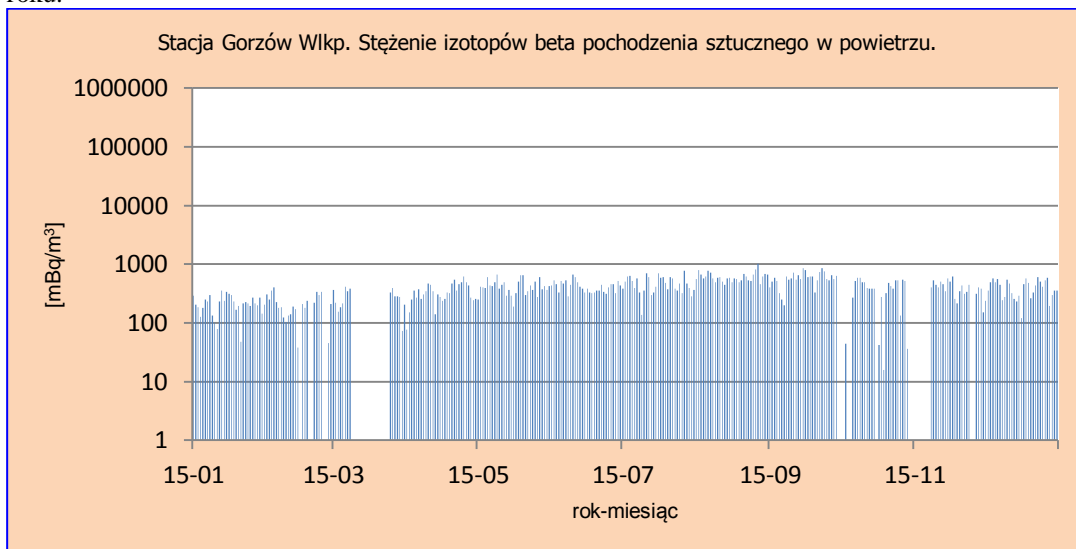
Najwyższe średnie wartości roczne obliczone na podstawie średnich uzyskanych dla wszystkich miesięcy zarejestrowano na stacjach: Zakopane (0,442 Bq m<sup>-3</sup>) oraz Gorzów Wlkp. (0,377 Bq m<sup>-3</sup>). Kilkunastokrotnie niższą wartość zanotowano we Włodawie 0,041 Bq m<sup>-3</sup>. Średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników otrzymanych na 7 stacjach pomiarowych były dosyć zbliżone. Najwyższe wyniki otrzymano w miesiącach od kwietnia do lipca (0,379 Bq m<sup>-3</sup> oraz 0,290 Bq m<sup>-3</sup>, najniższe w lutym i listopadzie, odpowiednio: 0,0143 Bq m<sup>-3</sup> i 0,0131 Bq m<sup>-3</sup>. Taki układ mógłby sugerować zależność aktywności beta w aerozolu od sezonu, wskazując na większe stężenia w miesiącach letnich związane z tempem wymywania aerozoli przez deszcz.

Tabela 7. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu w 2015 roku, Bq m<sup>-3</sup>.

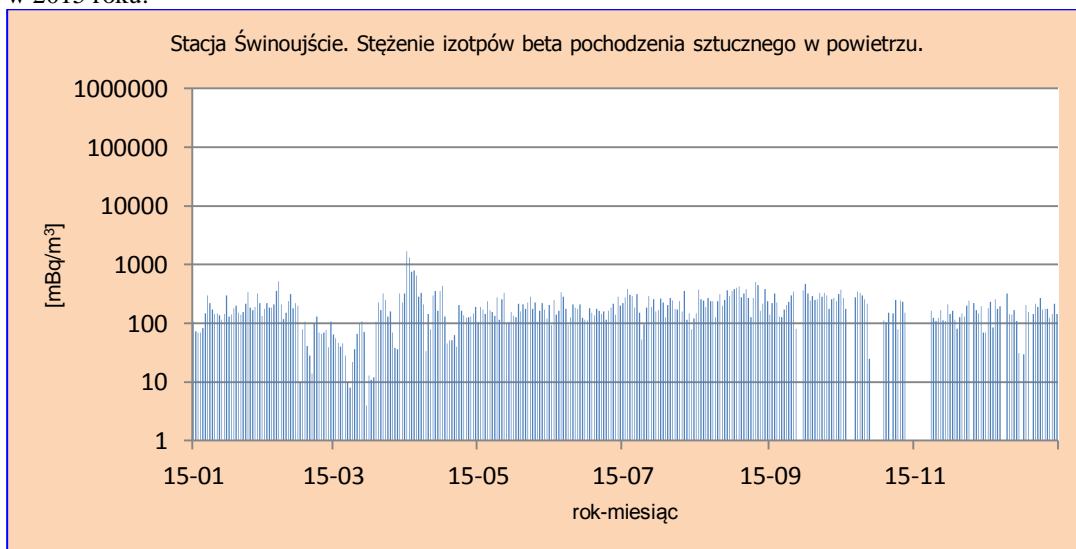
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Srednia
Styczeń	0,011	0,215	0,171	0,519	0,000	0,096	0,192	0,172
Luty	0,008	0,175	0,152	0,509	0,000	0,030	0,129	0,143
Marzec	0,006	0,277	0,101	0,396	0,000	0,642	0,126	0,221
Kwiecień	0,048	0,339	0,318	0,524	0,022	0,723	0,259	0,319
Maj	0,109	0,424	0,180	0,840	0,010	0,555	0,255	0,339
Czerwiec	0,163	0,423	0,174	0,838	0,025	0,184	0,226	0,290
Lipiec	0,230	0,470	0,208	0,134	0,023	1,310	0,278	0,379
Sierpień	0,293	0,616	0,288	0,131	0,011	0,420	0,021	0,254
Wrzesień	0,327	0,556	0,241	0,082	0,029	0,664	0,001	0,271
Październik	0,364	0,284	0,131	0,006	0,022	0,211	0,003	0,146
Listopad	0,072	0,280	0,109	0,005	0,149	0,288	0,009	0,131
Grudzień	0,362	0,399	0,144	0,119	0,200	0,143	0,065	0,205
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	0,006	0,175	0,101	0,005	0,000	0,030	0,001	
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	0,364	0,616	0,318	0,840	0,200	1,310	0,278	
<b>Średnia roczna dobową, 2015r.</b>	0,167	0,377	0,185	0,341	0,041	0,442	0,130	<b>0,241</b>



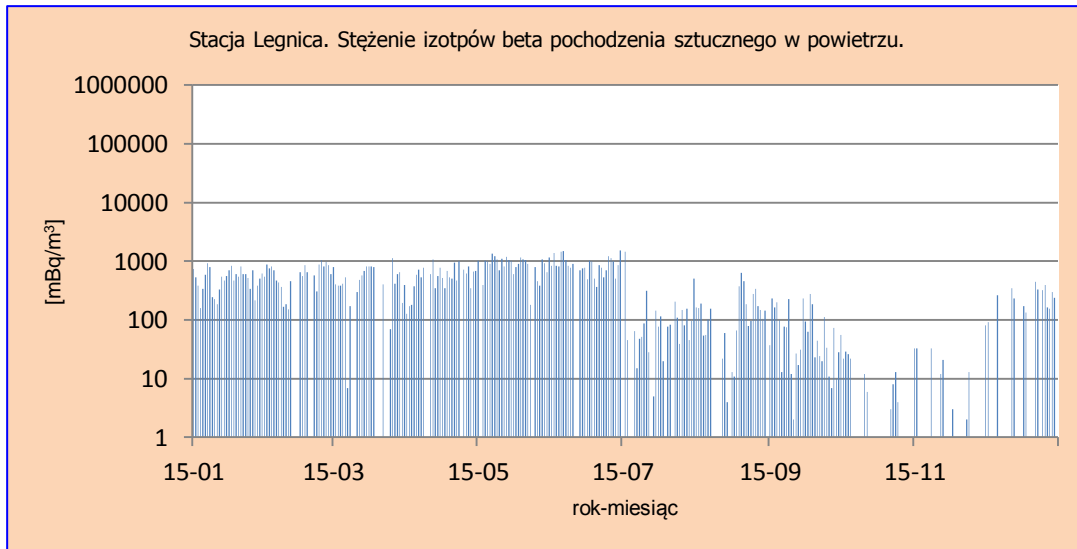
Rys.26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2015 roku.



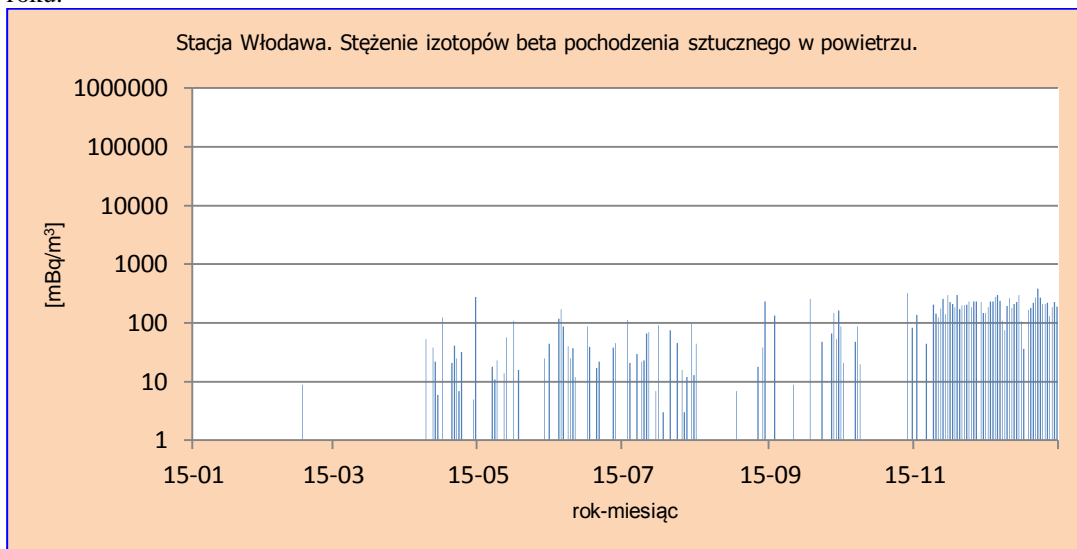
Rys.27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2015 roku.



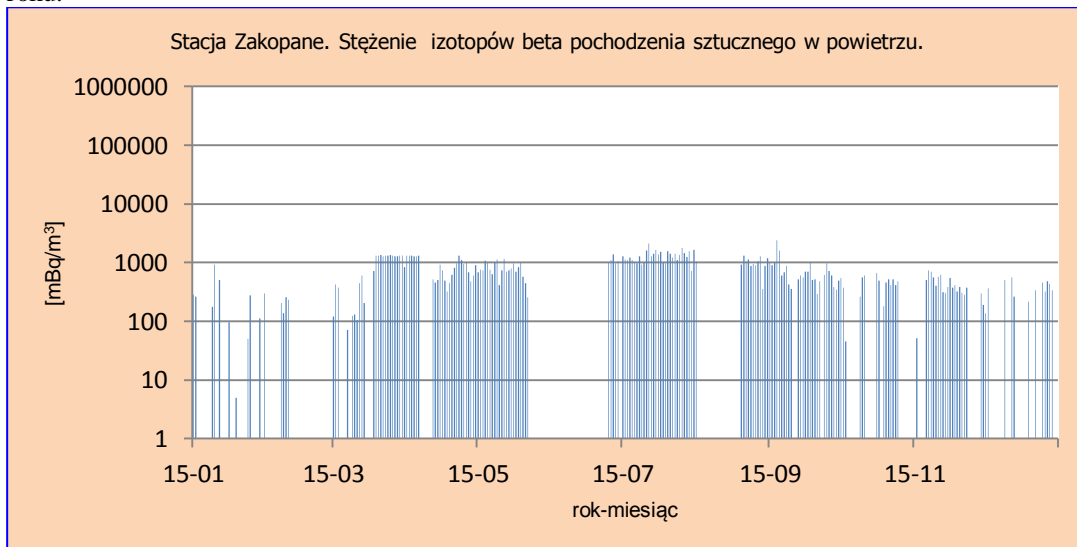
Rys.28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2015 roku.



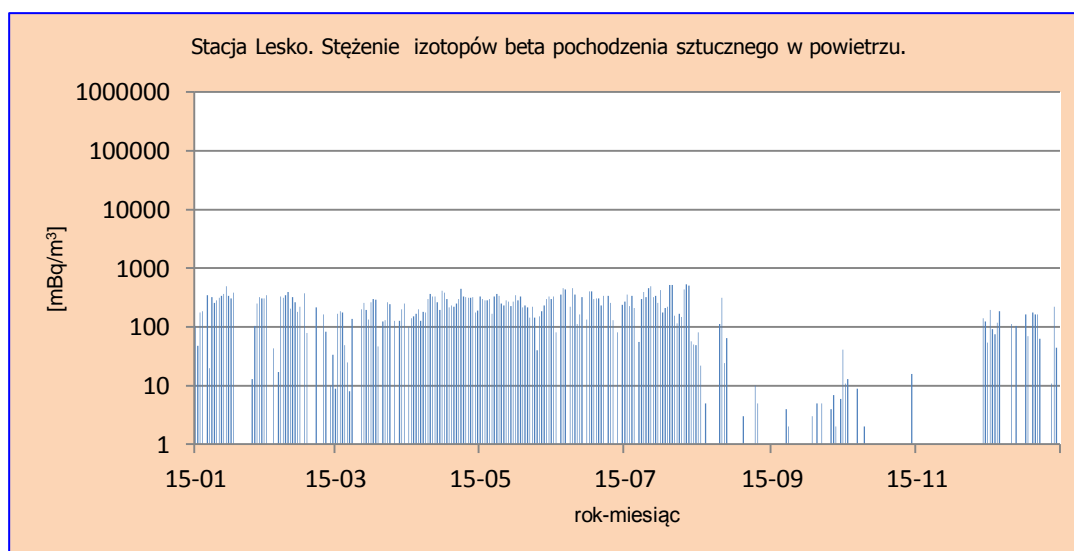
Rys.29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys.30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys.31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Zakopane w 2015 roku.



Rys.32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2015 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2015 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło  $0,241 \text{ Bq m}^{-3}$  i było najwyższe spośród wszystkich średnich obliczonych w okresie 2000 - 2015. Wartość ta jest prawie dwukrotnie wyższa niż w ubiegłym roku ( $0,137 \text{ Bq m}^{-3}$ ) i ponad siedmiokrotnie wyższa niż minimalne średnie stężenie przypadające na lata 2000 oraz 2002 -  $0,034 \text{ Bq m}^{-3}$ . Są to nadal niskie w granicach tła wartości nie stanowiące zagrożenia. Wynikają one z czynników atmosferycznych oraz geologicznych jak również z biegu własnego aparatury. Średnia aktywność promieniotwórcza związana z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolu w badanym okresie wyniosła  $0,077 \text{ Bq m}^{-3}$  (Tabela 8). Roczne wartości średnich stężeń promieniotwórcze są na poziomie zbliżonym do lat ubiegłych.

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2015,  $\text{Bq m}^{-3}$

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	Średnia	<b>0,077</b>
2014	0,137	Maksymalna	0,241
<b>2015</b>	<b>0,241</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 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.

