

INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY



**„Monitoring promieniowania jonizującego realizowany
w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska
w latach 2018 – 2020.**

***Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego
wykrywania skażeń promieniotwórczych”.***

**ETAP I
RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI I ANALIZY
ZA ROK 2018**



Praca wykonana na podstawie Umowy IMGW-PIB z GIOŚ nr 8/2018/F z dnia 30.05.18r. finansowanej na podstawie umowy nr 50/2019/Wn50/MN-po/D z 18.02.2019r. o realizację zadania państwowej jednostki budżetowej zakwalifikowanego do dofinansowania, zawartej między Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska.

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

Sprawdził

Zatwierdził

KIEROWNIK
Działu Monitoringu Jakości Powietrza
J. Jakubowska
mgr Julita Biszczuk-Jakubowska

DYREKTOR
dr Przemysław Ligenza

WARSZAWA 2019

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 2018 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2017
 - 3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu
 - 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu
 - 3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa
 - 3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa
 - 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta
 - 3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego
 - 3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego
 - 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej
 - 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.4. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.5. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac , ^{40}K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.7. Stężenie promieniotwórcze ^{106}Ru w zbiorczych próbkach całkowitego opadu dobowego
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 2016-2020¹.

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 Środowiska².

Dnia 30 maja 2018 roku podpisana została umowa nr 8/2018/F między IMGW-PIB a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska na wykonanie pracy pt.: **„Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018 – 2020. 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 2018 roku do 30 września 2020 roku, jak również do przedstawiania uzyskanych wyników w postaci zestawień oraz raportów rocznych.

Niniejszy raport prezentuje wyniki pomiarów prowadzonych od 1 stycznia 2018 do 31 grudnia 2018 r., **które zostały wykonane w ramach umowy 36/2015/F z dnia 30.09.2015 r. „Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych” (okres pomiarów: styczeń – wrzesień 2018) oraz umowy 8/2018/F z dnia 30.05.2018 r. „Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018 – 2020. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych” (okres pomiarów: październik – grudzień 2018).**

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 ¹³⁷Cs i wybranych naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

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

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

e) Radiochemiczne oznaczanie ^{90}Sr w zbiorczych próbach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki uzyskane w roku 2018 wraz z komentarzem uwzględniającym dane z lat poprzednich. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.



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

2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych

2.1. Pobieranie i przygotowanie próbek

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

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

2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewniania jakości pomiarów

Pomiar mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu – Sonda TDSG

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

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

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

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

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

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

W sondzie TDSG zastosowano następujące detektory wartości fizycznych:

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

Rejestracja danych pomiarowych

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

1. Zadawanie parametrów pracy (HV, wzmocnienia zgrubnego i precyzyjnego, parametrów układu stabilizacji widma, czasu pojedynczego pomiaru, współczynników kalibracyjnych),
2. Zapis i odczyt danych pomiarowych (bieżących i archiwalnych) – mocy dawki, spektrum, czasu pomiaru, ilości impulsów, temperatury, wilgotności,
3. Prezentacja na monitorze komputera danych pomiarowych (bieżących i archiwalnych) w postaci cyfrowej i wykresów,
4. Analiza danych pomiarowych w oparciu o zadane algorytmy w celu wykrycia obecności w powietrzu i rozróżnienia sztucznych i naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych, odpowiedzialnych za wzrost mocy dawki,
5. Algorytm rozpoznawania izotopów w sposób ręczny lub automatyczny,
6. Zapis wszystkich danych pomiarowych bieżących i archiwalnych do plików tekstowych i XML,
7. Współpraca oprogramowania z sondą TDSG z komputera lokalnego (przez port szeregowy, jak i

- LAN) oraz z komputerów zdalnych (przez intranet),
8. Przeprowadzanie wstępnej autokalibracji,
 9. Autodiagnostyka prawidłowości pracy i zbieranych wyników pomiarowych,
 10. Tworzenie raportów zawierających wyniki pomiarów oraz wykresy (w formacie txt oraz PDF) za dowolny okres,
 11. Funkcja statystyki danych pomiarowych tj. określanie wyników każdego pomiaru w postaci średnich godzinnych oraz średnich, maksymalnych i minimalnych za dobę oraz inny dowolny okres, obliczanie odchylenia standardowego dla dowolnej serii danych pomiarowych i zapis obliczeń w plikach txt oraz możliwość dołączenia ich do raportu.

Pomiar radioaktywności próbek aerozoli powietrza – Zestaw Berthold LB9128.

Monitor Berthold LB9128 z filtrem taśmowym posiada następujące cechy:

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

Monitor LB 9128-MAXI składa się z następujących bloków:

- Zespół gromadzenia pyłów LB 9128-MAXI. Zespół ten pozwala na zainstalowanie szybkiego pomiaru Alfa-Beta oraz szybkiego pomiaru Gamma. Detektor Beta lub Alfa-Beta zamontowany jest u góry obszaru gromadzenia pyłu, co zapewnia pomiar w czasie gromadzenia aktywności.
- Detektor Beta lub odpowiednio Alfa/Beta mierzy bezpośrednio na powierzchni gromadzenia pyłu, aby nie występowało żadne opóźnienie oceny. Próbki 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 mm². Zarówno dla sygnałów Beta, jak i Alfa dostępna jest kompensacja wpływu produktów rozpadu radonu metodą pseudo koincydencji. Oddzielny próg wysokiej energii cząstek Alfa (nastawiany w zakresie od 6 do 10 MeV) może być używany do oddzielnej oceny zawartości toronu (produkt rozpadu Rn-220) w powietrzu, na podstawie rozpadu Po-212 (E_a 8,78 MeV), względnie do poprawiania metody ABPD z dyskryminacją energii Alfa, poprzez wybór progu dyskryminacji Alfa powyżej 6 MeV.
- Kasetka ze stali nierdzewnej o stopniu zabezpieczenia przed wodą IP68 oraz przednie drzwiczki z przezroczystego pleksiglasu otaczają części narażone na wilgoć. Z tylnej strony kasetki zamontowany jest mechanizm napędowy i czujniki taśmy filtracyjnej. Mechanizm napędowy zapewnia przesuw filtra przy małym naprężeniu i czyni go mniej wrażliwym na zerwanie, nawet w przypadku wilgotnej taśmy filtracyjnej. Kasetka 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 m³/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/m³, zależnie od miejsca, pory roku, pory dnia lub nocy, warunków pogodowych - wymagana jest pełna dyskryminacja naturalnej aktywności. W monitorze cząstek Beta może być to uzyskane przy użyciu kompensacji metodą stosunku Beta/Alfa, a w monitorze Alfa/Beta metodą kompensacji ABPD.

Kompensacja metodą stosunku Beta/Alfa

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

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

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

- Dwutorowego spektrometru TDSPI,
- Sondy SSU-TD-BETA umieszczonej w ołowianym domku osłonnym DO-1,

- Rejestratora komputerowego z oprogramowaniem do sterowania spektrometrem i archiwizacji danych pomiarowych.

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

Każdy z torów zawiera:

- Zasilacz o zadawanym parametrycznie wysokim napięciu, do zasilania fotopowielacza sondy,
- Przedwzmacniacz,
- Wzmacniacz spektrometryczny o zadawanym parametrycznie wzmocnieniu zgrubnym i precyzyjnym,
- Analizator 512-kanałowy.

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

We wspólnej obudowie TDSPI zainstalowane są:

1. Dwutorowy spektrometr TDSPI zawierający dwa niezależne tory spektrometryczne przystosowane do współpracy z sondami scyntylacyjnymi beta i/lub gamma (tor pierwszy z SSU-TD-BETA lub SSU-70, tor 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. Sonda jest wyposażona w:

- Scyntylator BETA typu SPF-32,
- Fotopowielacz,
- Podstawkę fotopowielacza zintegrowaną z dzielnikiem napięcia i przedwzmacniaczem ładunkowym,
- Kable (sygnałowy, HV)

Rejestrator komputerowy i oprogramowanie w zestawie TDSPI.

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

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

Wzory obliczeniowe:

1. Współczynnik kalibracji

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

2. Aktywność próbki

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

3. Błąd statystyczny

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

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

4. Błąd statystyczny względny

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

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

5. Współczynnik dobroci

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

Oznaczenia:

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

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

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

Pomiary aktywności promieniotwórczej izotopów emitujących promieniowanie gamma wykonywane są za pomocą zestawu spektrometrycznego składającego się z detektora HPGe o wydajności 41% i zdolności rozdzielczej 1,9 keV przy energii 1332 keV wraz z analizatorem dołączonym do rejestratora komputerowego z zainstalowanym oprogramowaniem. Analiza widm rejestrowanych w 8000 kanałów prowadzona jest z zastosowaniem oprogramowania Genie – 2000, które umożliwia opracowanie matematyczne widm oraz ich wizualizację i archiwizację.

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

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

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

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

Wydajność dla poszczególnych linii energetycznych opisana jest równaniem:

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

gdzie:

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

N – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła

t – czas pomiaru w sekundach

y – wydajność kwantowa

A_w – aktywność wzorca (izotopu) na datę referencyjną

K_w – współczynnik korekcji rozpadu

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

t_w – czas jaki upłynął od daty referencyjnej wzorca (izotopu) do czasu kalibracji aparatury

$T_{1/2}$ – połowiczny czas rozpadu izotopu

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

σ - odchylenie standardowe tła w badanym pikie.

Limity detekcji zostały policzone dla poziomu ufności 0,70, przy założeniu, że czas pomiaru t_a 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,

λ_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 cm²),

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

Radiochemiczne oznaczanie ⁹⁰Sr w miesięcznym opadzie całkowitym

Stężenie promieniotwórcze ⁹⁰Sr oznaczane jest w zintegrowanej próbce miesięcznego opadu całkowitego, uprzednio analizowanego nieniszcząco metodą spektrometrii gamma. Oznaczenie ⁹⁰Sr 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 ⁹⁰Sr z próby opadu do roztworu.

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

2. Wytrącanie szczawianów.

- Do 150 ml przesączu dodaje się 100 ml 8% kwasu 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) HNO₃ (na początku dodajemy kilka mililitrów kwasu, następnie dozujemy kwas kroplami aż do całkowitego rozpuszczenia osadu).

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

3. Spopielanie osadu.

Sączek z osadem przenosi się do tygla i spala w piecu mufowym 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 HNO_3 (1:1) aż do całkowitego rozpuszczenia osadu. Roztwór z tygła przenosi się ilościowo do zlewki i uzupełnia wodą destylowaną do uzyskania objętości ok. 70 ml.

5. Wytrącanie chromianu baru.

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

6. Wytrącanie wodorotlenku itru.

Do roztworu pozostałego po oddzieleniu chromianu baru dodaje się 1 ml nośnika itru. Roztwór ogrzewa się w temp. ok. 90°C . Po ostudzeniu dodajemy amoniak do uzyskania pH 8 i wytrącenia osadu wodorotlenku itru, który oddziela się przez sączenie. Pozostały po przesączeniu roztwór zlewa się do butelki polietylenowej, dodaje do niego HNO_3 (1:1) do uzyskania pH 2-3 i 1 ml nośnika itru. Tak przygotowaną próbę pozostawia się na 18 dni.

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

7. Wytrącanie wodorotlenku itru.

Po 18 dniach roztwór z butelki przenosi się do zlewki i zagęszcza przez odparowanie do objętości ok. 50 ml. Następnie dodaje się stężony amoniak do uzyskania pH 8 i podgrzewa do wytrącenia wodorotlenku itru. Osad oddziela się od roztworu przez sączenie. Roztwór zlewa się do butelki, jego pH doprowadza się, za pomocą HNO_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 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°C , do całkowitego wytrącenia szczawianów.

9. Przygotowanie próbki do pomiarów.

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

ETAP III – Pomiar aktywności

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

Pomiary aktywności prowadzone są z zastosowaniem niskotłowego licznika przepływowego LB 4200, 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}Y o znanej aktywności i geometrii identycznej z geometrią próbek.