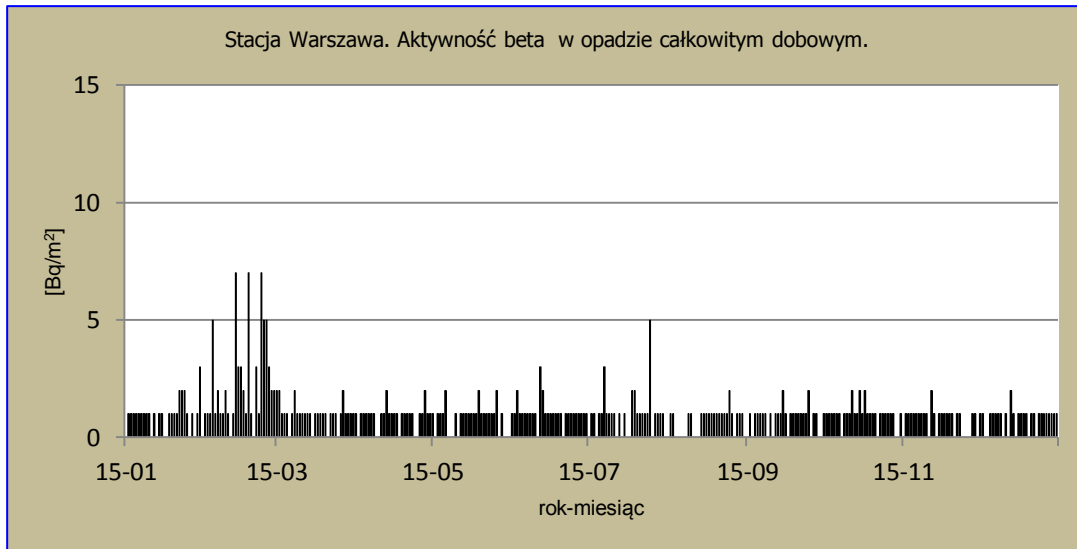
#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2015

W 2015 roku maksymalne wartości dobowe zmieniały się w dość szerokim zakresie od 3,0 Bq m<sup>-2</sup> na stacjach Gdynia i Świnoujście do 19,0 Bq m<sup>-2</sup> - wartości, która charakteryzowała poziom radioaktywności w Lesku (Tabela 9, Rys 33-41). W porównaniu z zeszłym rokiem najwyższa maksymalna wartość dobowa odzwierciedlająca poziom radioaktywności beta w Świnoujściu była aż o 12,0 Bq m<sup>-2</sup> niższa. Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera, a średnia suma dobowa dla całego roku (312,8 Bq m<sup>-2</sup>) była nieznacznie niższa niż średnia z 2014 (315,6 Bq m<sup>-2</sup>).

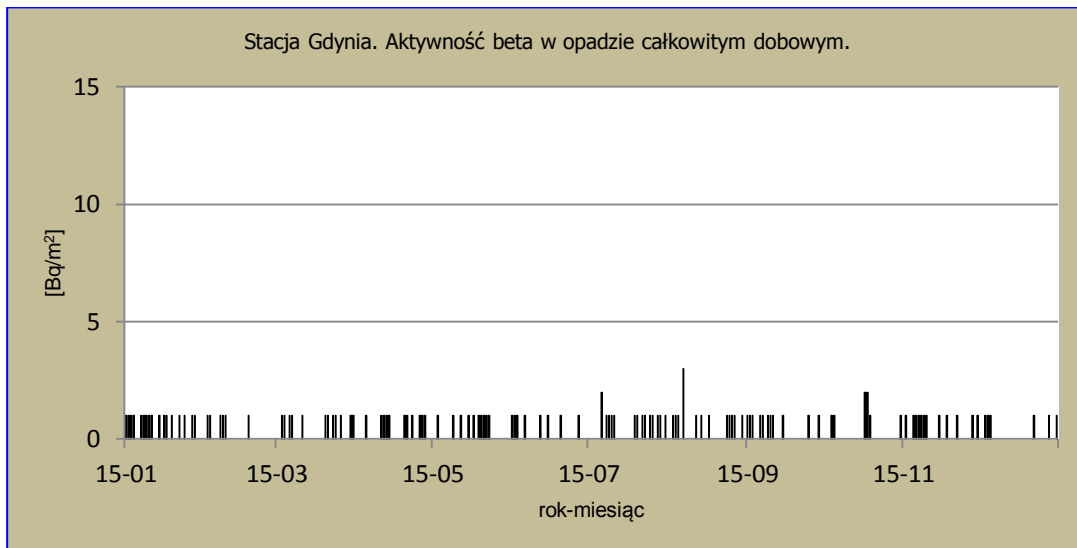
Miesięczne średnie aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w dość wąskim zakresie. Najniższą wartość 0,2 Bq m<sup>-2</sup> odnotowano na dwóch stacjach: Gdynia i Świnoujście, najwyższa 2,5 Bq m<sup>-2</sup> charakteryzowała okolice Warszawy. Porównując średnie wartości roczne wyznaczone na podstawie danych dobowych w 2015 roku, najniższy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta (0,3 Bq m<sup>-2</sup>) charakteryzujący okolice Świnoujścia i Gdyni, może mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej. Średnie stężenia promieniotwórcze izotopów beta w poszczególnych miesiącach wyznaczone dla obszaru całej Polski (obliczone z wyników dobowych uzyskanych na wszystkich stacjach) zmieniały się w bardzo wąskim zakresie od 0,7 do 0,9 Bq m<sup>-2</sup>, średnia roczna dla wszystkich stacji w 2015 roku (0,9 Bq m<sup>-2</sup>) była taka sama jak w 2014.

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2015 roku, Bq m<sup>-2</sup>.

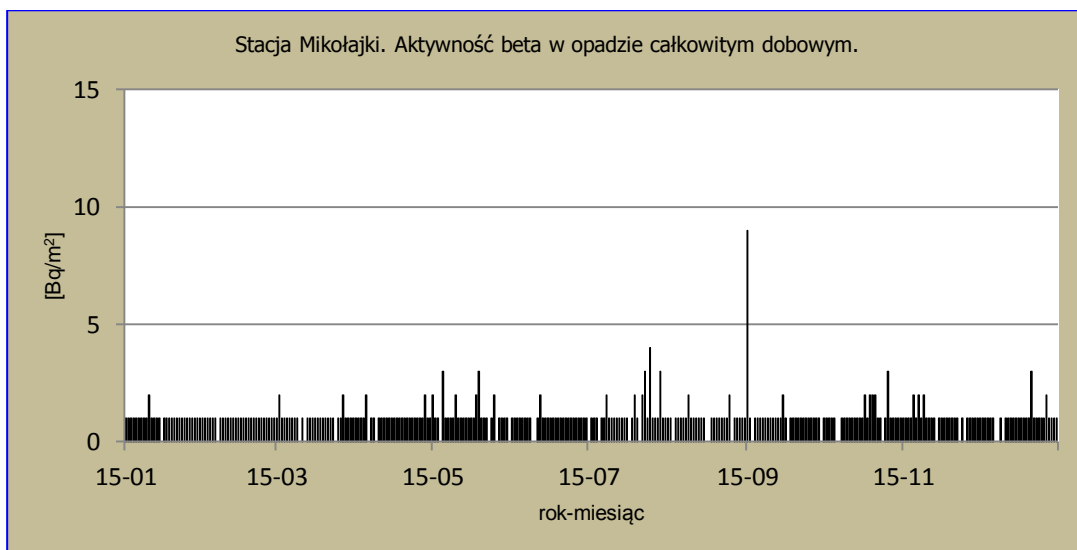
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,9	0,5	1,0	1,0	0,3	1,7	0,9	1,0	0,8	0,9
Luty	2,5	0,2	1,0	1,2	0,2	0,9	0,6	0,8	0,8	0,9
Marzec	1,0	0,4	1,0	1,1	0,4	1,6	0,9	0,8	0,8	0,9
Kwiecień	0,9	0,4	1,0	1,0	0,6	1,2	1,0	1,1	0,8	0,9
Maj	0,8	0,3	1,1	0,8	0,3	1,3	1,3	1,4	1,0	0,9
Czerwiec	1,1	0,3	1,0	0,6	0,4	1,5	1,0	1,1	1,0	0,9
Lipiec	1,0	0,5	1,2	0,7	0,3	1,3	1,1	1,0	1,1	0,9
Sierpień	0,7	0,5	0,9	1,0	0,2	1,0	0,8	0,9	1,2	0,8
Wrzesień	0,8	0,4	1,2	0,7	0,3	1,2	1,0	1,4	1,1	0,9
Październik	1,0	0,3	1,1	0,5	0,3	1,1	1,0	0,9	1,2	0,8
Listopad	0,7	0,4	1,0	0,6	0,3	1,4	0,8	0,9	0,9	0,8
Grudzień	0,8	0,2	1,0	0,4	0,3	1,4	0,8	0,8	0,6	0,7
<b>Maksymalna śred. Mies.</b>	2,5	0,5	1,2	1,2	0,6	1,7	1,3	1,4	1,2	1,3
<b>Minimalna śred. Mies.</b>	0,7	0,2	0,9	0,4	0,2	0,9	0,6	0,8	0,6	0,6
<b>Maksymalna war. dob.</b>	7,0	3,0	9,0	7,0	3,0	6,0	4,0	5,0	19,0	7,0
<b>Minimalna war. dob.</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
<b>Średnia wartość roczna</b>	1,0	0,4	1,0	0,8	0,3	1,3	0,9	1,0	0,9	<b>0,9</b>
<b>Śred. Suma rocz. Dobowa</b>	<b>312,8</b>									



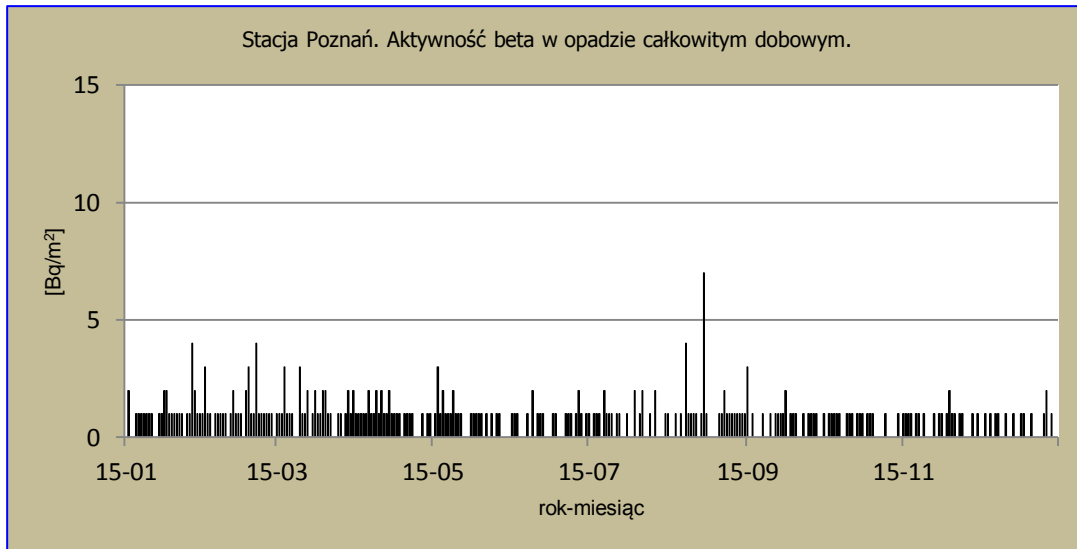
Rys.33. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Warszawa w 2015 roku.



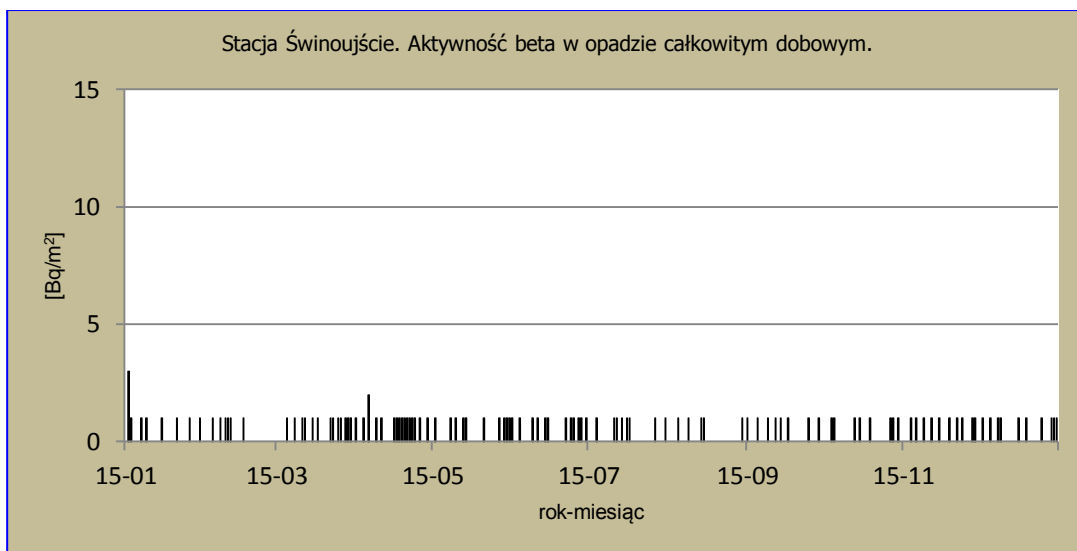
Rys.34. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Gdynia w 2015 roku.



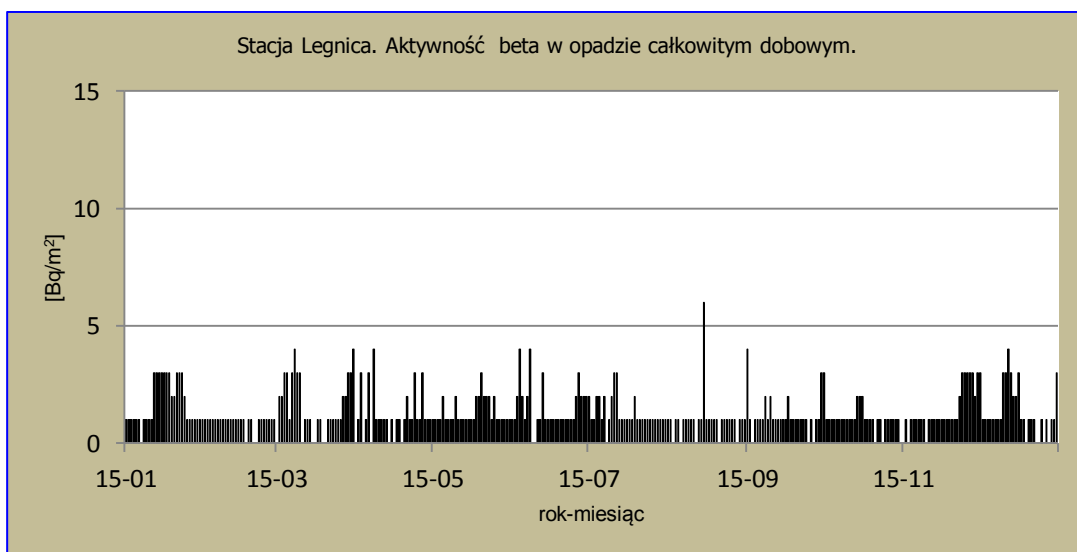
Rys.35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Mikołajki w 2015 roku.