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

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

gdzie:

A – aktywność [Bq m^{-2}]

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

η - współczynnik kalibracji [Bq/imp/min] S – powierzchnia zbierająca [m^2]

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

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

gdzie:

t_0 – godzina oddzielenia osadu od roztworu

t_1 – godzina odpowiadająca połowie czasu pomiaru próbki

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

Błąd pomiaru:

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

σ - błąd pomiaru [Bq m^{-2}], t_p – czas pomiaru próbki [min], t_{pt} – czas pomiaru tła [min]

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

3. Wyniki i omówienie wyników z 2018 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2017

3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu

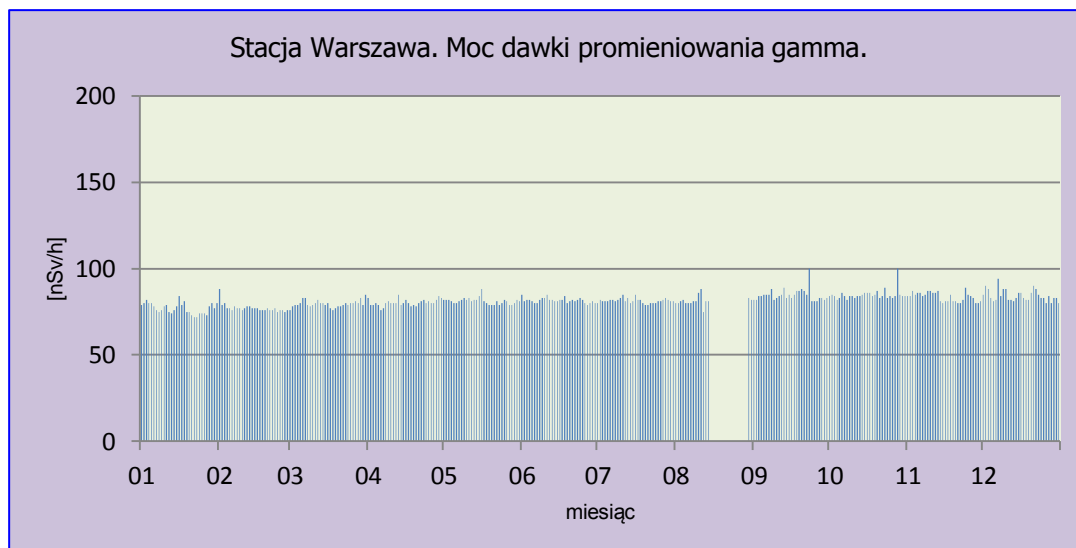
Moc dawki promieniowania gamma definiujemy jako ilość energii promieniowania jonizującego przekazana jednostce masy w jednostce czasu.

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

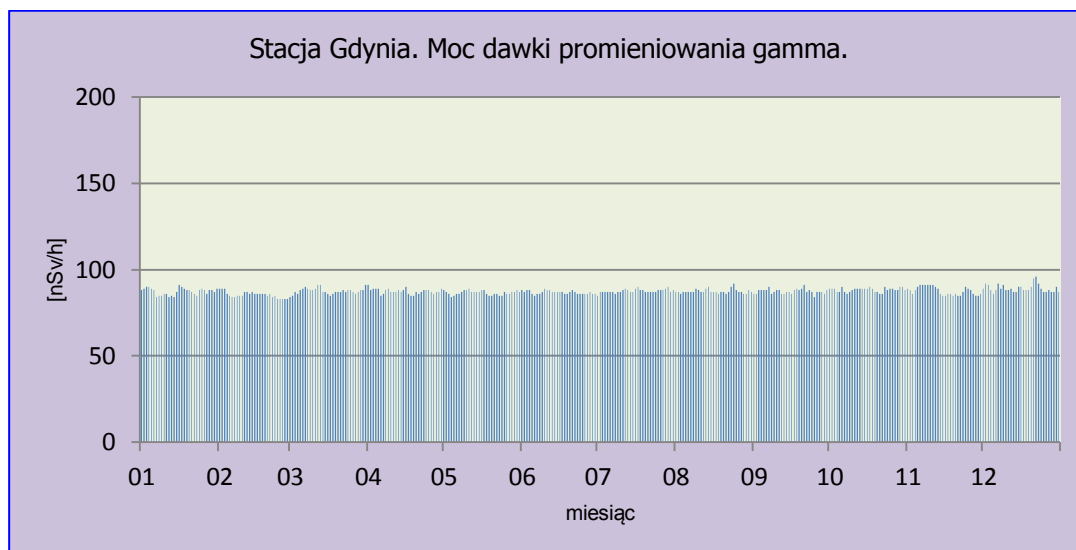
Miarą poziomu promieniowania gamma związanego z obecnością izotopów emitujących ten rodzaj promieniowania w atmosferze jest moc dawki. W 2018 roku wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były w reżimie dobowym na 9 stacjach IMGW-PIB: Warszawa, Gdynia, Mikołajki, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Legnica, Włodawa, Zakopane, Lesko. Otrzymane wartości zmieniały się w szerokim zakresie (Rys. 2-10), od najniższej średniej miesięcznej wartości 75,3 nSv h⁻¹ uzyskanej w lutym na stacji Świnoujście do maksymalnej zarejestrowanej w kwietniu w Zakopanem – 127,9 nSv h⁻¹ (Tabela 1). Najniższa średnia roczna moc dawki promieniowania gamma uzyskana z wartości dobowych – 77,0 nSv h⁻¹ charakteryzowała Świnoujście oraz stację Włodawa – 79,7 nSv h⁻¹. Zbliżone wyniki odnotowano odpowiednio na stacjach: Warszawa, Gorzów Wielkopolski, Gdynia, Legnica (między 80 a 100 nSv h⁻¹) oraz Mikołajki, Lesko, Zakopane (>100 nSv h⁻¹). Najwyższe wartości mocy dawki odnotowane w Zakopanem mają jednoznacznie związek z faktem, że promieniowanie w rejonach górskich jest największe. Na stacjach zlokalizowanych w miejscowościach położonych znacznie niżej względem poziomu morza: Warszawa, Gdynia, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Włodawa średnia roczna moc dawki promieniowania gamma była niższa niż uzyskana średnia z całej Polski, jedynie w Mikołajkach i na stacji Lesko wartość przekroczyła średnią odnotowaną dla całej Polski równą 92,5 nSv h⁻¹ (Tabela 1). 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 2018 roku, nSv h⁻¹.

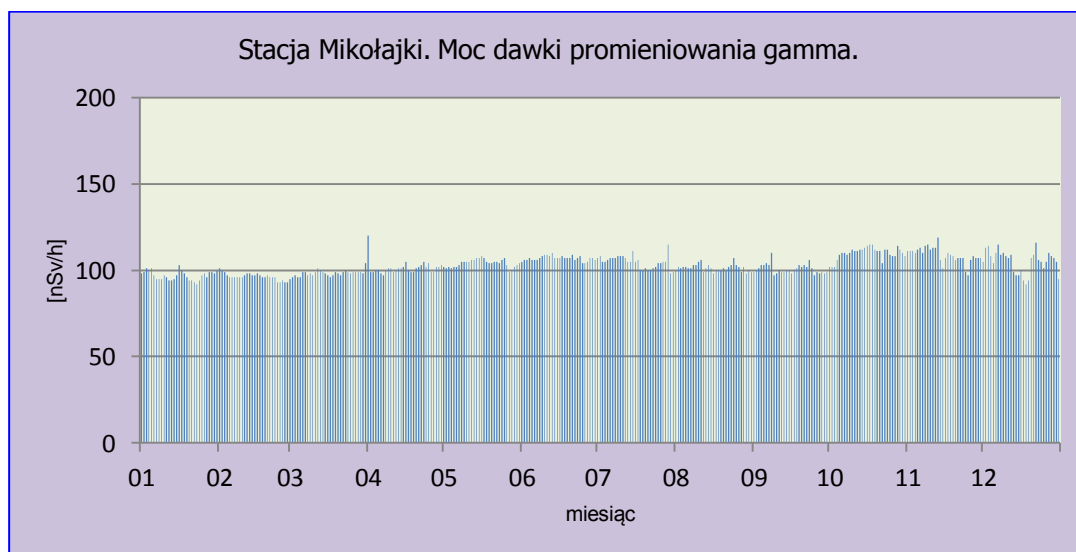
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	77,0	87,3	96,9	85,5	76,7	93,5	77,4	109,2	103,0	89,6
Luty	77,2	85,5	96,4	83,6	75,3	92,8	75,6	99,3	88,0	86,0
Marzec	79,6	87,6	98,2	86,0	76,9	94,5	77,0	110,6	97,5	89,8
Kwiecień	80,3	87,5	101,4	85,1	75,7	96,9	79,9	127,9	105,7	93,4
Maj	81,2	86,6	104,0	86,1	76,1	100,6	80,7	125,0	108,1	94,3
Czerwiec	81,6	86,8	106,9	87,2	77,2	102,0	82,0	115,7	107,2	94,1
Lipiec	81,4	87,5	104,8	87,7	76,5	102,2	81,1	115,3	105,0	93,5
Sierpień	81,3	87,4	101,4	89,3	77,4	105,8	80,0	116,6	106,9	94,0
Wrzesień	84,7	87,4	100,7	88,8	77,2	103,1	80,6	114,9	106,7	93,8
Październik	84,9	88,3	109,9	88,7	77,9	104,7	80,9	114,7	106,3	95,1
Listopad	83,6	87,7	108,8	87,9	77,9	100,2	79,8	113,5	105,2	93,8
Grudzień	84,4	89,2	105,1	87,8	78,6	97,8	81,0	106,7	103,3	92,7
Minimalna średnia miesięczna w 2018r.	77,0	85,5	96,4	83,6	75,3	92,8	75,6	99,3	88,0	85,9
Maksymalna średnia miesięczna	84,9	89,2	109,9	89,3	78,6	105,8	82,0	127,9	108,1	97,3
Średnia roczna dobową w 2018 r.	81,5	87,4	102,9	87,0	77,0	99,6	79,7	114,2	103,7	92,5



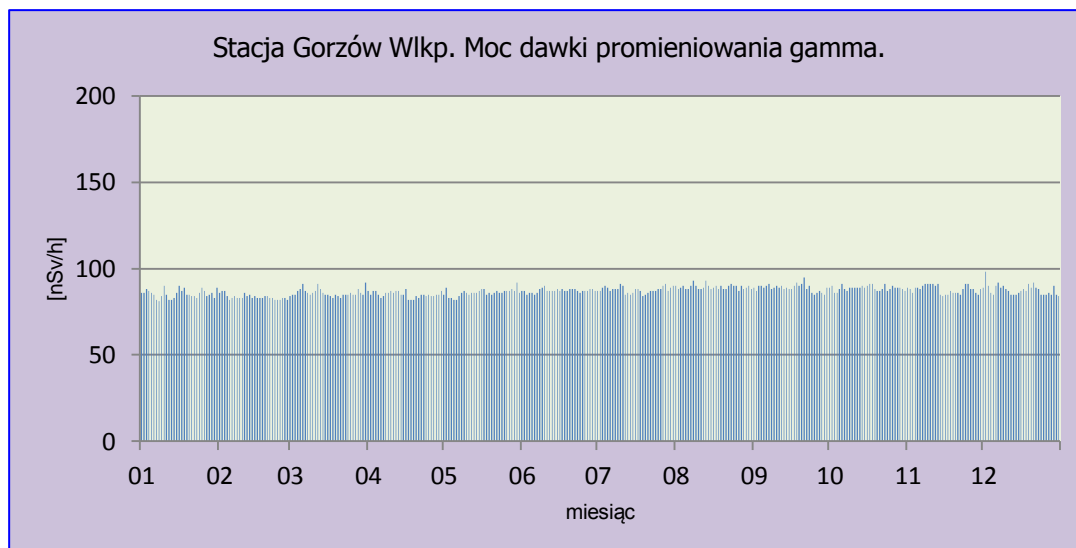
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2018 roku.



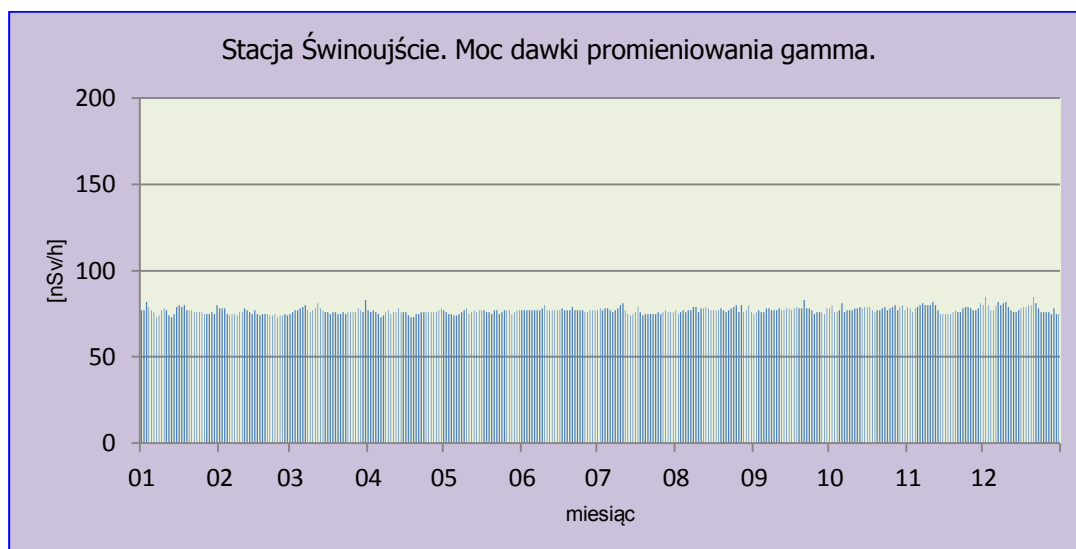
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2018 roku.



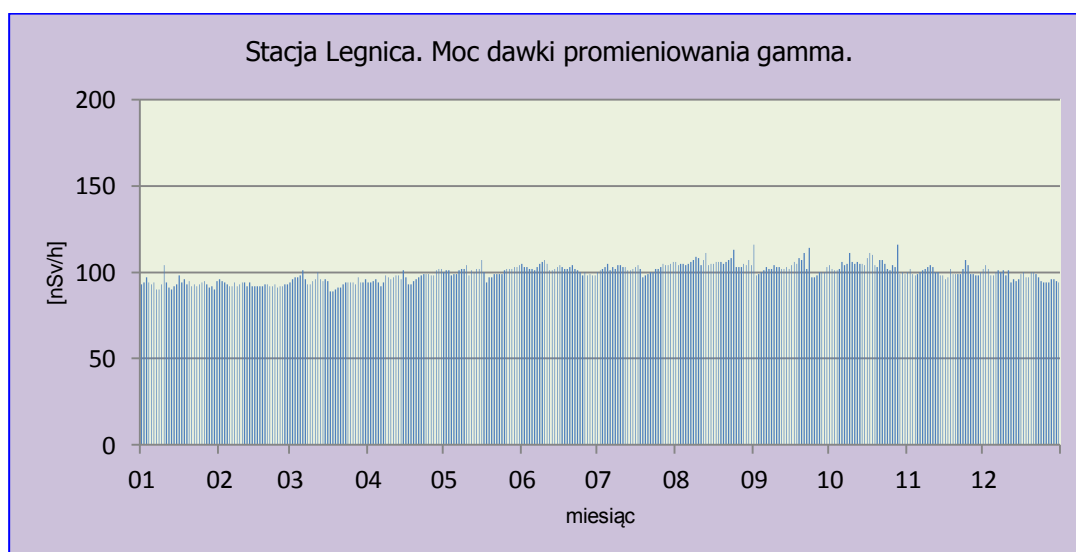
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2018 roku.



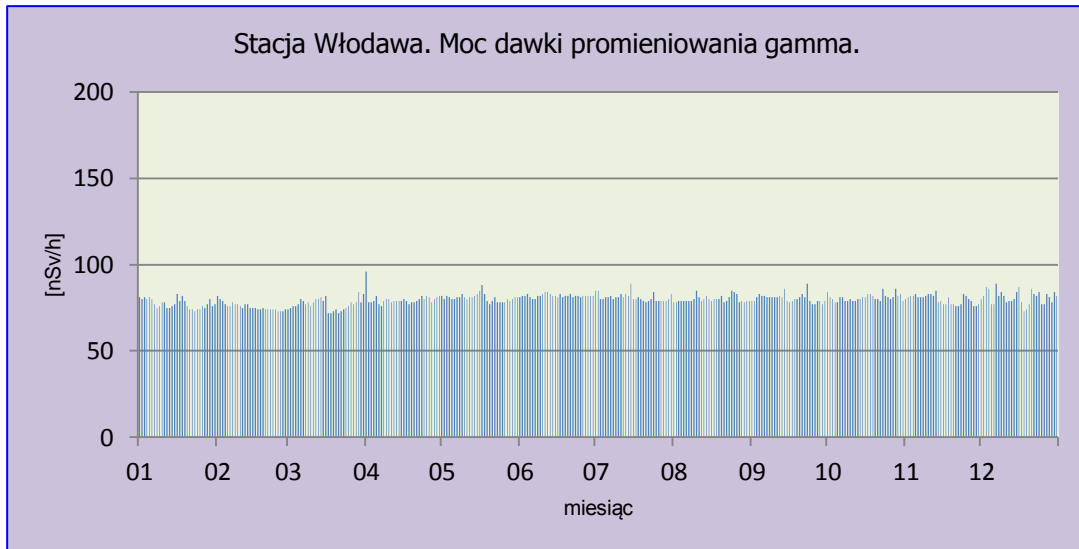
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2018 roku.



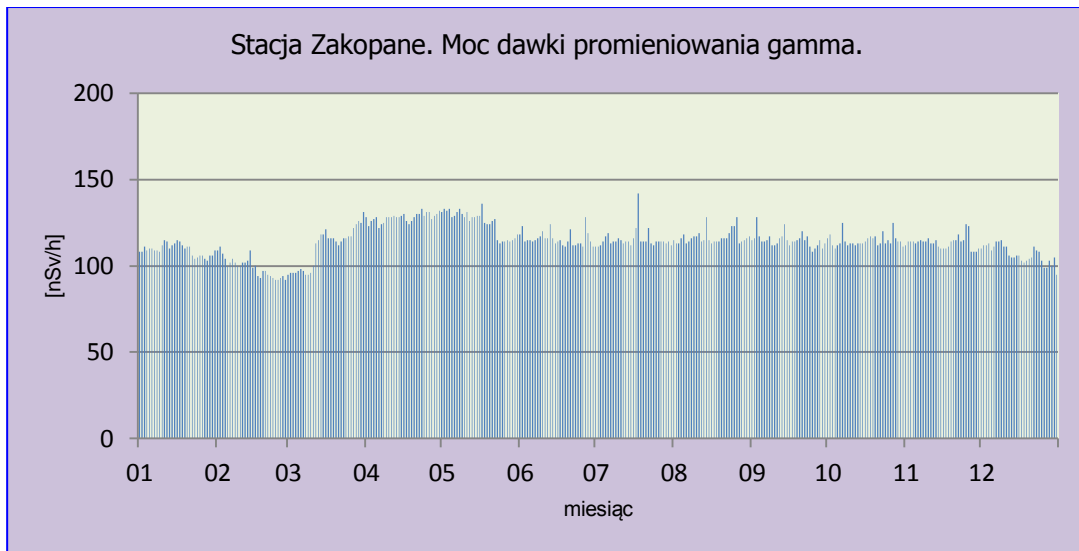
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2018 roku.



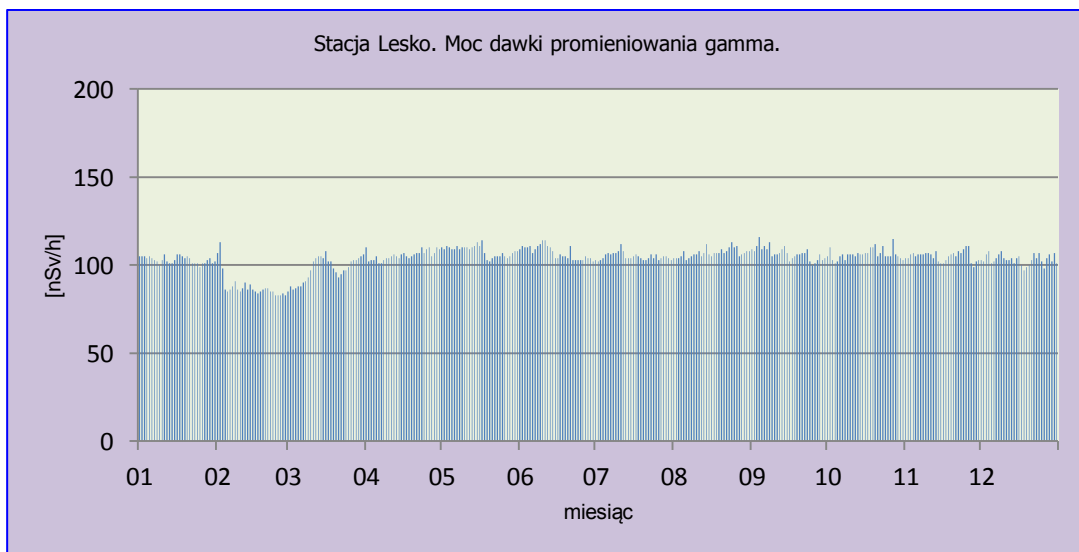
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2018 roku.



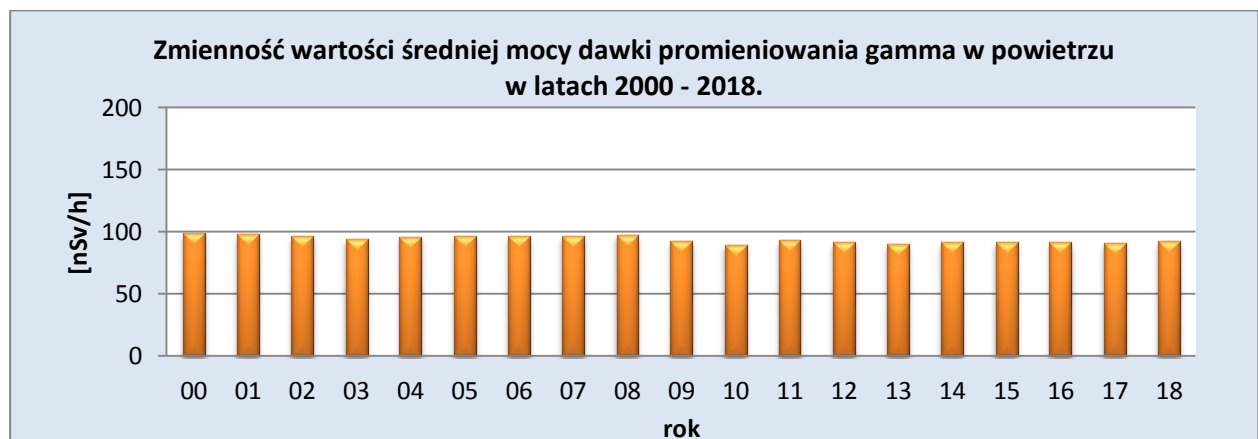
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 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 2018 roku wynosiła 92,5 nSv h⁻¹ i była wyższa od obserwowanej w roku poprzednim o 1,6 nSv h⁻¹ (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 - 2018 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 nSv h⁻¹ w 2010 roku do 99,1 nSv h⁻¹ w 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła 94,1 nSv h⁻¹.

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2018, nSv h⁻¹.

Rok	Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma
2000	99,1
2001	98,3
2002	96,7
2003	93,8
2004	96,1
2005	96,8
2006	96,7
2007	96,6
2008	97,7
2009	93,1
2010	89,6
2011	93,3
2012	91,8
2013	90,1
2014	92,0
2015	91,5
2016	92,1
2017	90,9
2018	92,5
Średnia	94,1
Minimalna	89,6
Maksymalna	99,1



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2018.

3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

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

Stężenie izotopów promieniotwórczych w atmosferze zależy również od warunków meteorologicznych.

W 2018 roku na 7 stacjach badawczych zostały wykonane pomiary poziomu radioaktywności w próbkach aerozoli związane z obecnością izotopów emitujących promieniowanie alfa, pochodzenia naturalnego i sztucznego, oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta.