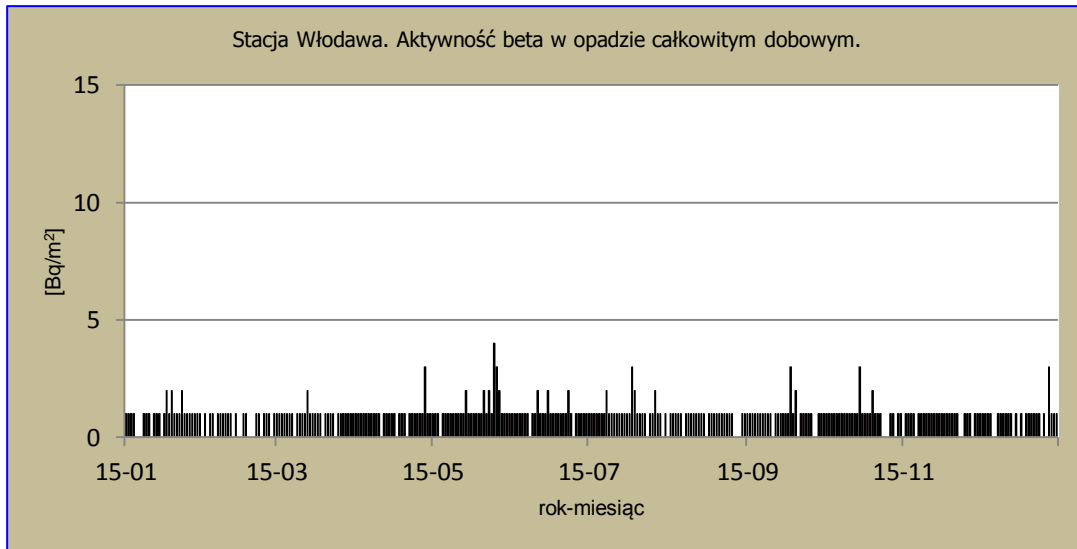
Rys.36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Poznań w 2015 roku.



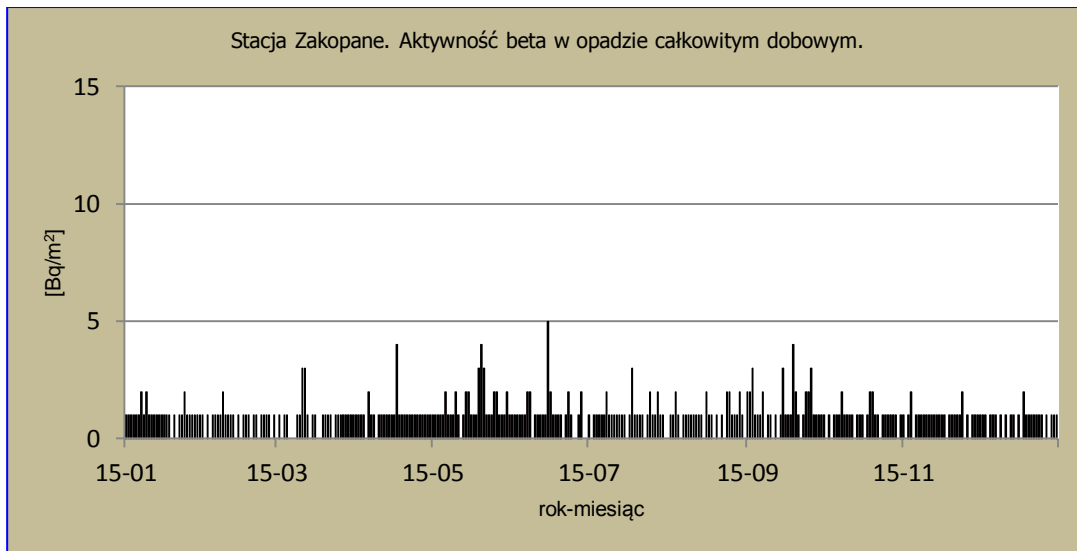
Rys.37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Świnoujście 2015 roku.



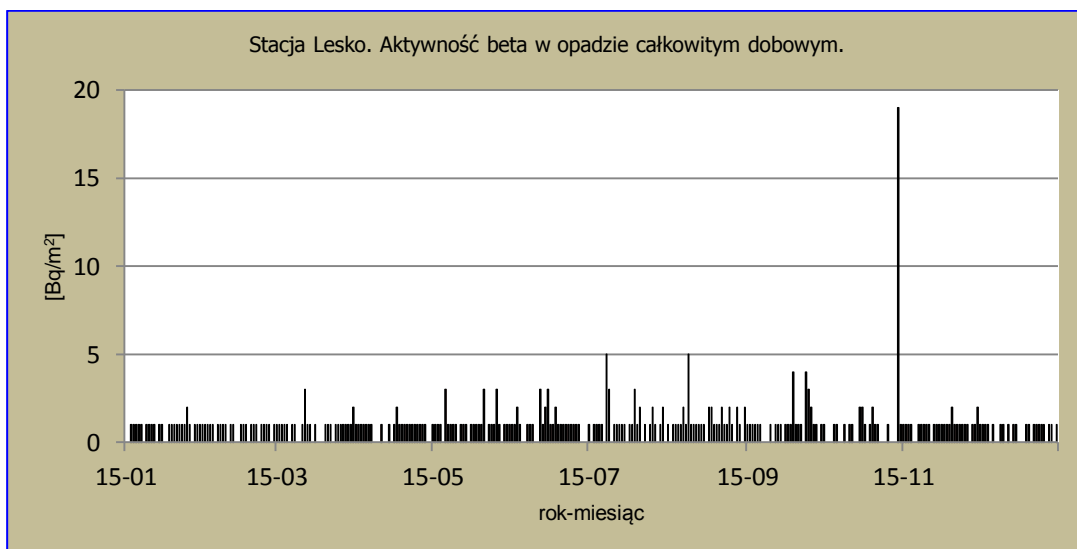
Rys.38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys.39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys.40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Zakopane w 2015 roku.



Rys.41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Lesko w 2015 roku.



### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Aktywność beta w opadzie całkowitym 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 2015 roku ( $0,31 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ ) była taka sama jak w latach 2006, 2007 i 2013. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2015 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 – 2015,  $\text{kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$

Rok	Sumaryczna aktywność beta
2000	0,33
2001	0,34
2002	0,34
2003	0,32
2004	0,34
2005	0,32
2006	0,31
2007	0,31
2008	0,30
2009	0,33
2010	0,33
2011	0,33
2012	0,32
2013	0,31
2014	0,32
<b>2015</b>	<b>0,31</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 2015

W 2015 roku na stacji Świnoujście maksymalna wartość dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej nie przekraczała  $1000 \text{ mBq l}^{-1}$  ( $817,0 \text{ mBq l}^{-1}$ ). W przypadku pozostałych stacji dobowe wartości maksymalne były znacznie wyższe, dla porównania w Warszawie w lutym wyniosła aż  $4168 \text{ mBq l}^{-1}$  (Tabela 11, Rys. 42-50), podczas gdy w ubiegłym roku na tej

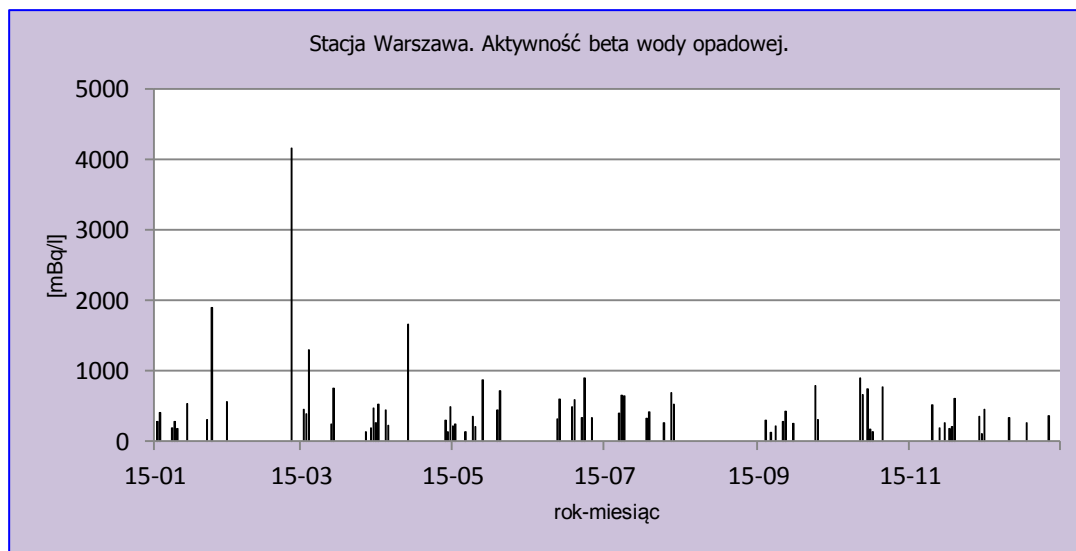
samej stacji uzyskano wartość prawie o połowę niższą - 2164,0 mBq l<sup>-1</sup>. Minimalne dobowe wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od zaledwie 2 mBq l<sup>-1</sup> w Świnoujściu do 111 mBq l<sup>-1</sup> w Warszawie. Na tych samych stacjach pomiarowych zarejestrowano skrajne średnie wyznaczone dla poszczególnych miesięcy.

W sierpniu w Warszawie oraz w lutym na stacjach Włodawa i Świnoujście nie wyliczono średniej miesięcznej wartości globalnej aktywności beta wody opadowej, co było spowodowane brakiem opadów w tym miesiącu. Na pozostałych stacjach średnie miesięczne mieściły się w granicy od 63,0 mBq l<sup>-1</sup> w październiku na stacji Świnoujście do 4168,0 mBq l<sup>-1</sup> w lutym na stacji pomiarowej w Warszawie.

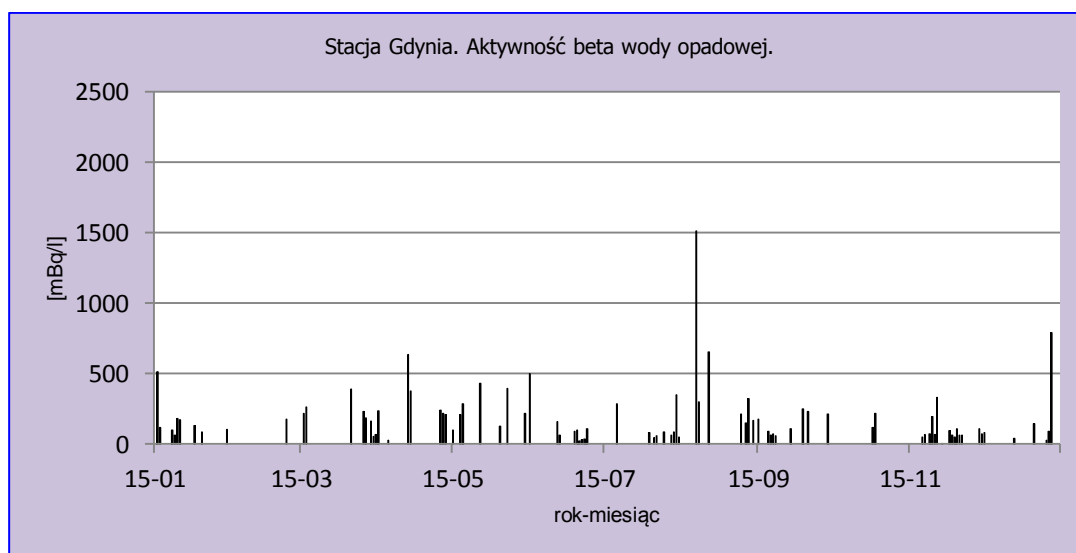
W 2015 roku nie stwierdzono znaczących różnic pomiędzy średnimi aktywnościami beta wyznaczonymi dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji. Porównując dane z zeszłego roku, średnia roczna na stacjach pomiarowych w 2014 była 39,0 mBq l<sup>-1</sup> niższa niż tegoroczna.

Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2015 roku, mBq l<sup>-1</sup>.

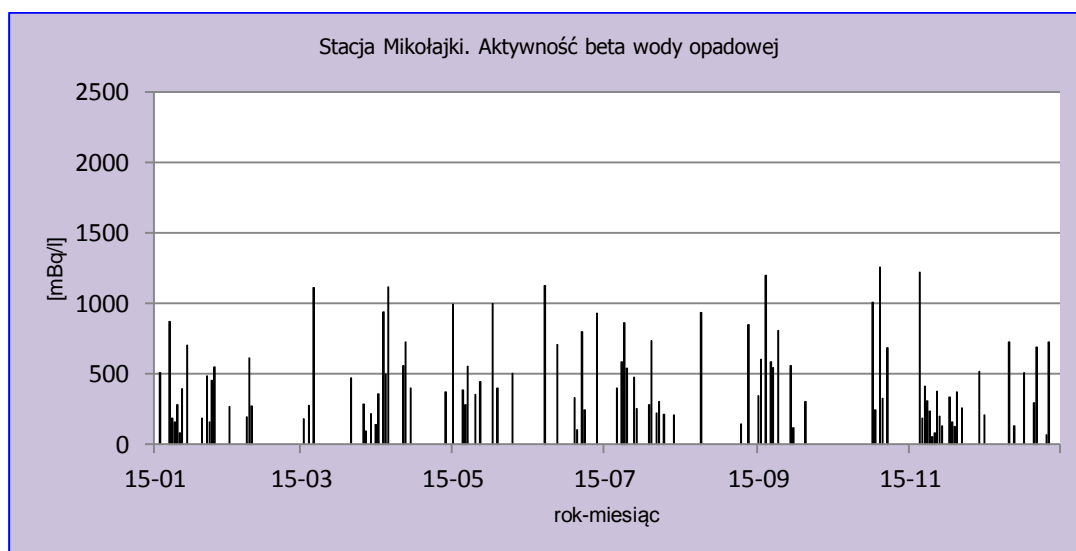
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	517	164	378	408	150	648	497	420	296	386
Luty	4168	176	359	473	-	581	-	258	211	889
Marzec	470	197	348	314	99	536	367	300	408	338
Kwiecień	543	278	622	169	150	409	438	242	335	354
Maj	399	253	547	405	110	372	497	415	187	354
Czerwiec	511	124	607	244	154	379	384	256	322	331
Lipiec	491	123	424	301	173	325	315	326	344	313
Sierpień	-	475	643	613	174	414	250	361	434	420
Wrzesień	338	141	564	350	113	464	331	419	215	326
Październik	564	168	705	434	63	353	126	241	168	313
Listopad	304	94	311	235	115	501	304	375	274	279
Grudzień	356	195	420	207	162	1104	509	388	621	440
<b>Maksymalna średnia miesięczna</b>	4168	475	705	613	174	1104	-	420	621	1035
<b>Minimalna średnia miesięczna</b>	304	94	311	169	63	325	-	241	168	210
<b>Maksymalna dobowa wartość</b>	4168	1514	1259	1057	817	2070	1200	1468	1298	1650
<b>Minimalna dobowa wartość</b>	111	5	56	41	2	68	66	7	31	43
<b>Średnia roczna</b>	500	187	463	326	135	496	396	346	300	<b>350</b>



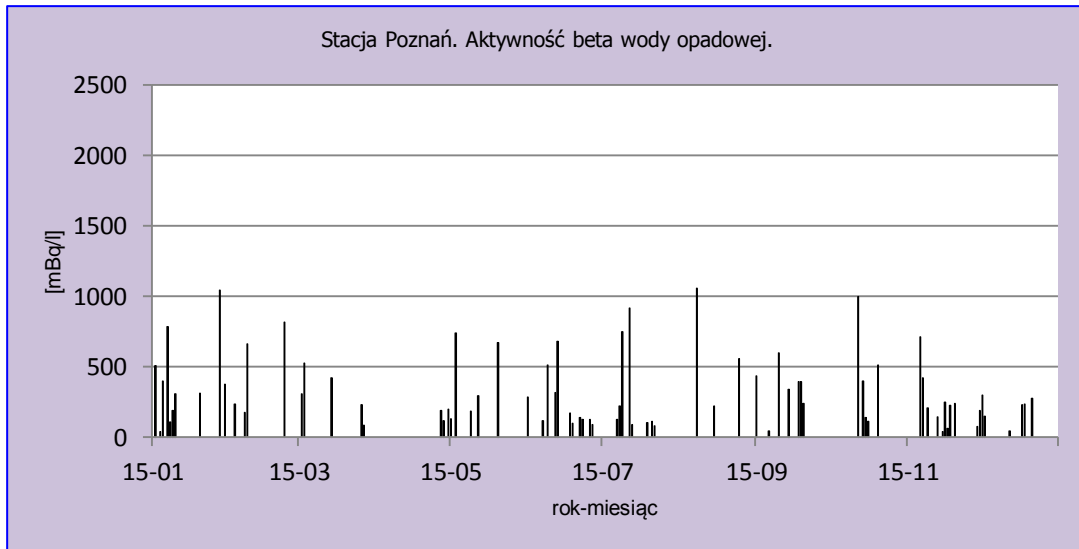
Rys.42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2015 roku.