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

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

3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa

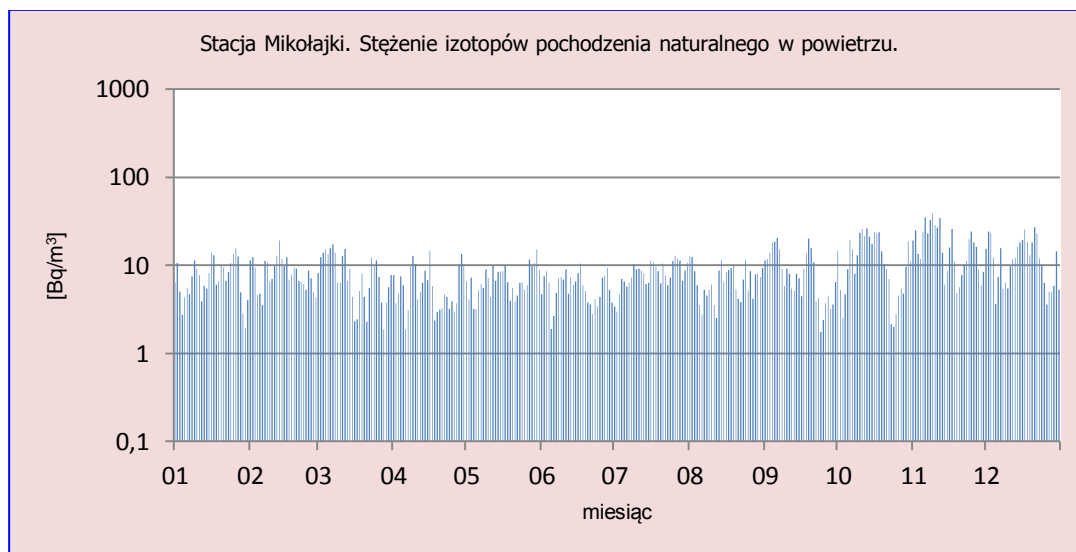
Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych w 2018 roku zmieniały się w szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością $2,6 \text{ Bq m}^{-3}$ charakteryzowały się aerozole zebrane w kwietniu i maju na stacji Świnoujście, gdzie najwyższa uzyskana wartość, odnotowana dla tej miejscowości w listopadzie wynosiła $9,9 \text{ Bq m}^{-3}$. Najwyższe średnie miesięczne stężenie izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa, przypadające na miesiąc listopad ($19,8 \text{ Bq m}^{-3}$) odnotowano w Legnicy, oraz Mikołajkach ($17,9 \text{ Bq m}^{-3}$) i na stacji Lesko ($17,3 \text{ Bq m}^{-3}$). Wartości średnich rocznych obliczonych na podstawie wartości dobowych, czyli średnich z 365 dni dla każdej stacji mieściły się w zakresie od $4,2 \text{ Bq m}^{-3}$ (Świnoujście) do $11,4 \text{ Bq m}^{-3}$ (Legnica).

Analizując miesięczne wartości średnie obliczone na podstawie danych z 7 stacji, stwierdzono, że najwyższe wartości notowane były w okresie jesiennym: listopad ($15,1 \text{ Bq m}^{-3}$), październik ($11,1 \text{ Bq m}^{-3}$), a najniższe w kwietniu ($6,0 \text{ Bq m}^{-3}$) i lutym $6,1 \text{ Bq m}^{-3}$.

Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w 2018, Bq m⁻³.

Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	7,7	4,2	3,0	6,8	4,5	8,5	8,4	6,2
Luty	8,6	4,7	3,1	8,4	3,8	6,2	7,7	6,1
Marzec	8,6	5,4	4,0	7,7	4,1	6,4	7,3	6,2
Kwiecień	6,3	4,8	2,6	11,7	3,5	7,0	6,3	6,0
Maj	7,1	4,1	2,6	11,5	3,6	8,4	7,4	6,4
Czerwiec	10,6	7,6	5,0	13,0	6,7	10,0	10,5	9,1
Lipiec	8,2	4,3	2,6	9,6	4,3	7,7	6,9	6,2
Sierpień	7,1	5,4	3,0	14,0	5,6	10,4	10,1	7,9
Wrzesień	9,2	6,6	3,8	16,3	6,4	10,9	10,3	9,1
Październik	13,0	9,6	7,2	16,6	8,3	11,0	12,3	11,1
Listopad	17,9	15,1	9,9	19,8	11,7	14,0	17,3	15,1
Grudzień	12,9	8,0	6,0	8,5	7,5	8,7	9,3	8,7
Min. średnia miesięczna	6,3	4,1	2,6	6,8	3,5	6,2	6,3	5,1
Maks. średnia miesięczna	17,9	15,1	9,9	19,8	11,7	14,0	17,3	15,1
Średnia roczna na podstawie wartości dobowych dla 2018 r.	9,4	6,4	4,2	11,4	5,6	8,9	9,2	7,9



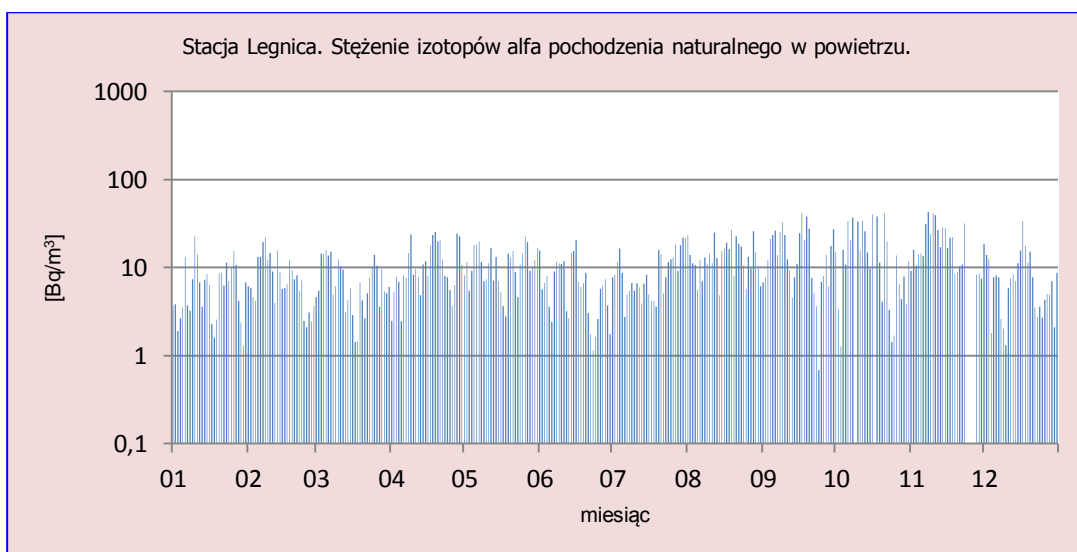
Rys.12. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2018 roku.



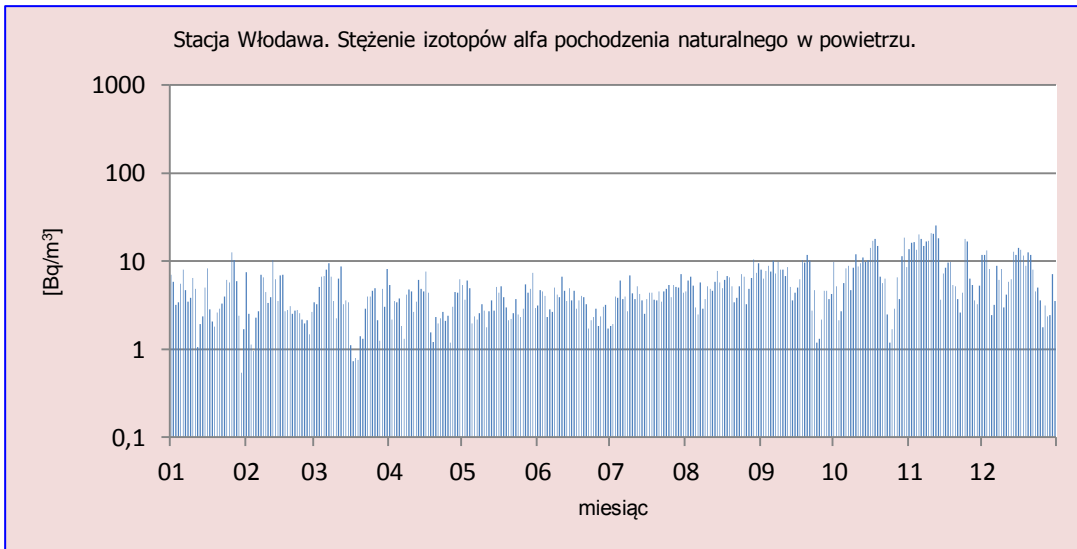
Rys.13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2018 roku.



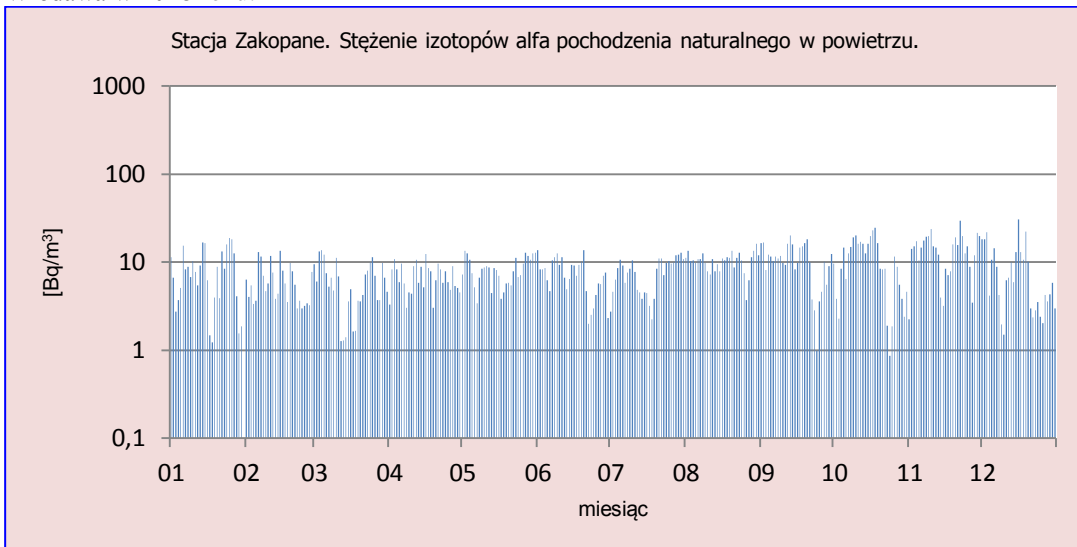
Rys.14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2018 roku.



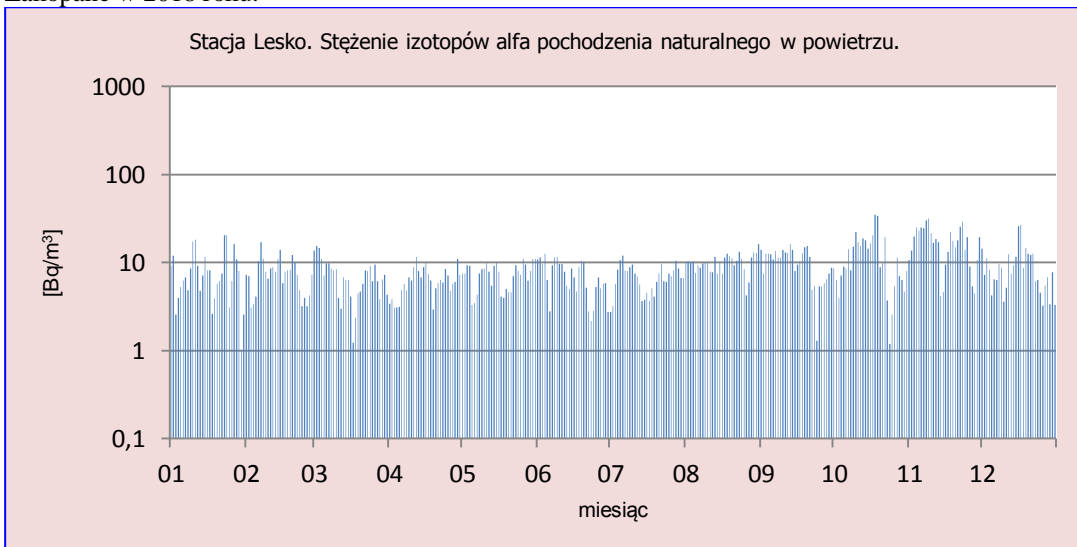
Rys.15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys.16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Zakopane w 2018 roku.