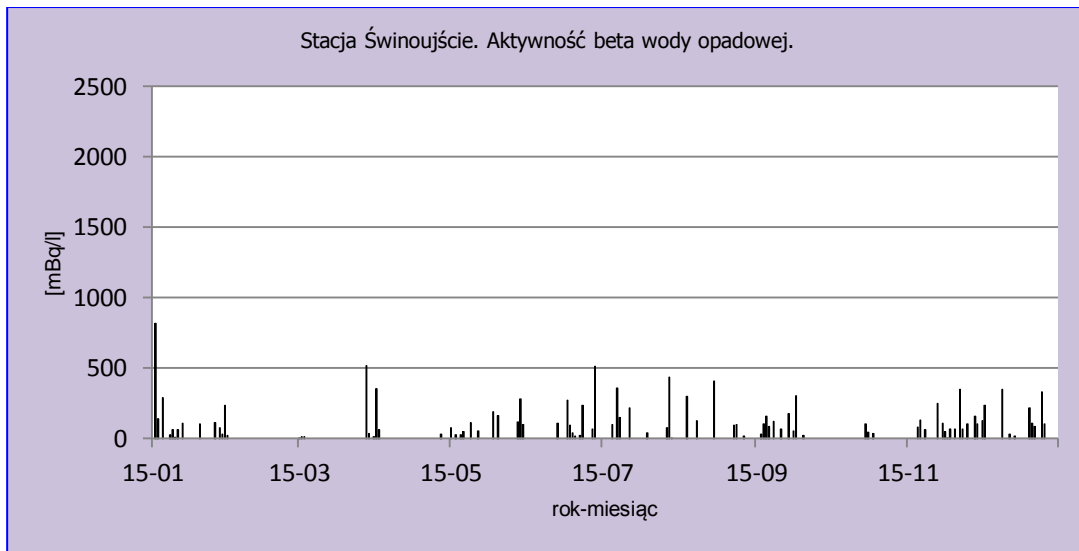
Rys.43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2015 roku.



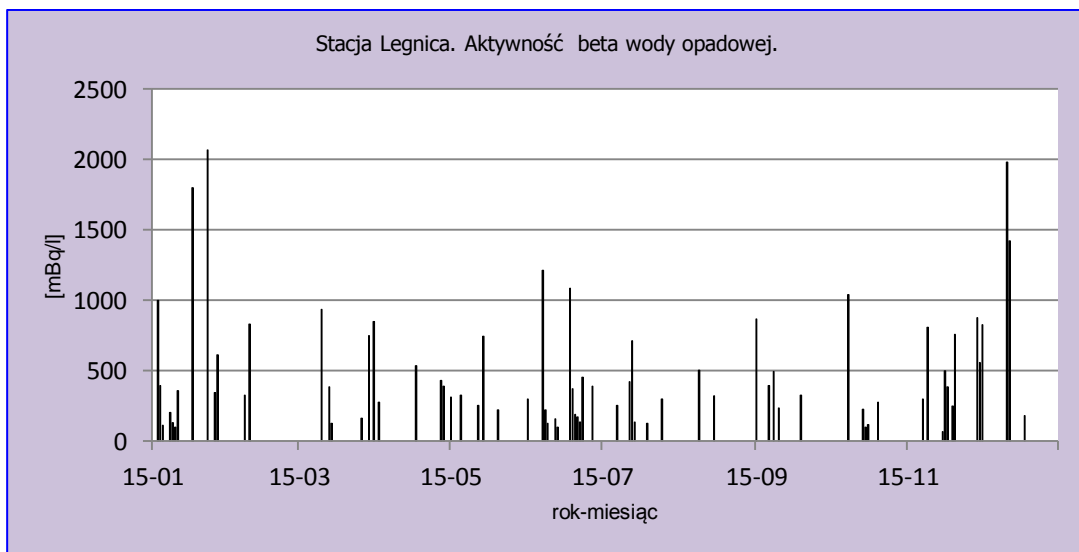
Rys.44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2015 roku.



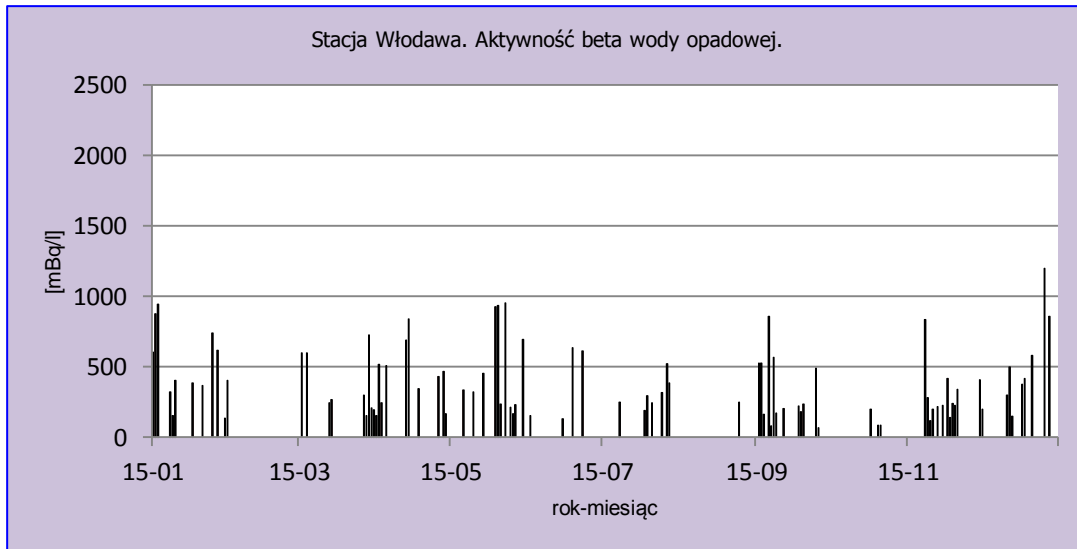
Rys.45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2015 roku.



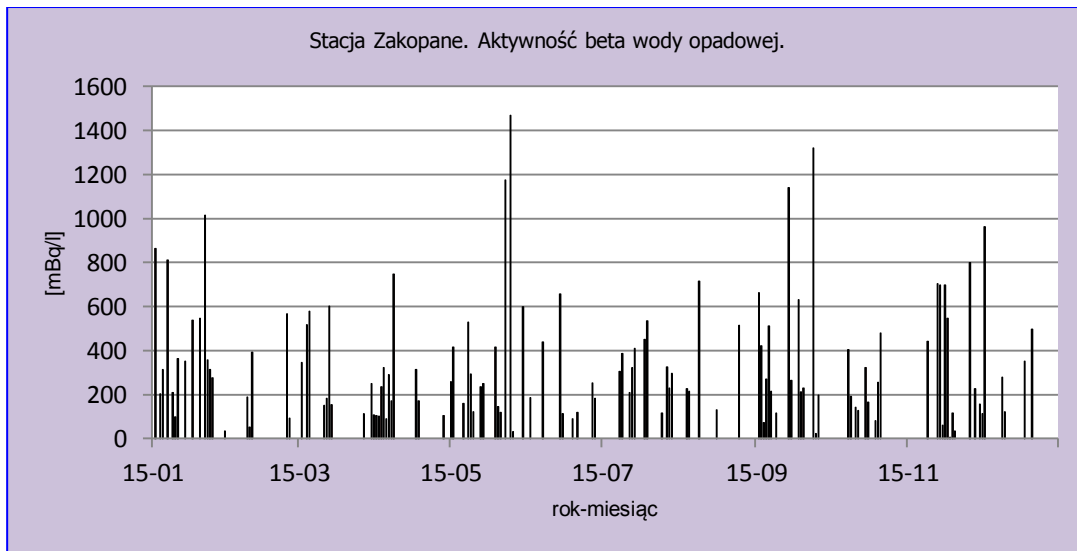
Rys.46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2015 roku.



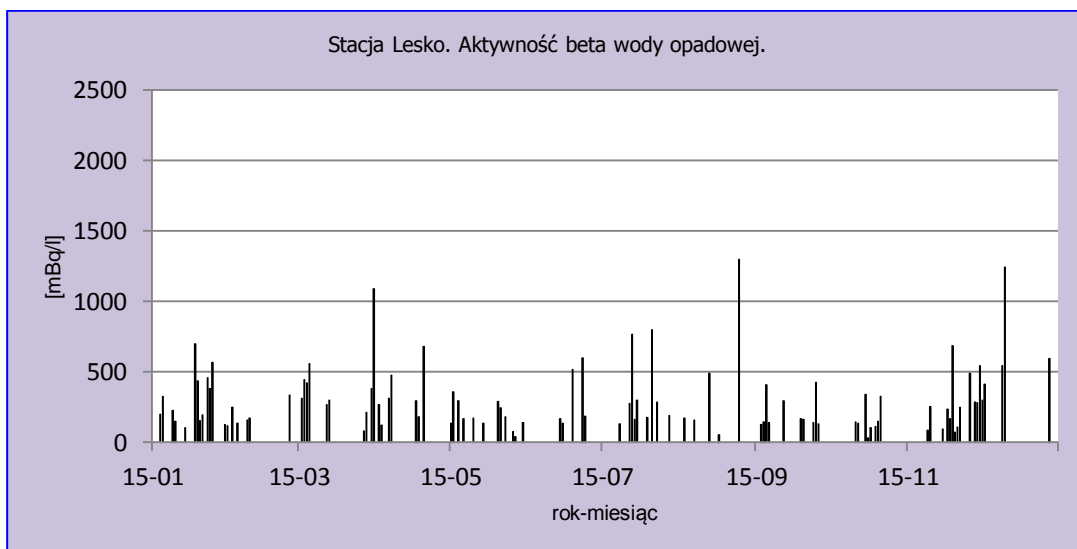
Rys.47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys.48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys.49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2015 roku.



Rys.50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2015 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej charakterystyczna dla 2015 roku wyniosła 350 mBq l<sup>-1</sup> (Tabela 12). Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie od 2000 do 2015 przypada na rok 2003 i wynosi 376 mBq l<sup>-1</sup>, minimalna wartość charakteryzuje próbki z ubiegłego roku. Średnia aktywność beta wody opadowej obliczona na podstawie danych ze wszystkich lat jest równa 346 mBq l<sup>-1</sup>.

Tabela 12. Średnie aktywności beta wody opadowej w latach 2000 – 2015, 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
<b>2015</b>	<b>350</b>
Średnia	346
Minimalna	311
Maksymalna	376

### 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego

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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2015

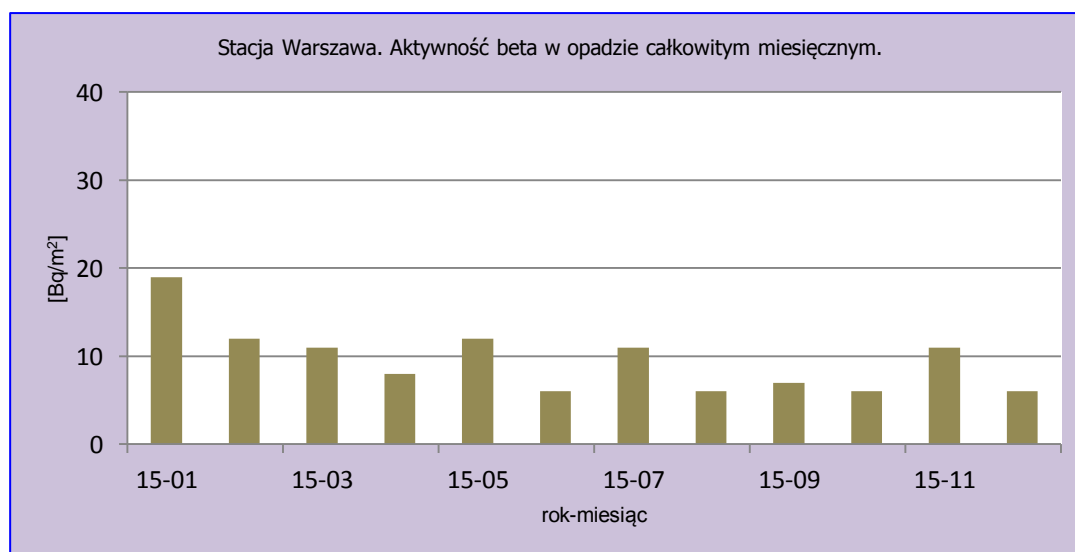
W 2015 roku aktywności promieniowania beta w miesięcznym opadzie atmosferycznym oscylowały w szerokim zakresie od 2 Bq m<sup>-2</sup> do 19 Bq m<sup>-2</sup> (Tab. 13). Maksymalną wartość w skali roku zarejestrowano w styczniu na stacji Warszawa (19 Bq m<sup>-2</sup>), w pozostałych miesiącach aktywność wahała się w przedziale od 6 Bq m<sup>-2</sup> do 12 Bq m<sup>-2</sup> i nie odbiegała od wartości notowanych dla pozostałych stacji. Podobna sytuacja miała miejsce w poprzednim roku, gdzie najwyższa aktywność promieniowania beta była odnotowana w Warszawie w lutym (24 Bq m<sup>-2</sup>). Minimalną wartość 2,0 Bq m<sup>-2</sup> uzyskano na trzech stacjach: Gdynia, Świnoujście, Włodawa, przy czym minimalne wartości minimalne wystąpiły w każdym przypadku w lutym.

Średnia roczna aktywność promieniowania beta w Polsce w próbkach opadu całkowitego wynosiła  $7,5 \text{ Bq m}^{-2}$ . Najniższe średnie roczne aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w 2015 roku zarejestrowano na stacjach zlokalizowanych na Wybrzeżu: Świnoujście ( $4,6 \text{ Bq m}^{-2}$ ) i Gdynia ( $6,0$ ) i były one odpowiednio o 39% i 20% niższe od średniej dla obszaru całej Polski (Rys. 51-59). Niskie wartości w Gdyni i Świnoujściu spowodowane są bliskością morza i związanymi z tym warunkami meteorologicznymi np. duża wietrzność.