Rys.18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W roku 2018 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o $1,5 \text{ Bq m}^{-3}$ wyższe niż w roku ubiegłym i wynosiło $7,9 \text{ Bq m}^{-3}$ (Tabela 4). Zbliżone wartości otrzymano również w latach: 2003 i 2006. W okresie ostatnich 18 lat nie obserwuje się jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie ($4,9 \text{ Bq m}^{-3}$) charakteryzowało rok 2001, najwyższe natomiast ($8,6 \text{ Bq m}^{-3}$) wystąpiło w 2008 roku. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2018 wynosi $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$. Zmienność stężeń promieniotwórczych izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach, jak wspomniano na początku rozdziału, wynika zarówno z czynników meteorologicznych, jak również z naturalnych procesów zachodzących w skorupie ziemskiej oraz oddziaływania promieniowania kosmicznego.

Tabela 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2018, Bq m^{-3} .

Rok	Średnie roczne stężenie
2000	5,6
2001	4,9
2002	6,3
2003	7,8
2004	7,1
2005	7,4
2006	8,0
2007	7,5
2008	8,6
2009	8,2
2010	7,0
2011	7,4
2012	6,0
2013	5,4
2014	7,4
2015	7,2
2016	7,7
2017	6,4
2018	7,9
Średnia	7,0
Maksymalna	8,6
Minimalna	4,9

3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa

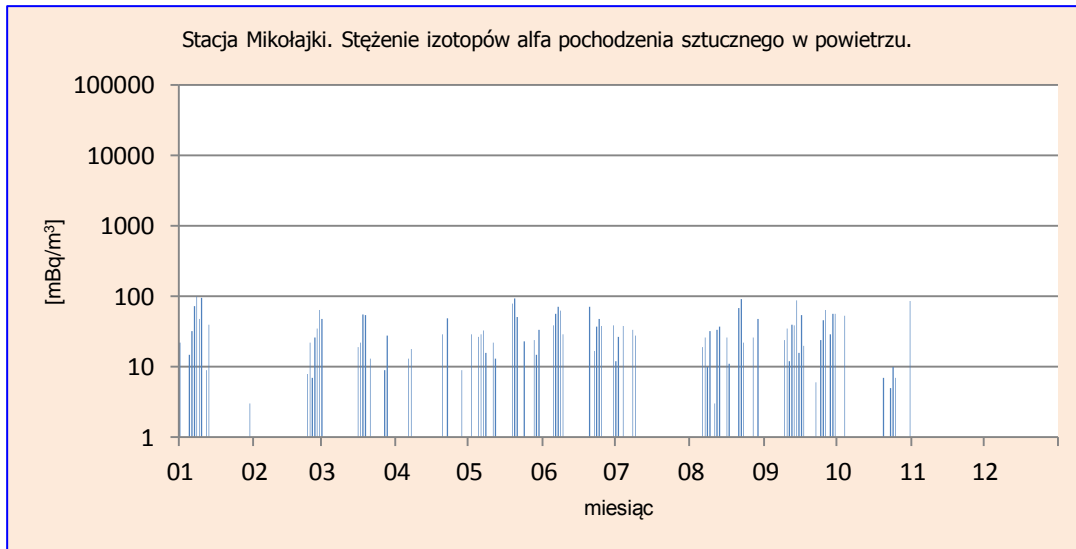
Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

Stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie alfa pochodzenia antropogenicznego w 2018 roku zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od 0 do 0,191 Bq m⁻³. Miesięczne wartości minimalne zmieniały się w przedziale od 0 Bq m⁻³ (Mikołajki, Lesko) do 0,028 Bq m⁻³ (Legnica), natomiast maksymalne w przedziale od 0,020 Bq m⁻³ (Mikołajki) do 0,191 Bq m⁻³ (Legnica) (Tabela 5, Rys. 19-25). Maksymalna średnia miesięczna wartość w Legnicy przypada na miesiąc czerwiec.

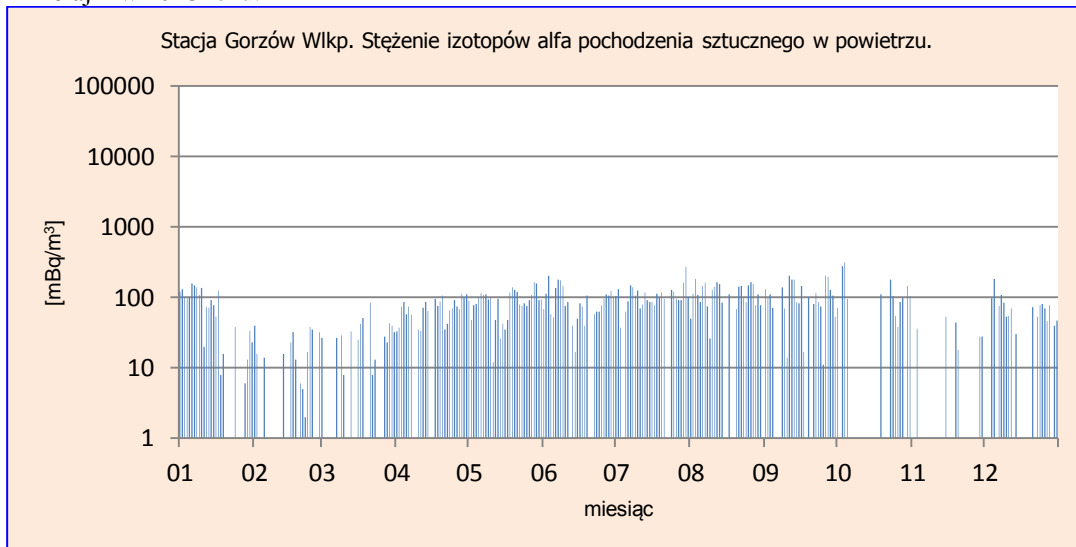
Średnia obliczona dla kolejnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniała się w szerokim zakresie od 0,012 Bq m⁻³ (luty), do 0,070 Bq m⁻³ – wartości wyznaczonej z danych w czerwcu, lipcu i wrześniu. Średnia roczna dobową, czyli średnia ze wszystkich dni, kiedy były uzyskane pomiary obliczona dla wszystkich stacji, utrzymuje się na poziomie 0,044 Bq m⁻³. Biorąc pod uwagę tę wartość i wartość analogiczną wyznaczoną w poprzednim rozdziale dla promieniowania alfa pochodzenia naturalnego, należy stwierdzić, że poziom promieniowania alfa pochodzenia sztucznego jest bardzo niewielki i wynosi zaledwie 0,56 % promieniowania pochodzenia naturalnego.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolu w 2018 roku, Bq m⁻³.

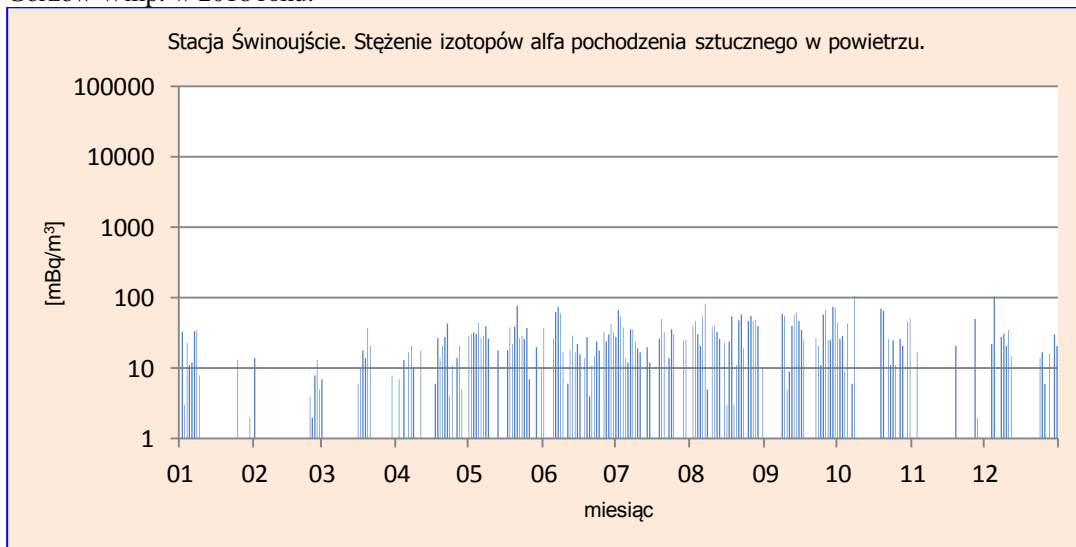
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,014	0,061	0,006	0,040	0,018	0,011	0,002	0,022
Luty	0,006	0,010	0,002	0,028	0,022	0,012	0,001	0,012
Marzec	0,008	0,017	0,004	0,031	0,019	0,017	0,007	0,015
Kwiecień	0,004	0,062	0,009	0,081	0,086	0,079	0,021	0,049
Maj	0,016	0,089	0,021	0,109	0,108	0,076	0,018	0,062
Czerwiec	0,017	0,084	0,022	0,191	0,105	0,053	0,017	0,070
Lipiec	0,005	0,098	0,020	0,176	0,105	0,077	0,012	0,070
Sierpień	0,015	0,097	0,029	0,106	0,119	0,046	0,001	0,059
Wrzesień	0,020	0,090	0,026	0,158	0,123	0,046	0,024	0,070
Październik	0,005	0,054	0,020	0,086	0,064	0,032	0,008	0,038
Listopad	0,000	0,007	0,003	0,090	0,020	0,014	0,000	0,019
Grudzień	0,000	0,043	0,012	0,145	0,016	0,043	0,000	0,037
Minimalna średnia miesięczna	0,000	0,007	0,002	0,028	0,016	0,011	0,000	0,009
Maksymalna średnia miesięczna	0,020	0,098	0,029	0,191	0,123	0,079	0,024	0,081
Średnia roczna na podstawie wartości dobowych dla 2018r.	0,009	0,060	0,015	0,104	0,067	0,042	0,009	0,044



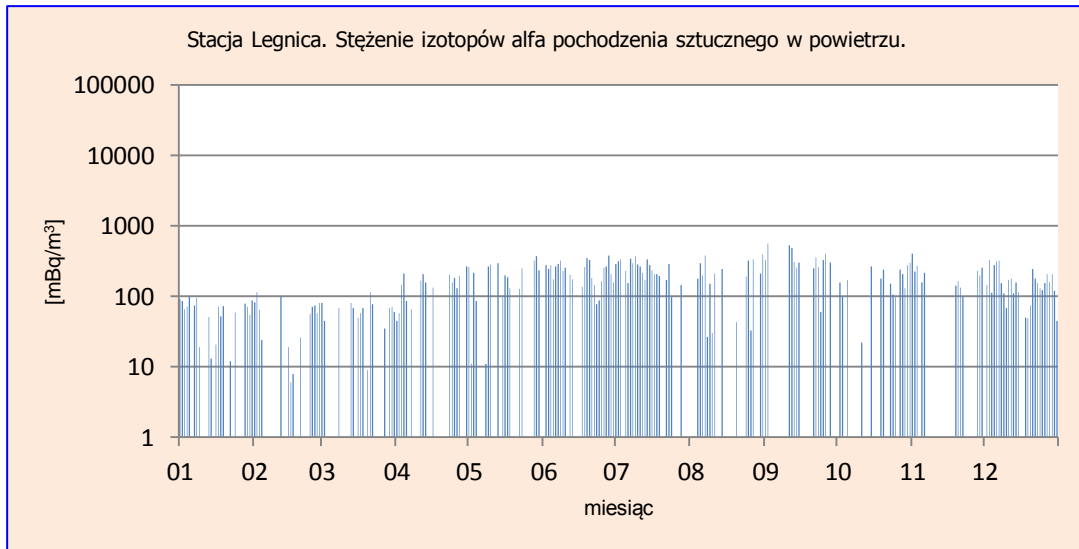
Rys.19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2018 roku.



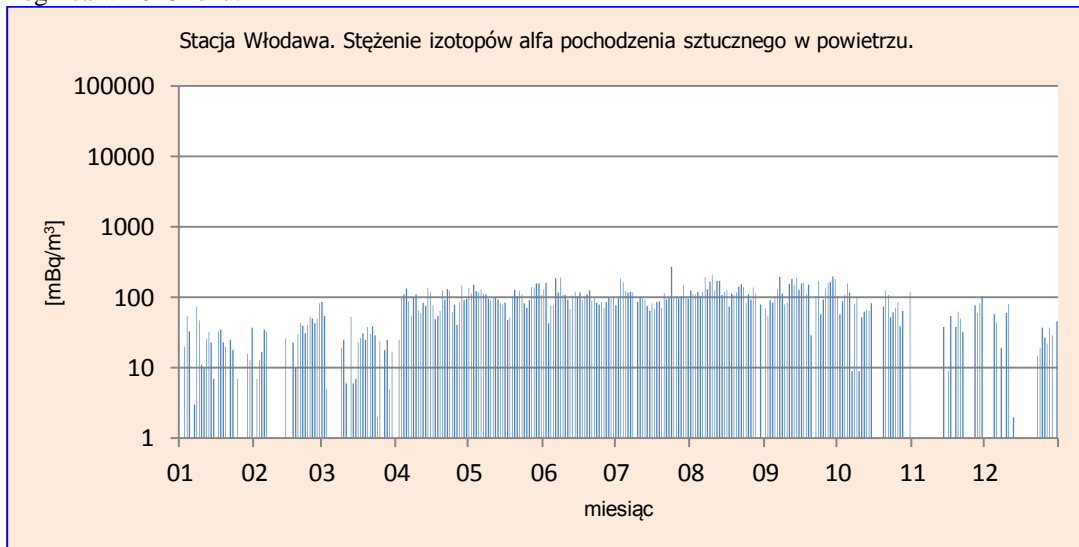
Rys.20. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2018 roku.



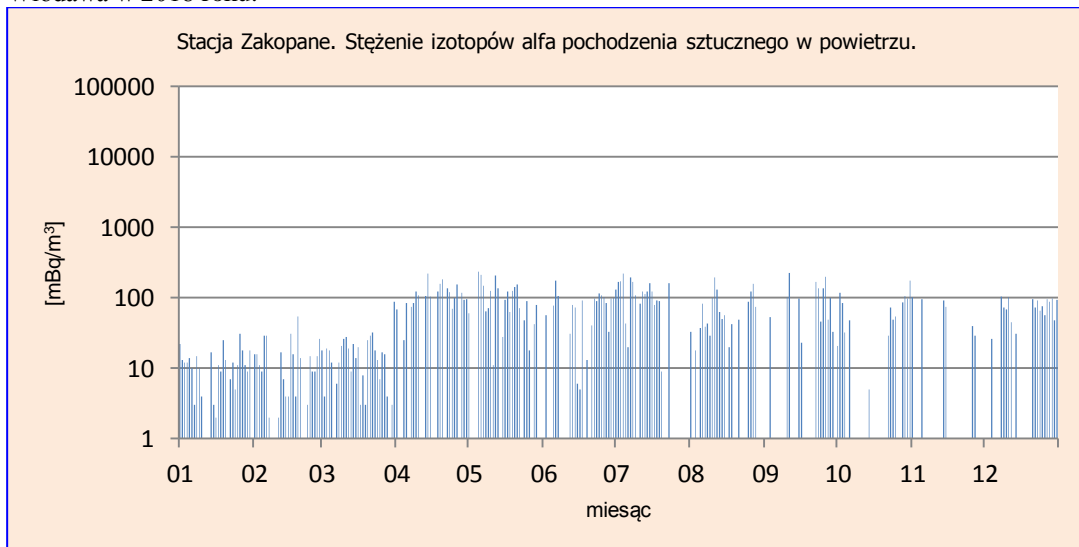
Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w roku 2018.



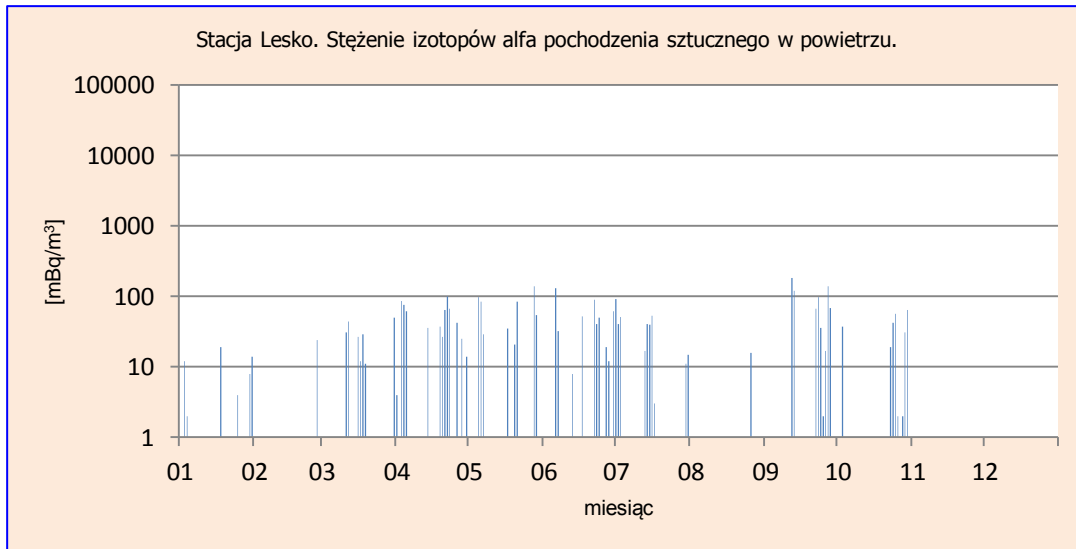
Rys.22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys.24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Zakopane w 2018 roku.



Rys.25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2018 roku wyniosło $0,044 \text{ Bq m}^{-3}$ i było niższe o $0,011 \text{ Bq m}^{-3}$ niż w roku poprzednim. W latach 2000 – 2018 najniższe średnie roczne stężenie $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$ odnotowano w 2001 roku, najwyższe zaś w roku 2015 ($0,074 \text{ Bq m}^{-3}$). Średnie stężenie wyznaczone dla omawianego okresu wynosiło $0,033 \text{ Bq m}^{-3}$ (Tabela 6).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa pochodzenia sztucznego w latach 2000 – 2018, Bq m^{-3}

Rok	Średnie roczne stężenie		
2000	0,023		
2001	0,004		
2002	0,005		
2003	0,015		
2004	0,016		
2005	0,019		
2006	0,029		
2007	0,025		
2008	0,034		
2009	0,040		
2010	0,039		
2011	0,039		
2012	0,029		
2013	0,033		
2014	0,030		
2015	0,074		
2016	0,065	Średnia	0,033
2017	0,055	Maksymalna	0,074
2018	0,044	Minimalna	0,004

3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta

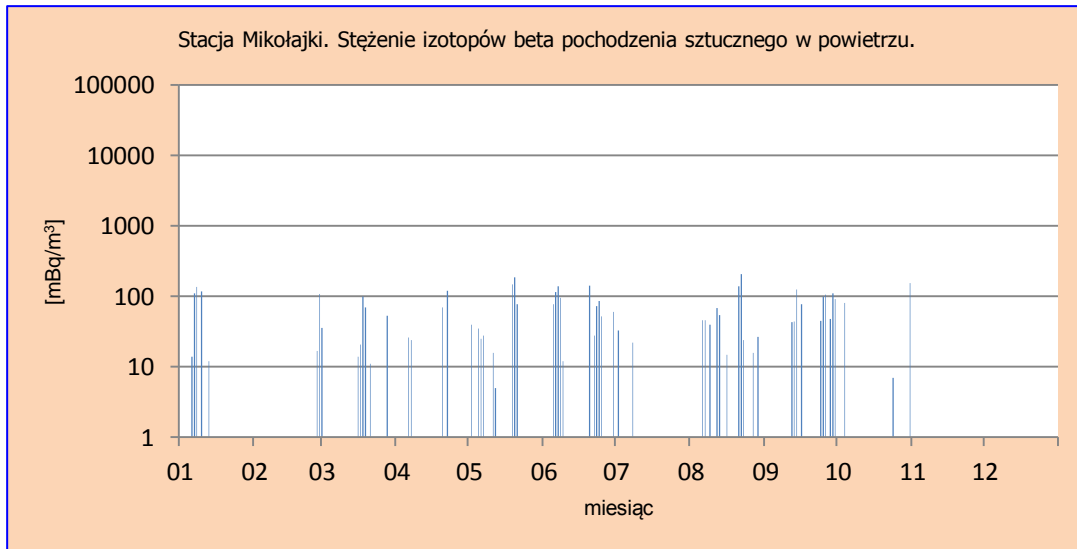
Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

Średnie wartości stężeń izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta mieściły się w zakresie od 0 Bq m⁻³ - średniej miesięcznej zanotowanej w listopadzie i grudniu na stacji Mikołajki do 0,613 Bq m⁻³ charakterystycznej dla Włodawy w sierpniu – (Tabela 7, Rys. 26-32).

Najwyższe średnie wartości roczne obliczone na podstawie średnich uzyskanych dla wszystkich miesięcy zarejestrowano na stacjach: Gorzów Wielkopolski (0,368 Bq m⁻³) i Legnica (0,350 Bq m⁻³). Najniższą wartość zanotowano w Mikołajkach 0,012 Bq m⁻³, która była 19 razy niższa niż średnia dla całej Polski. Średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników otrzymanych na 7 stacjach pomiarowych mieściło się w zakresie od 0,104 Bq m⁻³ (luty) do 0,338 Bq m⁻³ (sierpień). Najwyższe wyniki otrzymano w miesiącach od czerwca do września. Średnia dla tego okresu wyniosła 0,323 Bq m⁻³ i była prawie dwukrotnie wyższa niż średnia dla pozostałych miesięcy – 0,181 Bq m⁻³. Taki układ sugeruje sezonową zależność aktywności beta w aerozolach, wskazując na większe stężenia w miesiącach letnich.

Tabela 7. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach w 2018 roku, Bq m⁻³.