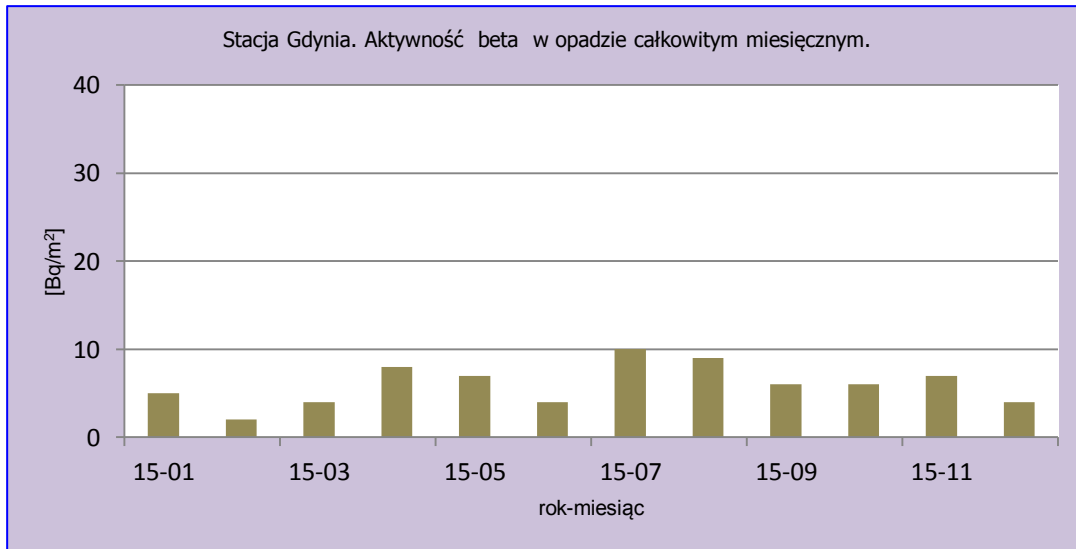
Na pozostałych stacjach średnia aktywność promieniowania beta zmieniała się w stosunkowo wąskim zakresie od  $6,5 \text{ Bq m}^{-2}$  w Mikołajkach do  $9,7 \text{ Bq m}^{-2}$  na stacji Zakopane.

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2015, w  $\text{Bq m}^{-2}$ .

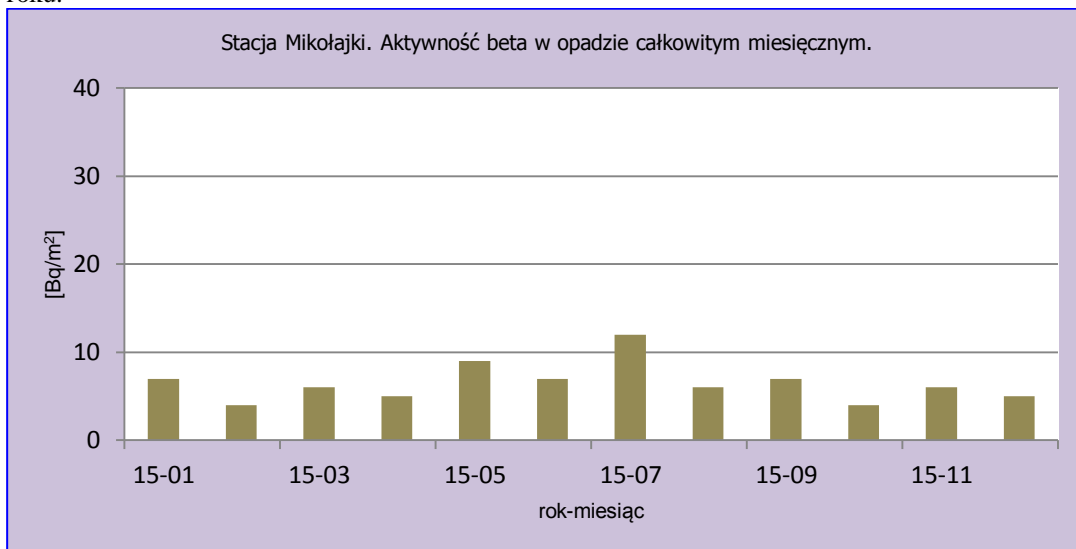
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	19	5	7	6	3	5	8	17	11
Luty	12	2	4	6	2	3	2	9	5
Marzec	11	4	6	8	5	5	6	8	8
Kwiecień	8	8	5	6	2	10	9	8	6
Maj	12	7	9	8	4	7	13	12	15
Czerwiec	6	4	7	11	5	11	7	9	6
Lipiec	11	10	12	12	7	7	11	9	14
Sierpień	6	9	6	15	2	7	6	10	11
Wrzesień	7	6	7	8	10	10	10	10	14
Październik	6	6	4	7	5	11	6	11	3
Listopad	11	7	6	5	8	4	6	6	9
Grudzień	6	4	5	6	2	5	4	7	4
Średnia	9,6	6,0	6,5	8,2	4,6	7,1	7,3	9,7	8,8
Maksymalna	19,0	10,0	12,0	15,0	10,0	11,0	13,0	17,0	15,0
Minimalna	6,0	2,0	4,0	5,0	2,0	3,0	2,0	6,0	3,0
Średnia roczna	<b>7,5</b>								
Maks. Roczna	<b>19</b>								
Min. Roczna	<b>2</b>								



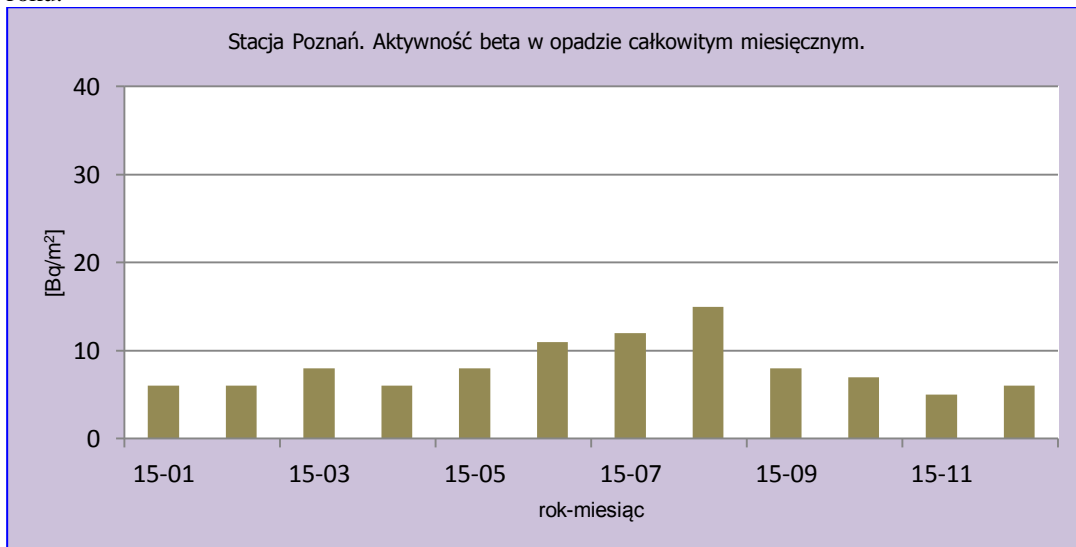
Rys.51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2015r.



Rys.52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2015 roku.

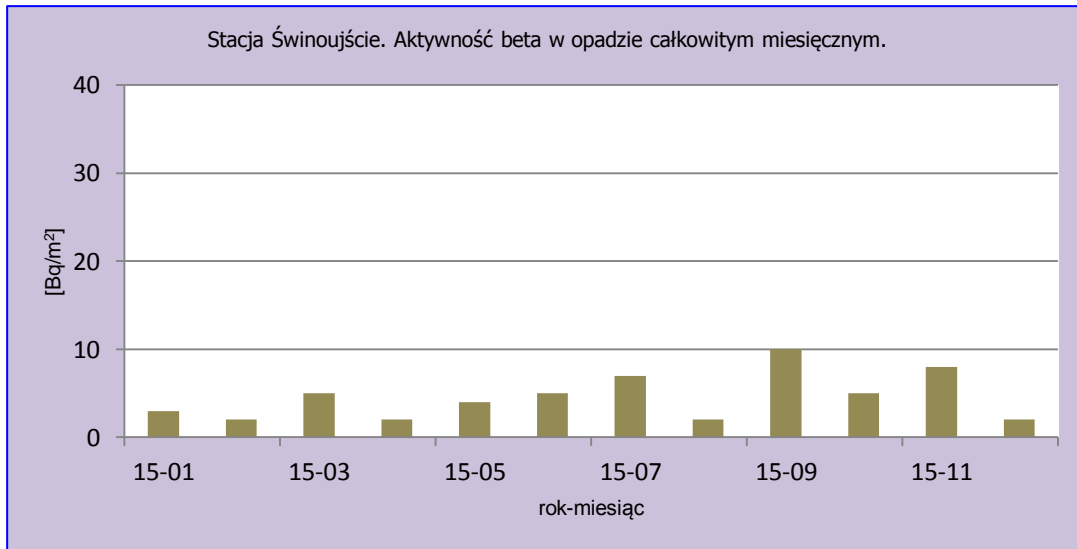


Rys.53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2015 roku.

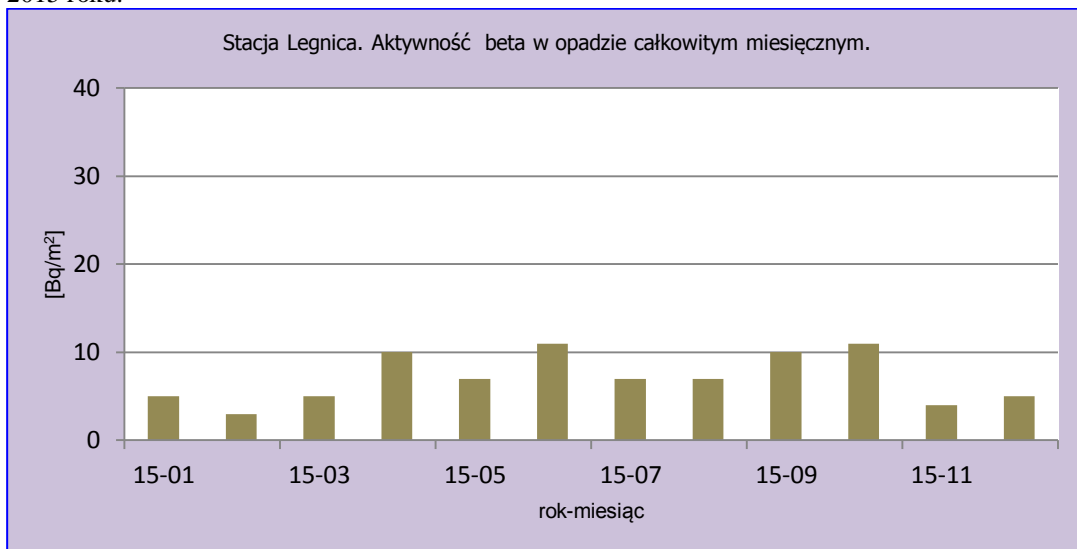


Rys.54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2015 roku.

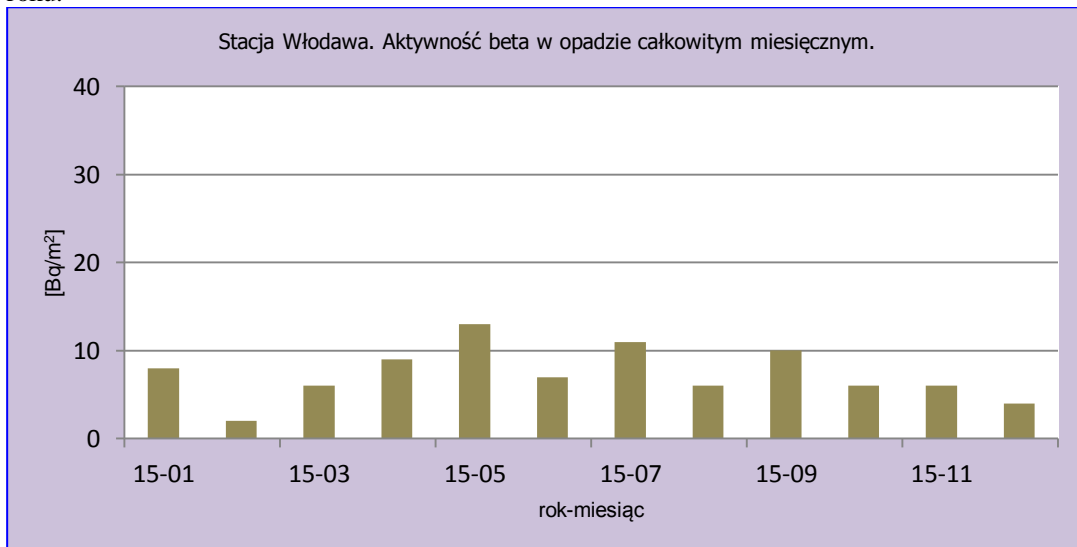




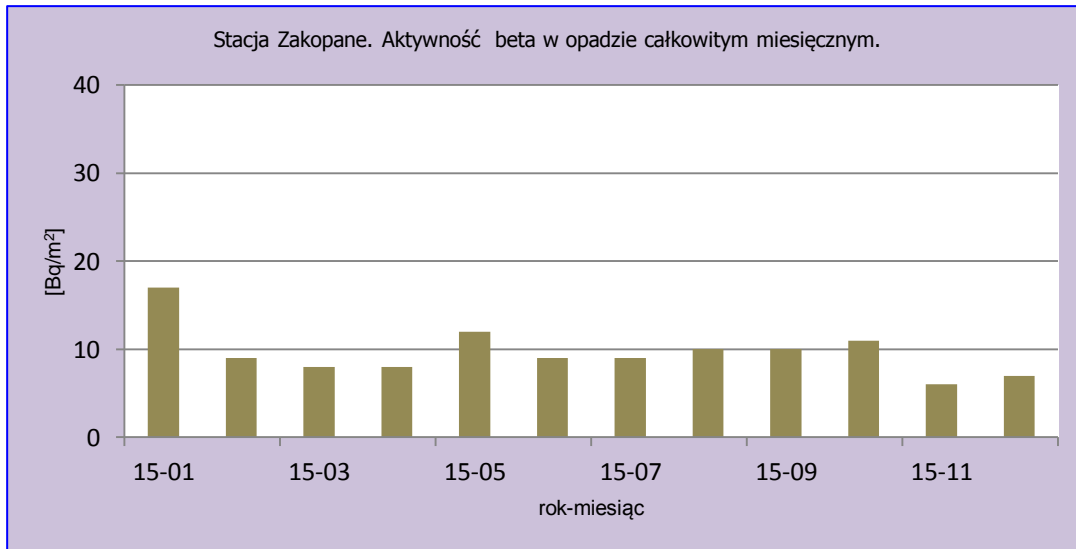
Rys.55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2015 roku.



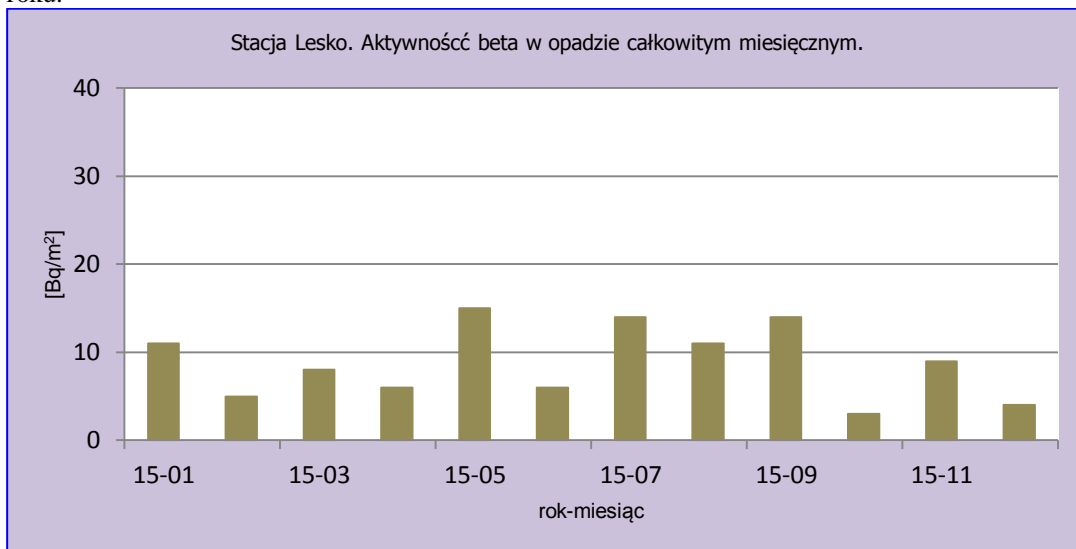
Rys.56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2015 roku.