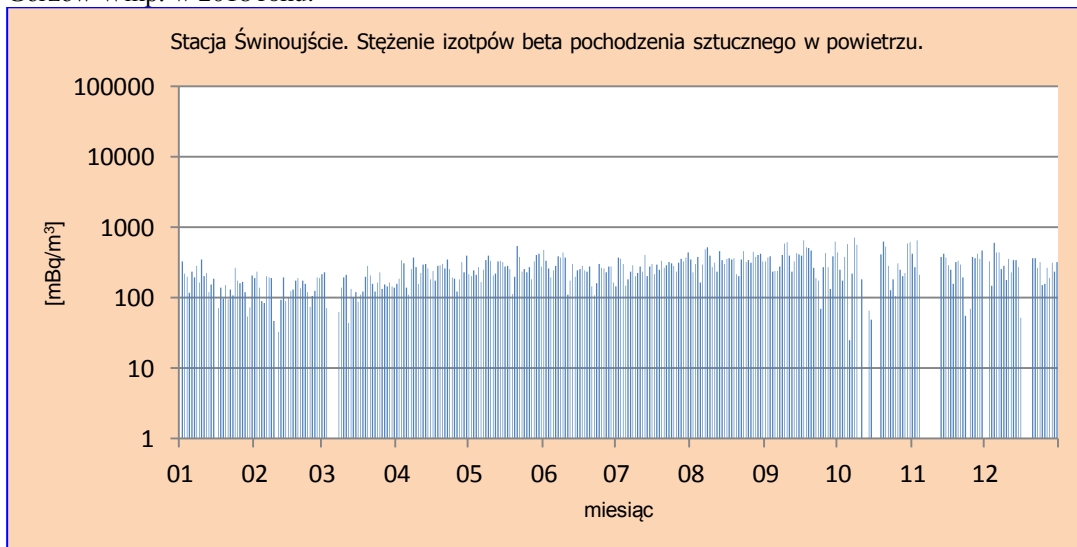
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Swinoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Srednia
Styczeń	0,013	0,321	0,162	0,249	0,134	0,050	0,076	0,143
Luty	0,004	0,184	0,136	0,185	0,119	0,062	0,040	0,104
Marzec	0,010	0,187	0,133	0,200	0,128	0,120	0,067	0,121
Kwiecień	0,008	0,420	0,246	0,342	0,298	0,322	0,226	0,266
Maj	0,018	0,463	0,282	0,356	0,349	0,326	0,250	0,292
Czerwiec	0,029	0,439	0,264	0,544	0,350	0,272	0,187	0,298
Lipiec	0,002	0,491	0,284	0,489	0,462	0,305	0,238	0,324
Sierpień	0,022	0,551	0,347	0,350	0,613	0,314	0,167	0,338
Wrzesień	0,026	0,580	0,364	0,412	0,553	0,210	0,173	0,331
Październik	0,008	0,306	0,263	0,282	0,270	0,149	0,146	0,203
Listopad	0,000	0,135	0,224	0,297	0,097	0,067	0,036	0,122
Grudzień	0,000	0,327	0,234	0,478	0,121	0,151	0,079	0,199
Minimalna średnia miesięczna	0,000	0,135	0,133	0,185	0,097	0,050	0,036	0,091
Maksymalna średnia miesięczna	0,029	0,580	0,364	0,544	0,613	0,326	0,250	0,387
Średnia roczna na podstawie wartości dobowych dla 2018r.	0,012	0,368	0,245	0,350	0,292	0,197	0,141	0,229



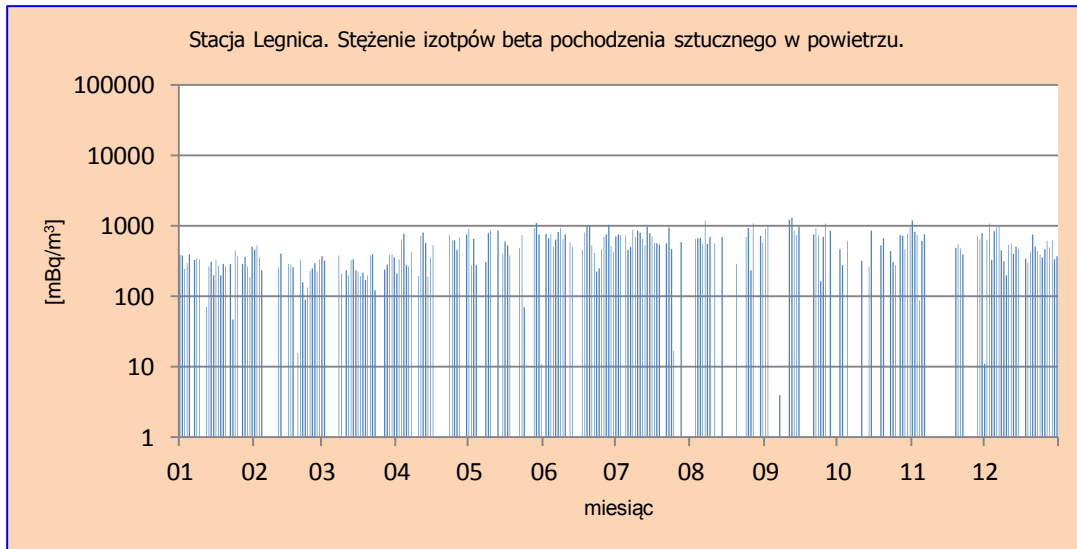
Rys.26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2018 roku.



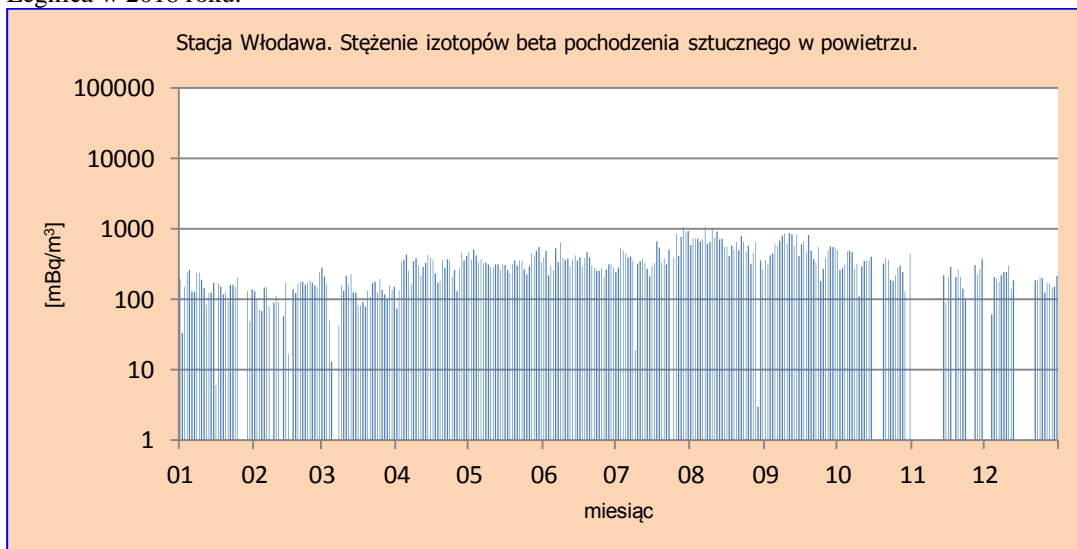
Rys.27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2018 roku.



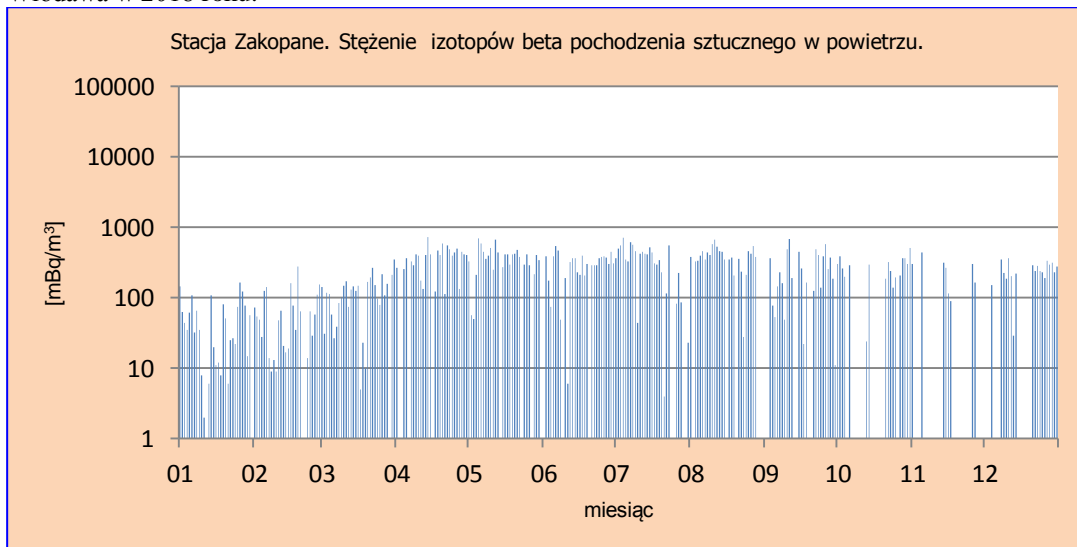
Rys.28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2018 roku.



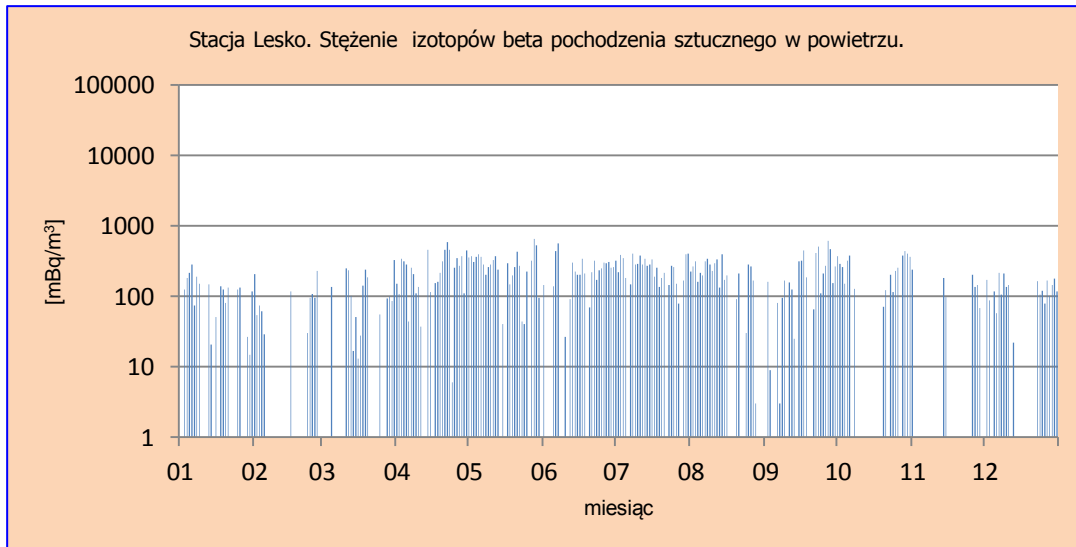
Rys.29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys.30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys.31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Zakopane w 2018 roku.



Rys.32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2018 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło $0,229 \text{ Bq m}^{-3}$ i było porównywalne z wartością z poprzedniego roku - $0,237 \text{ Bq m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2018 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych w okresie badań 2000 - 2018. Wartości te są ponad czternastokrotnie wyższe niż minimalne średnie stężenie przypadające na rok 2001. Niemniej jednak, aktywności te można uznać za niskie, pozostające na poziomie tła i niestanowiące zagrożenia. Średnia aktywność badanego promieniowania w aerozolu w badanym okresie wyniosła $0,102 \text{ Bq m}^{-3}$ (Tabela 8).

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2018, Bq m^{-3}

Rok	Średnie roczne stężenie		
2000	0,034		
2001	0,017		
2002	0,034		
2003	0,040		
2004	0,035		
2005	0,056		
2006	0,060		
2007	0,048		
2008	0,037		
2009	0,058		
2010	0,076		
2011	0,083		
2012	0,160		
2013	0,113		
2014	0,137		
2015	0,241		
2016	0,240	Średnia	0,102
2017	0,237	Maksymalna	0,241
2018	0,229	Minimalna	0,017

3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego

3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego

Całkowitym opadem atmosferycznym (ang. *fallout*) nazywamy całkowity opad mokry i suchy, zawierający cząstki i pyły docierający do powierzchni ziemi z atmosfery, w którym zawieszono są izotopy promieniotwórcze. Globalna aktywność beta opadu całkowitego wynika z obecności izotopów emitujących promieniowanie beta w opadzie atmosferycznym.