Rys.57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2015 roku.



Rys.58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2015 roku.



Rys.59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2015 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2015 roku średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym opadzie miesięcznym wynosiła 7,5 Bq m<sup>-2</sup> i była jedną z wyższych średniorocznych aktywności odnotowanych w latach 2000-2015. Wyższe wartości wystąpiły tylko w okresie od 2009 do 2011 oraz w roku ubiegłym. Minimalna aktywność 6,0 Bq m<sup>-2</sup> przypada na rok 2005, a średnia aktywność całkowitego opadu atmosferycznego w badanym okresie wynosi 7,0 Bq m<sup>-2</sup> (Tab. 14).

Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2015, Bq m<sup>-2</sup>.

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
2000	6,1
2001	7,1
2002	6,7
2003	6,6
2004	6,4
2005	6,0
2006	6,2
2007	6,5
2008	6,4
2009	7,8
2010	8,2
2011	8,0
2012	7,3
2013	7,3
2014	8,0
<b>2015</b>	<b>7,5</b>
Średnia	7,0
Minimalna	6,0
Maksymalna	8,2

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

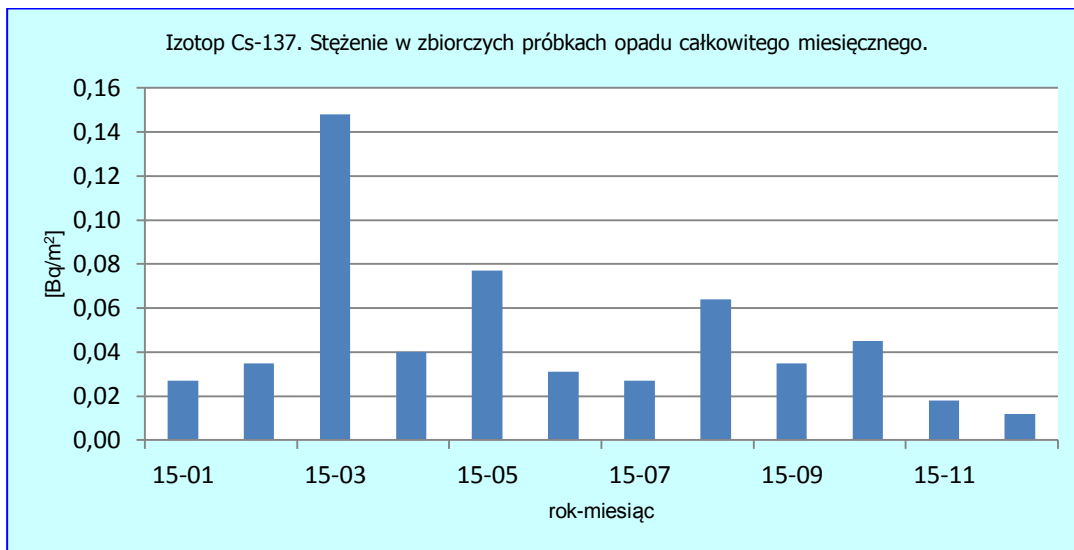
Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego, o stosunkowo długim okresie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku <sup>137</sup>Cs i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku <sup>134</sup>Cs. Ich stężenia promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) oznaczane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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2015

W 2015 roku średnie stężenie <sup>137</sup>Cs w opadzie atmosferycznym wynosiło 0,047 Bq m<sup>-2</sup>, natomiast stężenia <sup>134</sup>Cs były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe stężenia <sup>137</sup>Cs odnotowano w okresie od listopada do grudnia (0,012 Bq m<sup>-2</sup> - 0,018 Bq m<sup>-2</sup>), natomiast najwyższe wystąpiły w marcu (0,148 Bq m<sup>-2</sup>) oraz w maju (0,077 Bq m<sup>-2</sup>) (Tab. 15, Rys. 60).

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2015 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$
Miesiąc	Cs-137	Cs-134
Styczeń	$0,027 \pm 0,007$	$< 0,003$
Luty	$0,035 \pm 0,002$	$< 0,004$
Marzec	$0,148 \pm 0,004$	$< 0,004$
Kwiecień	$0,040 \pm 0,002$	$< 0,004$
Maj	$0,077 \pm 0,003$	$< 0,003$
Czerwiec	$0,031 \pm 0,002$	$< 0,003$
Lipiec	$0,027 \pm 0,002$	$< 0,003$
Sierpień	$0,064 \pm 0,003$	$< 0,003$
Wrzesień	$0,035 \pm 0,002$	$< 0,003$
Październik	$0,045 \pm 0,002$	$< 0,003$
Listopad	$0,018 \pm 0,002$	$< 0,003$
Grudzień	$0,012 \pm 0,001$	$< 0,002$
<b>Suma roczna</b>	<b>0,559</b>	-
Średnia	0,047	-
Maksymalna	0,148	-
Minimalna	0,012	-



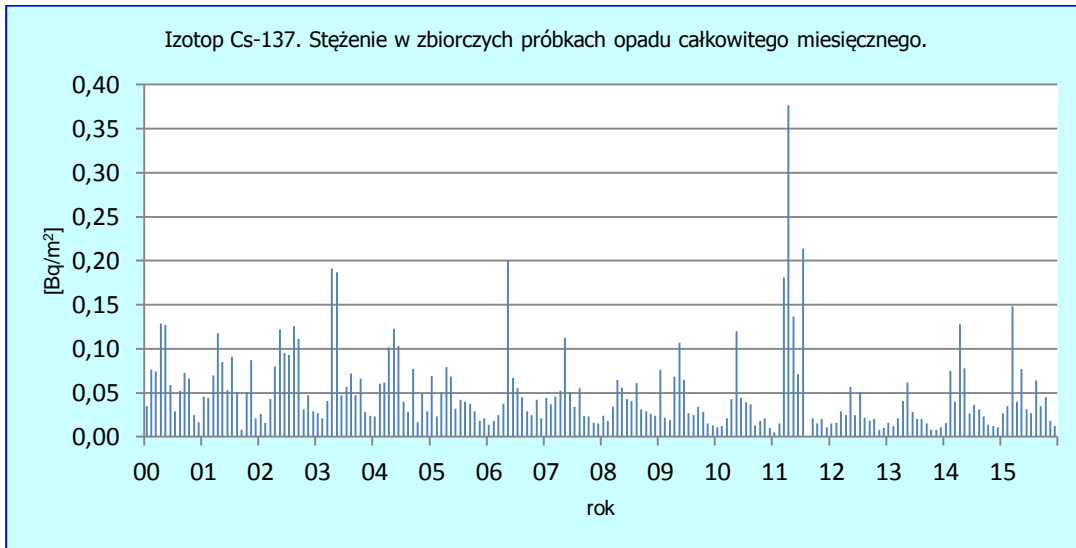
Rys.60. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w roku 2015.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

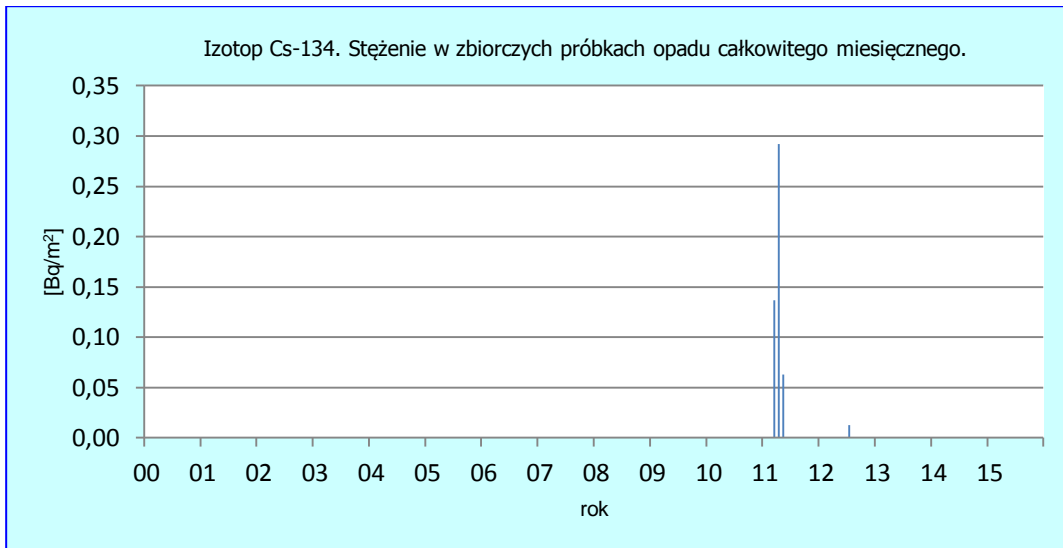
$^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się stosunkowo niską prędkością suchej depozycji, dlatego ładunek tego izotopu wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wypłukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym największy dopływ  $^{137}\text{Cs}$  do powierzchni ziemi występuje w okresie wiosenno-letnim, kiedy miesięczne sumy opadów są największe (Rys. 61). Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w 2015 roku wynosiła  $0,559 \text{ Bq m}^{-2}$  i była o połowę mniejsza od wartości w 2011 roku ( $1,067 \text{ Bq m}^{-2}$ ), kiedy odnotowano podwyższoną depozycję związaną z

napływem skażonych mas powietrza znaną z Fukushima. Roczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  wraz z całkowitym opadem atmosferycznym w roku 2015 był nieznacznie większy niż w roku ubiegłym -  $0,491 \text{ Bq m}^{-2}$  (Rys. 63). Minimalny sumaryczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  przypadła na rok 2013 ( $0,262 \text{ Bq m}^{-2}$ ). W okresie 2000 – 2015 średnia suma rocznych dopływów  $^{137}\text{Cs}$  osiągnęła wartość  $0,590 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 16).

W przypadku izotopu  $^{134}\text{Cs}$ , tylko w roku 2011 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limit detekcji stosowanej metody pomiarowej (Rys.62).



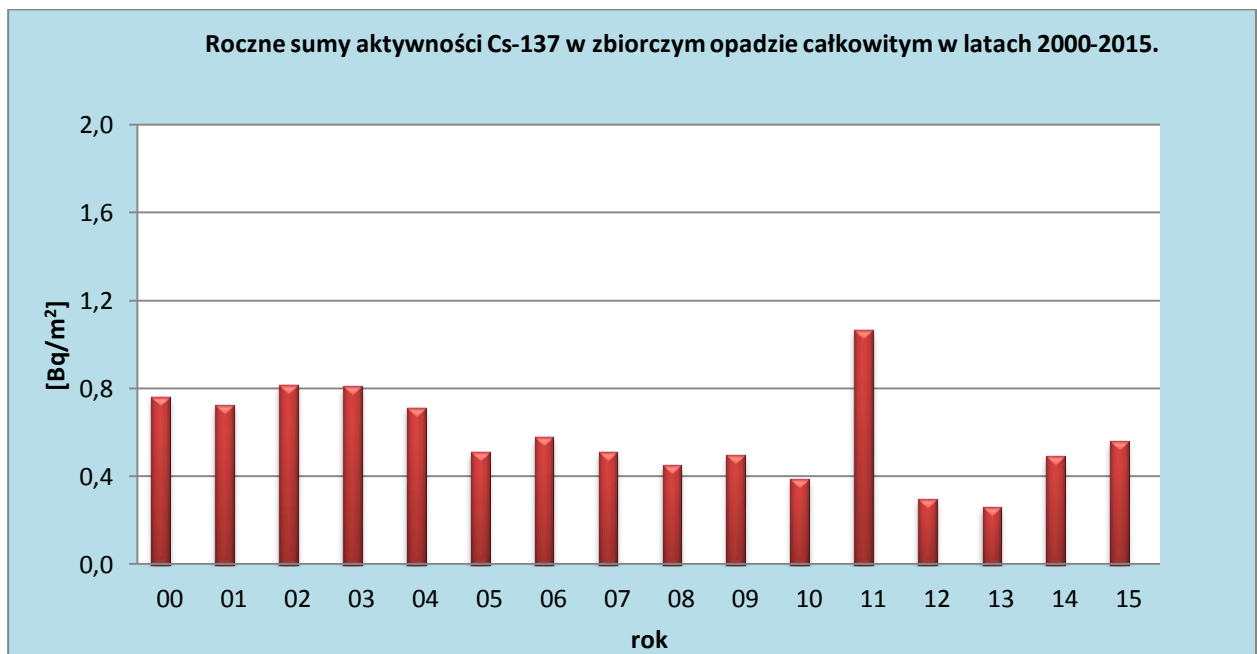
Rys.61. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2015.



Rys.62. Stężenie promieniotwórcze  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2015.

Tabela 16. Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2015,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

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	
<b>2015</b>	<b>0,559</b>	
Średnia	0,590	0,492
Minimalna	0,262	0,492
Maksymalna	1,067	0,492



Rys.63. Roczne sumy dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2015.

### 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 2015 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 2015

Najniższe stężenie  $^{90}\text{Sr}$  zarejestrowano w lutym i marcu. W obu miesiącach aktywność badanego izotopu była poniżej limitu detekcji ( $< 0,002 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Najwyższe aktywności stwierdzono w listopadzie ( $0,013 \text{ Bq m}^{-2}$ ), czerwcu ( $0,012 \text{ Bq m}^{-2}$ ) oraz w styczniu i maju ( $0,011 \text{ Bq m}^{-2}$ ) (Tab. 17, Rys. 64). W przeciwieństwie do izotopu  $^{137}\text{Cs}$  nie zaobserwowano wyższych aktywności izotopu  $^{90}\text{Sr}$  w miesiącach z wyższą sumą opadów, czego przyczyną może być czterokrotnie wyższa prędkość suchej depozycji  $^{90}\text{Sr}$ .

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2015 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$
	<b>Sr-90</b>
Styczeń	$0,011 \pm 0,001$
Luty	$< 0,002$
Marzec	$< 0,002$
Kwiecień	$0,006 \pm 0,001$
Maj	$0,011 \pm 0,001$
Czerwiec	$0,012 \pm 0,001$
Lipiec	$0,006 \pm 0,001$
Sierpień	$0,010 \pm 0,001$
Wrzesień	$0,009 \pm 0,001$
Październik	$0,008 \pm 0,001$
Listopad	$0,013 \pm 0,001$
Grudzień	$0,006 \pm 0,001$
<b>Suma roczna</b>	<b>0,092</b>
Średnia	<b>0,009</b>
Maksymalna	<b>0,013</b>
Minimalna	<b>0,006</b>



Rys.64. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2015 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 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 2013 (Rys. 65). Wynosiły one odpowiednio:  $0,209 \text{ Bq m}^{-2}$ ,  $0,206 \text{ Bq m}^{-2}$  i  $0,195 \text{ Bq m}^{-2}$ . Roczny dopływ  $^{90}\text{Sr}$  wraz z opadem całkowitym w 2015 roku wynosił  $0,092 \text{ Bq m}^{-2}$  i był to jeden z najniższych ładunków na tle omawianego okresu. Niższą sumaryczną aktywność  $^{90}\text{Sr}$  w całkowitej depozycji zmierzono jedynie w roku 2003 ( $0,055 \text{ Bq m}^{-2}$ ) (Tab. 18, Rys. 66), a od roku 2013 obserwuje się trend spadkowy w ładunku docierającym z opadem atmosferycznym.

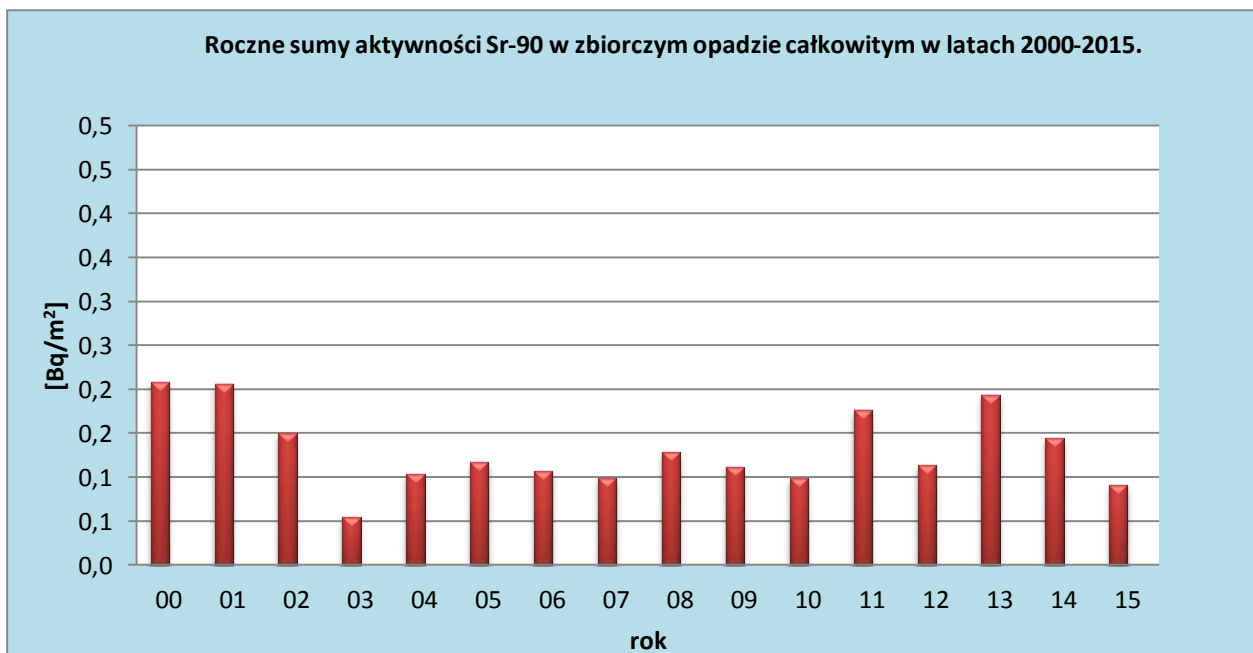


Rys.65. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2015.



Tabela 18. Roczna suma aktywności  $^{90}\text{Sr}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2015,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

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
<b>2015</b>	<b>0,092</b>
Średnia	0,132
Minimalna	0,055
Maksymalna	0,209



Rys.66. Roczne sumy dopływu  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2015.

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

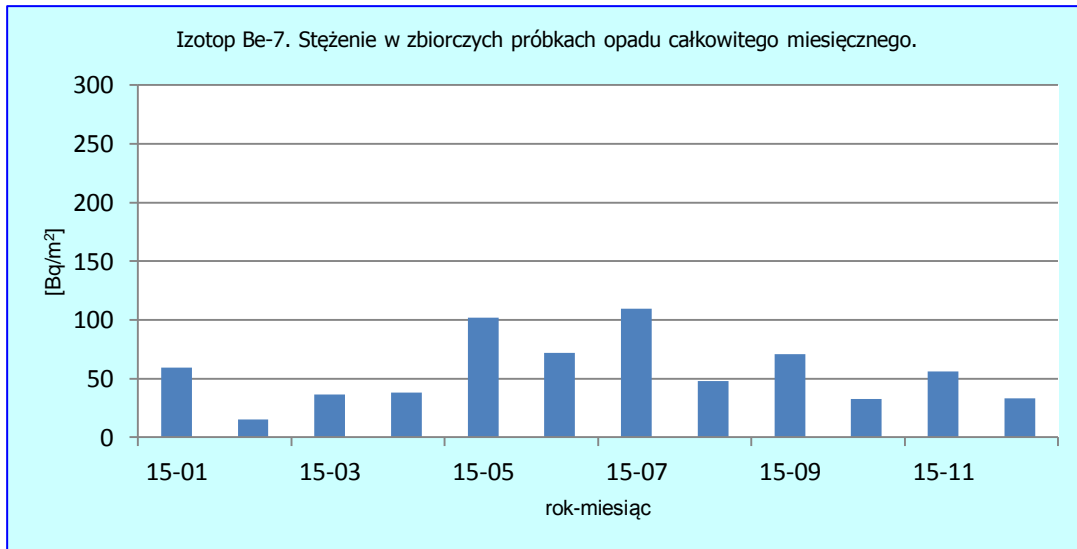
W 2015 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  i  $^{40}\text{K}$ . Izotop  $^{40}\text{K}$  jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo 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 2015

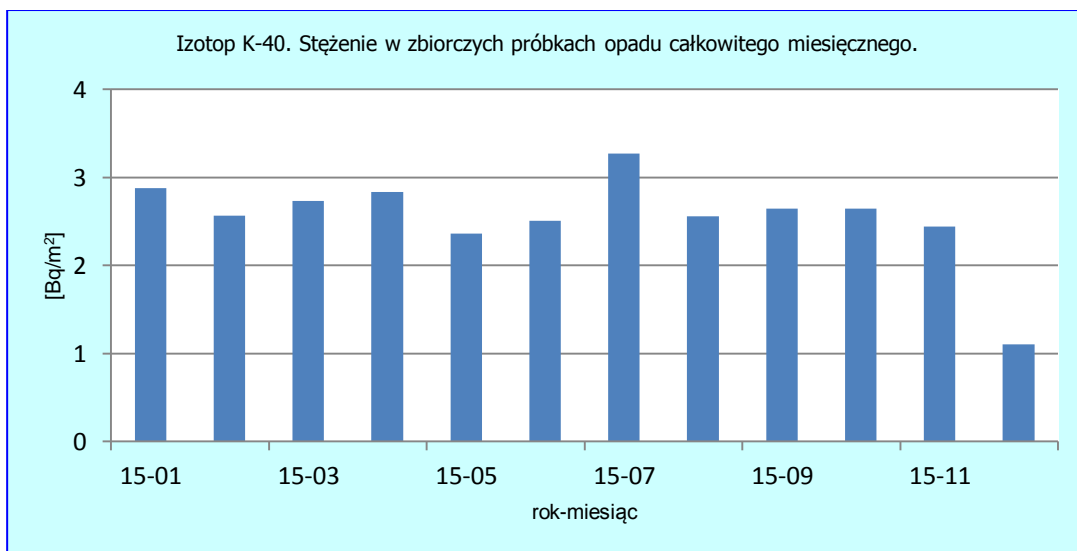
Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się  $^7\text{Be}$ . Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła  $56,1 \text{ Bq m}^{-2}$  i wahała się w zakresie od  $15,4 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $109,5 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 16, Rys. 67). Najwyższe miesięczne ładunki tego pierwiastka mierzone były w okresie letnim, a roczny dopływ wynosił  $673,6 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 19). Aktywność  $^{40}\text{K}$  zmieniała się w zakresie od  $1,11 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $3,27 \text{ Bq m}^{-2}$ , natomiast roczny dopływ był na poziomie  $30,57 \text{ Bq m}^{-2}$ . W przypadku  $^{226}\text{Ra}$  roczny dopływ o wartości  $0,804 \text{ Bq m}^{-2}$  oscylował w zakresie od  $0,031 \text{ Bq m}^{-2}$  do  $0,123 \text{ Bq m}^{-2}$  - najwyższy ładunek odnotowano w sierpniu. Roczny dopływ  $^{228}\text{Ac}$  był nieco niższy i wynosił  $0,643 \text{ Bq m}^{-2}$ , a jego miesięczne ładunki mieściły się w przedziale od  $0,029 \text{ Bq m}^{-2}$  w grudniu do  $0,080 \text{ Bq m}^{-2}$  wartości odnotowanej w sierpniu (Tab. 19).

Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  i  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2015 r.,  $\text{Bq m}^{-2}$ .

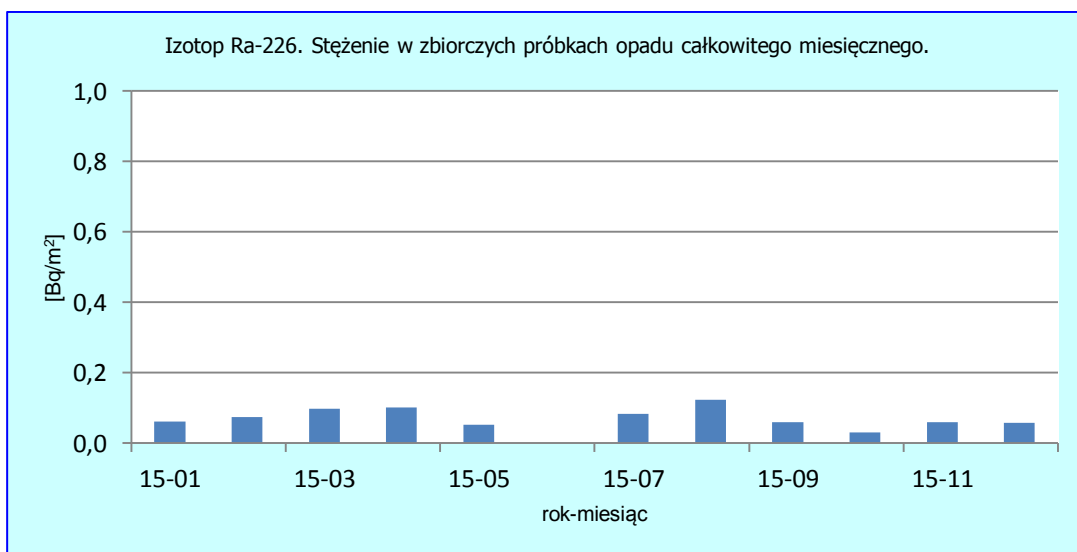
Miesiąc	Aktywność $\text{Bq m}^{-2}$			
	$^{228}\text{Ac}$	$^7\text{Be}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$
Styczeń	0,040	59,7	2,87	0,061
Luty	0,058	15,4	2,57	0,074
Marzec	0,062	36,5	2,73	0,098
Kwiecień	0,063	38,1	2,83	0,102
Maj	0,043	101,8	2,37	0,052
Czerwiec	0,052	71,8	2,51	-
Lipiec	0,054	109,5	3,27	0,084
Sierpień	0,080	48,2	2,56	0,123
Wrzesień	0,066	70,9	2,65	0,060
Październik	0,059	32,8	2,65	0,031
Listopad	0,037	55,9	2,45	0,060
Grudzień	0,029	33,0	1,11	0,059
<b>Suma roczna</b>	<b>0,643</b>	<b>673,6</b>	<b>30,57</b>	<b>0,804</b>
Średnia	0,054	56,1	2,55	0,073
Maksymalna	0,080	109,5	3,27	0,123
Minimalna	0,029	15,4	1,11	0,031



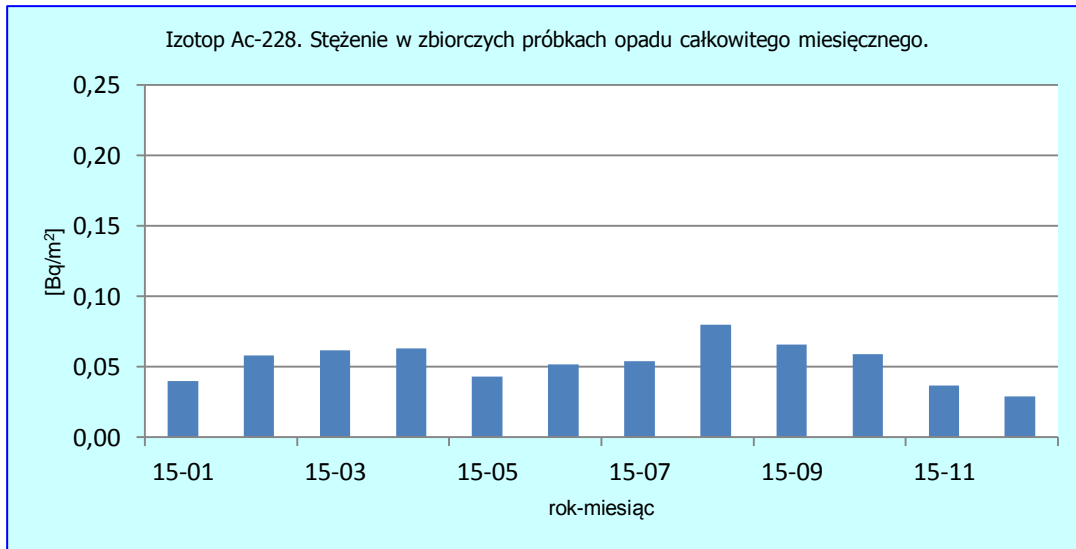
Rys.67. Stężenie promieniotwórcze <sup>7</sup>Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2015 roku.



Rys.68. Stężenie promieniotwórcze <sup>40</sup>K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2015 roku.



Rys.69. Stężenie promieniotwórcze <sup>226</sup>Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2015 roku.

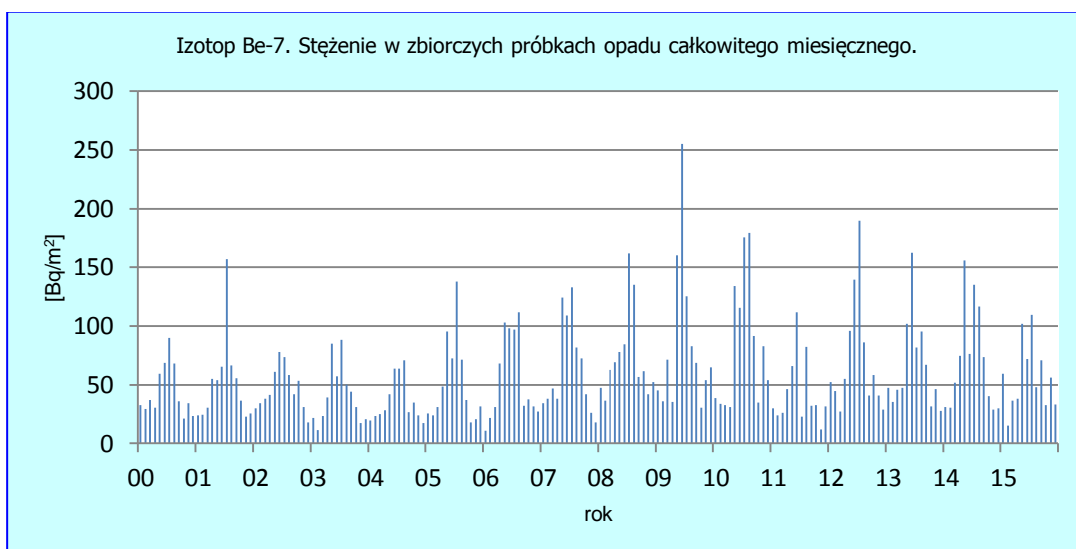


Rys. 70. Stężenie promieniotwórcze  $^{228}\text{Ac}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2015 roku.

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2015 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.

W okresie od 2000 do 2015 roku (Tabela 20.) spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów zmienność sezonową odnotowano jedynie w przypadku  $^7\text{Be}$  (Rys. 67-70). Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich, co spowodowane było, podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  wypłukiwaniem izotopu berylu z atmosfery. Potwierdza to silna korelacja pomiędzy wysokością opadu a średnim ładunkiem miesięcznym  $^7\text{Be}$  ( $r=0,6953$ ,  $p<0,005$ ), w przypadku pozostałych izotopów:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  trend ten jest dużo mniej widoczny.

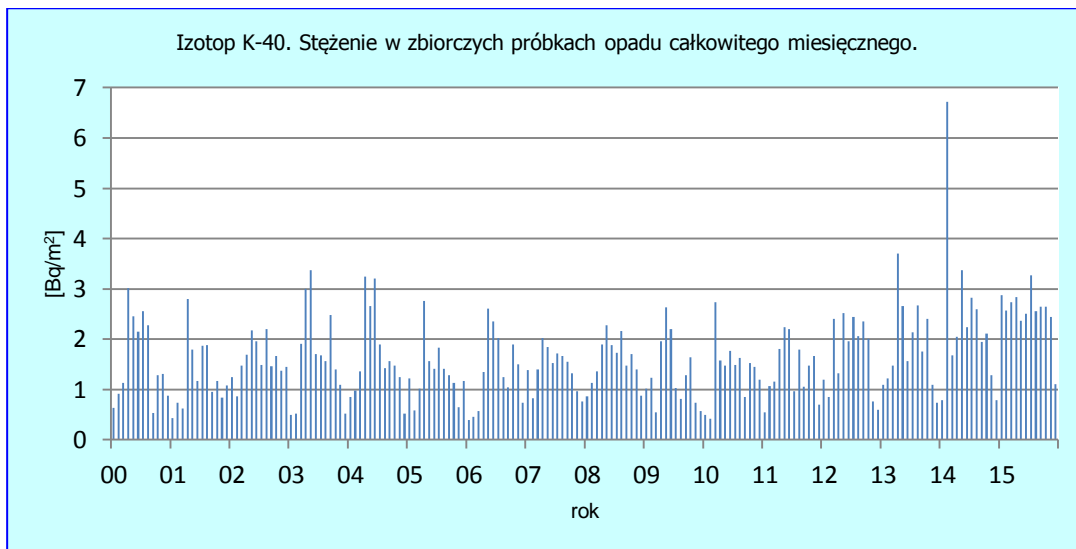
W roku 2015 średnie roczne ładunki pierwiastków:  $^{40}\text{K}$  i  $^{228}\text{Ac}$  były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2015), a w przypadku  $^7\text{Be}$  i  $^{226}\text{Ra}$  ładunek z roku 2015 był niższy od średniej z badanego okresu.



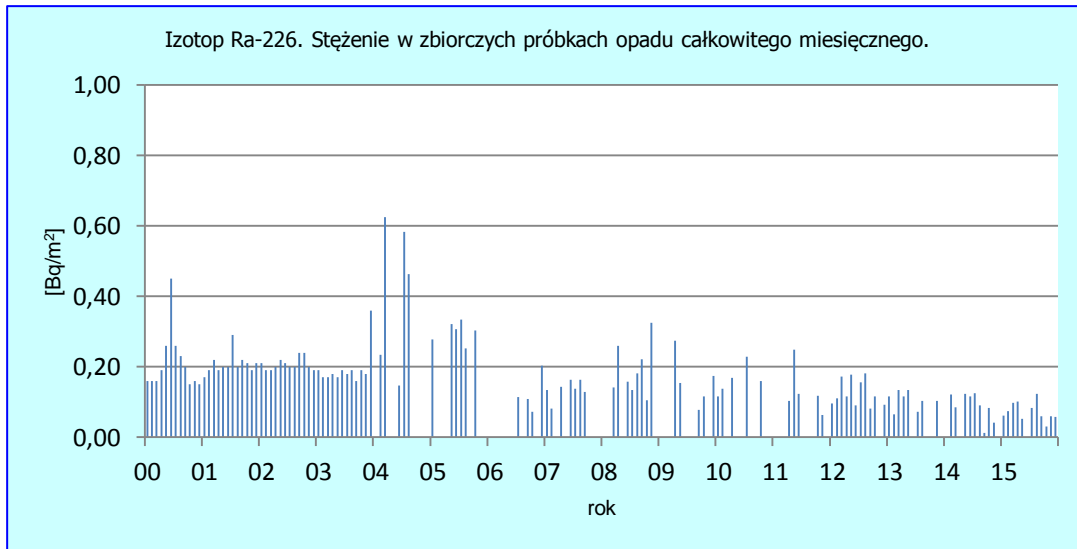
Rys.71. Stężenie promieniotwórcze  $^7\text{Be}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2015.

Tabela 20. Roczna suma aktywności  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2015,  $\text{Bq m}^{-2}$

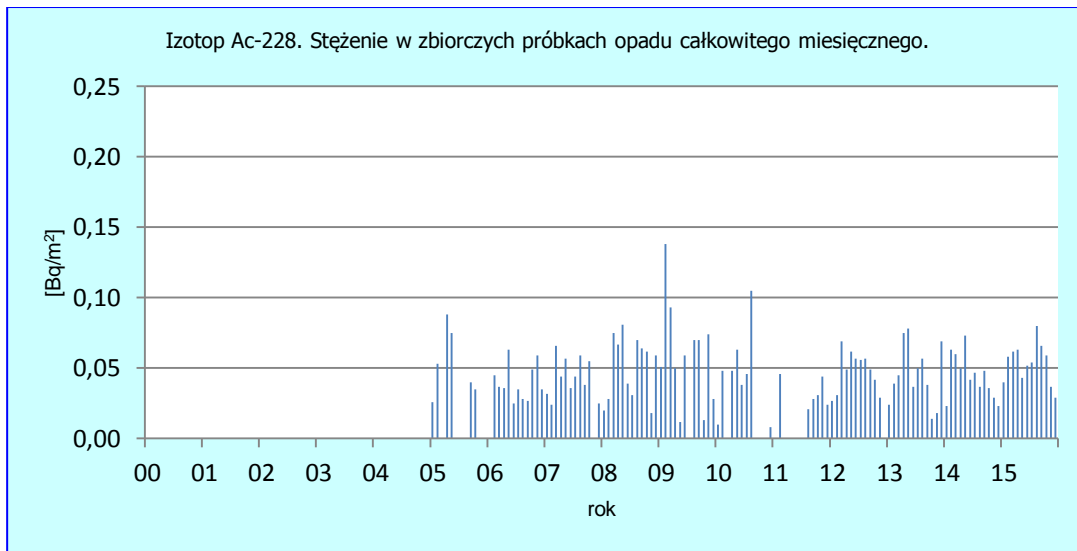
Rok	$^7\text{Be}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ac}$
2000	532,0	19,14	2,530	
2001	618,0	15,34	2,490	
2002	559,7	19,06	2,490	
2003	489,5	19,72	2,330	
2004	439,6	20,45	2,974	
2005	614,1	16,06	2,584	0,402
2006	670,9	16,18	1,068	0,450
2007	764,6	16,99	1,299	0,493
2008	888,3	18,76	1,817	0,614
2009	1029,9	15,69	1,414	0,676
2010	1005,7	16,63	0,814	0,366
2011	517,8	16,69	0,659	0,194
2012	859,9	20,50	1,393	0,528
2013	790,8	22,52	0,848	0,069
2014	845,4	28,38	0,801	0,531
<b>2015</b>	<b>673,6</b>	<b>30,57</b>	<b>0,804</b>	<b>0,643</b>
Średnia	706,2	19,54	1,645	0,451
Minimalna	439,6	15,34	0,659	0,069
Maksymalna	1029,9	30,57	2,974	0,676



Rys. 72. Stężenie promieniotwórcze  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2015.



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze <sup>226</sup>Ra w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2015.



Rys.74. Stężenie promieniotwórcze <sup>228</sup>Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2015.

#### 4. Podsumowanie

W 2015 roku monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy atmosfery prowadzono w ramach Umowy nr 13/F/2013 oraz 36/2015/F pomiędzy Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym.

Pomiary prowadzono na stacjach sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych działających w ramach infrastruktury IMGW. Stacje IMGW zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu<sup>3</sup>, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2015 roku prowadzono pomiary parametrów:

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

Wyniki uzyskane w roku 2015 zestawiono w Tabeli 21 na kolejnej stronie.

---

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

Tabela 21. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2015.

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna <sup>4</sup>			
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>91,5 nGy/h</b> Str. 16			
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>7,2 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 22			
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,074 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 26			
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,241 Bq/m<sup>3</sup></b> Str. 30			
5.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego oraz roczna suma aktywności beta całkowitego opadu dobowego. <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>0,9 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 34	Suma roczna <b>0,313 kBq/m<sup>2</sup></b> Str. 34		
6.	Globalna aktywność beta wody opadowej <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>350 mBq/litr</b> Str. 39			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego <b>Wartości na poziomie tła</b>	Wartość średnia <b>7,5 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 44			
8.	Stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <b>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</b>	Wartość średnia <b>0,047 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 49	Suma roczna <b>0,559 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 49		
9.	Stężenie promieniotwórcze <sup>134</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <b>Bardzo niskie wartości na poziomie zdolności detekcyjnych aparatury</b>	<i>Poniziej zdolności detekcji</i>		<i>Poniziej zdolności detekcji</i>	
10.	Stężenie promieniotwórcze <sup>90</sup> Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <b>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</b>	Wartość średnia <b>0,008 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 52		Suma roczna <b>0,092 Bq/m<sup>2</sup></b> Str. 52	
12.	Sumy roczne aktywności <sup>7</sup> Be, <sup>40</sup> K, <sup>226</sup> Ra, <sup>228</sup> Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <b>Wartości na poziomie tła</b> Str. 55	Be-7	K-40	Ra-226	Ac-228
		<b>673,6 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>30,57 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>0,804 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>0,643 Bq/m<sup>2</sup></b>

<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 2015 roku nie odbiegał w sposób znaczący od poziomu, który obserwowano w poprzednich latach.

Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2015 roku wynosiła  $91,5 \text{ nGy h}^{-1}$  i była niższa od obserwowanej w roku poprzednim o  $0,5 \text{ nGy h}^{-1}$ . W latach 2000 - 2015 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. W omawianym okresie wartości te zmieniały się w stosunkowo wąskim przedziale od  $89,6 \text{ nGy h}^{-1}$  w 2010 roku do  $99,1 \text{ nGy h}^{-1}$ , wartości, która charakteryzowała rok 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach utrzymuje się na poziomie  $94,6 \text{ nGy h}^{-1}$ .

W roku 2015 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było tylko o  $0,2 \text{ Bq m}^{-3}$  niższe niż w ubiegłym roku i wynosiło  $7,2 \text{ Bq m}^{-3}$ . Zbliżone wartości otrzymano również w latach: 2011, 2010, 2007, 2005, 2004, 2003. W porównywanym okresie nie zaobserwowano jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie ( $4,9 \text{ Bq m}^{-3}$ ) odnotowano w 2001, najwyższe ( $8,6 \text{ Bq m}^{-3}$ ) natomiast w 2008 roku. Średnia obliczona ze wszystkich badanych lat utrzymywała się na poziomie  $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$ .

W przypadku izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa, średnie roczne stężenie promieniotwórcze w 2015 roku wyniosło  $0,074 \text{ Bq m}^{-3}$  i było to najwyższe stężenie odnotowane od 2000 roku. W latach 2000 – 2015 najniższe średnie roczne stężenie  $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$  odnotowano w 2001 roku, natomiast średnia uzyskana ze wszystkich wartości w badanym okresie utrzymuje się na poziomie  $0,028 \text{ Bq m}^{-3}$ .

W 2015 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło  $0,241 \text{ Bq m}^{-3}$  i było najwyższe spośród wszystkich średnich obliczonych w okresie 2000-2015r. Osiągnięty wynik jest prawie dwukrotnie wyższy niż w ubiegłym roku ( $0,137 \text{ Bq m}^{-3}$ ) i ponad siedmiokrotnie wyższy niż minimalne średnie stężenie przypadające na lata 2000 oraz 2002 -  $0,034 \text{ Bq m}^{-3}$ . Średnia aktywność promieniotwórcza związana z obecnością izotopów emitujących promieniowanie beta w aerozolach w badanym okresie wyniosła  $0,077 \text{ Bq m}^{-3}$ .

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

Globalna aktywność beta w opadzie całkowitym 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 2015 roku ( $0,31 \text{ kBq m}^{-2}\text{rok}^{-1}$ ) była taka sama jak w latach 2006, 2007 i 2013. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2015 utrzymała się na poziomie  $0,32 \text{ kBq m}^{-2}\text{rok}^{-1}$ .

Średnia aktywność beta wody opadowej charakterystyczna dla 2015 roku wyniosła  $350 \text{ mBq l}^{-1}$ . Maksymalny wynik otrzymany w latach 2000-2015 przypada na rok 2003 i wynosi

376 mBq l<sup>-1</sup>, minimalny to wartość odpowiednia dla ubiegłego roku, natomiast średnia aktywność uzyskana ze wszystkich lat jest równa 346 mBq l<sup>-1</sup>.

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w roku 2015 wynosiła 7,5 Bq m<sup>-2</sup> i była jedną z wyższych średniorocznych aktywności badanych w latach 2000-2015. Wyższe wyniki odnotowano w okresie 2009-2011 oraz w ubiegłym roku, odpowiednio: 7,8 Bq m<sup>-2</sup> 8,2 Bq m<sup>-2</sup> 8,0 Bq m<sup>-2</sup>. Minimalna aktywność 6,0 Bq m<sup>-2</sup> przypadła na rok 2005, a średnia aktywność całkowitego opadu atmosferycznego w badanym okresie wynosi 7,0 Bq m<sup>-2</sup>.

Po analizie kolejnych wyników średni ładunek <sup>137</sup>Cs wraz z opadem atmosferycznym wynosił 0,047Bq m<sup>-2</sup> a w przypadku <sup>134</sup>Cs stężenia tego izotopu były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe ładunki <sup>137</sup>Cs notowane były w okresie listopad-grudzień (0,018 Bq m<sup>-2</sup> - 0,012 Bq m<sup>-2</sup>), najwyższe zaś w marcu (0,148 Bq m<sup>-2</sup>) oraz w maju (0,077 Bq m<sup>-2</sup>). Na tle lat 2000-2015 ładunek izotopu <sup>134</sup>Cs rejestrowany był w okresie marzec-maj 2011, kiedy nad Polskę dotarły skażone masy powietrza po awarii elektrowni atomowej Fukushima Daichii, podczas gdy w pozostałym okresie pomiarowym jego aktywność pozostawała poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej.

Roczny dopływ <sup>137</sup>Cs wraz z całkowitym opadem atmosferycznym w roku 2015 wynosił 0,559 Bq m<sup>-2</sup> i był wyższy niż roku 2014 tzn. 0,491 Bq m<sup>-2</sup>. Minimalna suma dopływu przypada na rok 2013 (0,262 Bq m<sup>-2</sup>), maksymalną zaś uzyskano w 2011 i była na poziomie 1,067 Bq m<sup>-2</sup>. W badanym okresie średnia suma rocznych dopływów <sup>137</sup>Cs osiągnęła wynik 0,590 Bq m<sup>-2</sup>.

Roczny dopływ <sup>90</sup>Sr wraz z opadem całkowitym w 2015 roku wynosił 0,092 Bq m<sup>-2</sup> i był to jeden z najniższych ładunków na tle omawianego okresu. Minimalny dopływ przypada na rok 2003 i wynosił 0,055 Bq m<sup>-2</sup>, a najwyższy był w opadzie całkowitym w roku 2000 i wynosił 0,209 Bq m<sup>-2</sup>.

W przypadku pozostałych izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie gamma w okresie 2000-2015 zaobserwowano stały trend jedynie w przypadku <sup>7</sup>Be. Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich, co spowodowane było, podobnie jak w przypadku <sup>137</sup>Cs wypłukiwaniem izotopu berylu z atmosfery. Średnie roczne ładunki pierwiastków: <sup>40</sup>K, <sup>228</sup>Ac były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2015), a w przypadku <sup>7</sup>Be i <sup>226</sup>Ra ładunek z roku 2015 był niższy od średniej z badanego okresu.