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

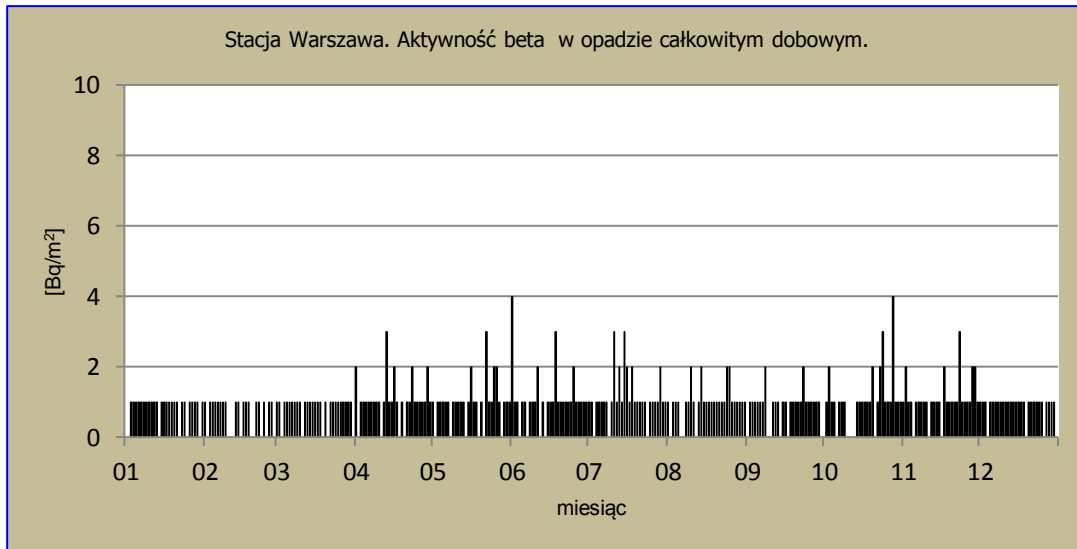
W 2018 roku maksymalne wartości dobowe zmieniały się w szerokim zakresie od 2,0 Bq m⁻² na stacjach Świnoujście do 11,0 Bq m⁻² w Zakopanem (Tabela 9, Rys 33-41). Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera. Średnia suma wyznaczona na podstawie wartości dobowych dla całego roku 2018 wynosiła 326,2 Bq m⁻² (0,33 kBq m⁻²) i była nieznacznie niższa od z sumy wyznaczonej dla roku 2017 (330,6 Bq m⁻²). Miesięczne średnie aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w zakresie 0,3 Bq m⁻² (Gdynia) do 1,3 Bq m⁻² dla Legnicy i Zakopanego. Porównując średnie wartości roczne wyznaczone na podstawie danych dobowych w 2018 roku, najmniejszy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta wystąpił w Gdyni (0,3 Bq m⁻²) i Świnoujściu (0,4 Bq m⁻²) co mogło mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej. Największy dopływ izotopów promieniotwórczych beta odnotowano w Zakopanem i Legnicy (1,2 Bq m⁻²), Mikołajkach 1,1 Bq m⁻² oraz w Warszawie, Włodawie i Lesku (1,0 Bq m⁻²). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów dla wszystkich stacji w 2018 roku (0,9 Bq m⁻²) było równe wartościom odnotowanym w latach 2016 i 2017.

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2018 roku, Bq m⁻².

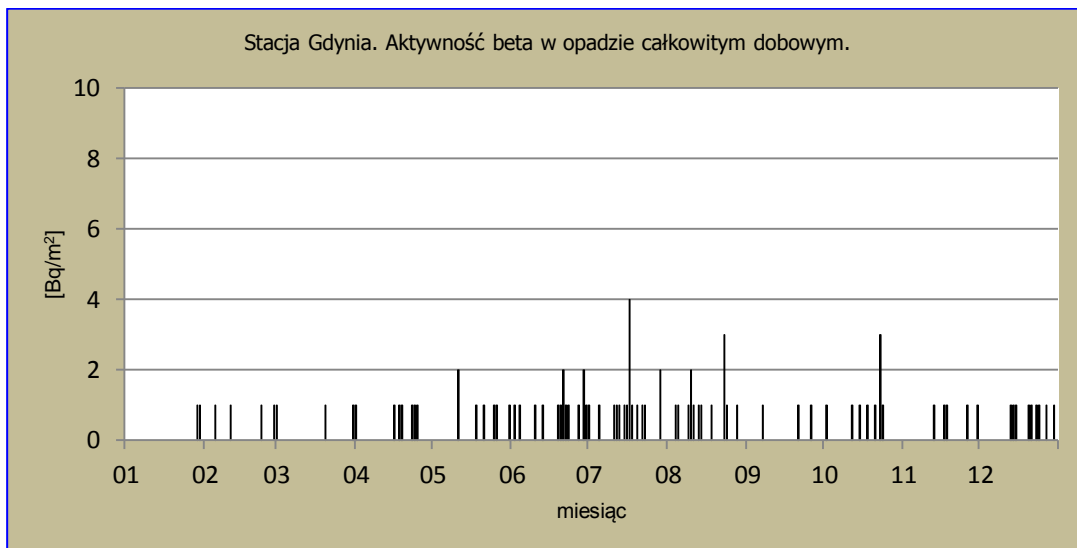
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,8	0,1	1,0	0,6	0,5	1,5	0,8	1,2	0,9	0,8
Luty	0,6	0,1	1,0	0,6	0,4	1,1	0,8	1,2	0,9	0,7
Marzec	0,8	0,1	1,0	0,7	0,4	1,0	1,0	1,4	0,8	0,8
Kwiecień	1,1	0,2	1,0	0,8	0,5	1,3	1,2	1,2	0,9	0,9
Maj	1,0	0,2	1,3	1,1	0,5	1,5	1,3	1,4	1,0	1,0
Czerwiec	1,1	0,5	1,0	1,0	0,4	2,1	1,1	1,5	1,1	1,1
Lipiec	1,2	0,5	1,4	0,7	0,5	1,5	1,4	1,8	1,2	1,1
Sierpień	1,0	0,5	1,4	0,7	0,4	1,2	1,2	1,5	0,9	1,0
Wrzesień	0,9	0,1	1,2	0,7	0,4	1,3	1,1	1,6	1,2	0,9
Październik	1,0	0,3	1,0	0,5	0,5	1,5	1,0	1,4	0,9	0,9
Listopad	1,1	0,2	1,1	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7
Grudzień	0,9	0,3	0,9	0,5	0,4	0,8	0,8	0,9	1,0	0,7
Maksymalna średnia miesięczna	1,2	0,5	1,4	1,1	0,5	2,1	1,4	1,8	1,2	1,2
Minimalna średnia miesięczna	0,6	0,1	0,9	0,5	0,4	0,7	0,8	0,9	0,8	0,6
Maksymalna wartość dobową	4	4	5	4	2	5	5	11	5	5,0
Minimalna wartość dobową	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Średnia wartość roczna	1,0	0,3	1,1	0,7	0,4	1,3	1,0	1,3	1,0	0,9

Tabela 9a. Roczna wartość stężenia izotopów beta uzyskana jako suma wszystkich wartości dobowych opadu całkowitego w roku 2018, Bq m⁻².

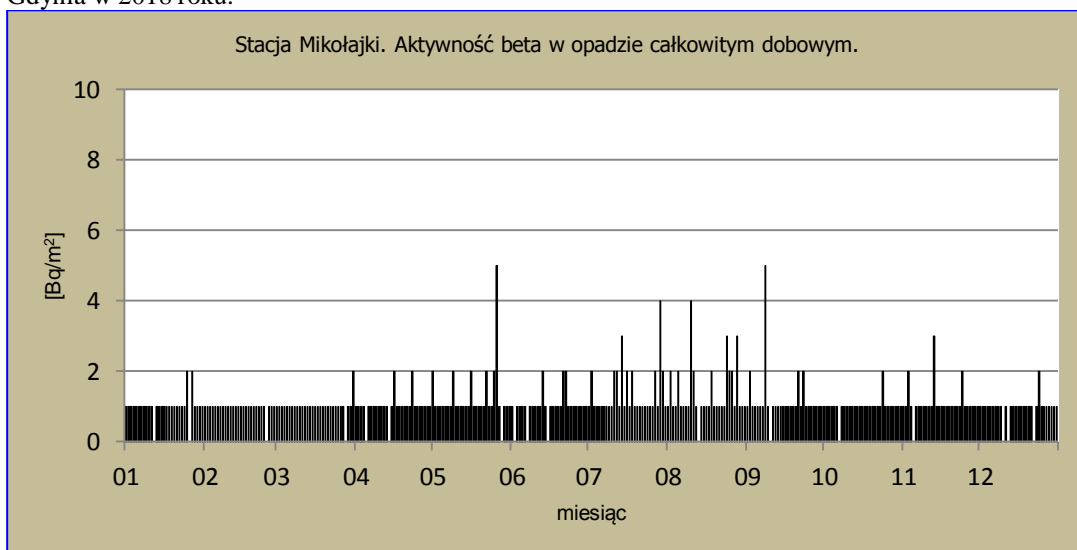
Parametr/Stacja	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia suma roczna
Suma roczna	349	94	403	258	163	467	375	476	351	326,2



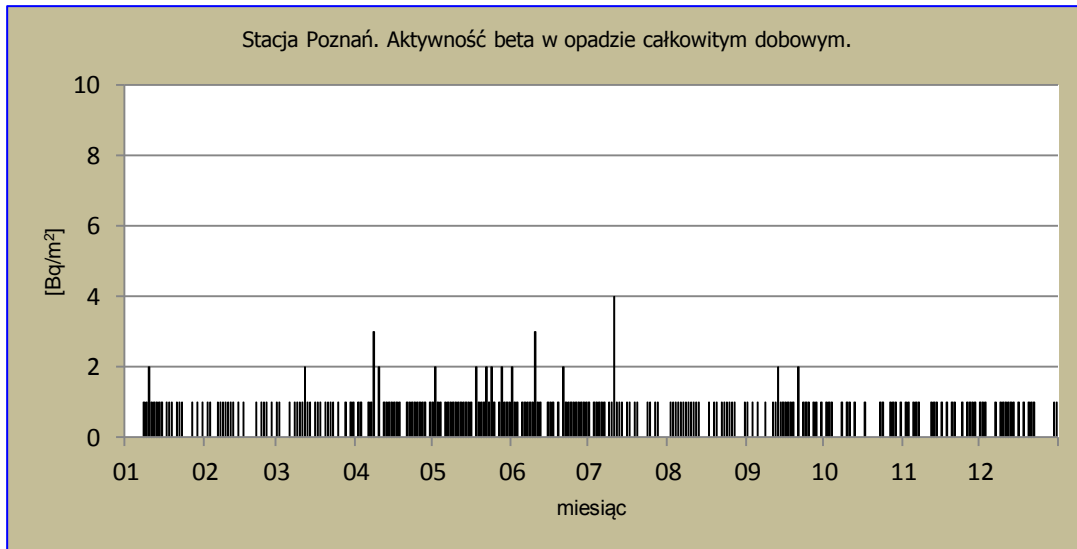
Rys.33. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Warszawa w 2018 roku.



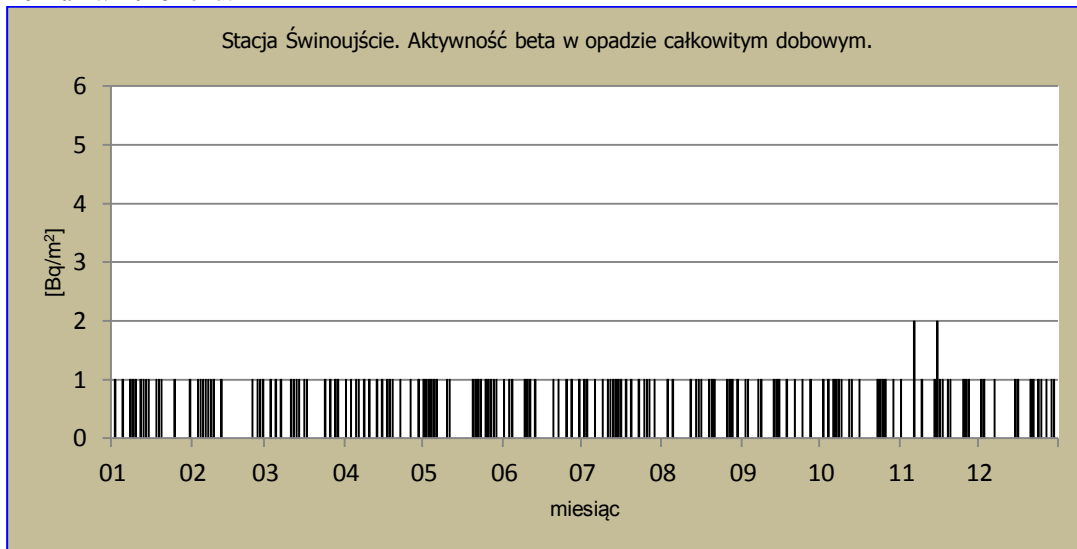
Rys.34. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Gdynia w 2018 roku.



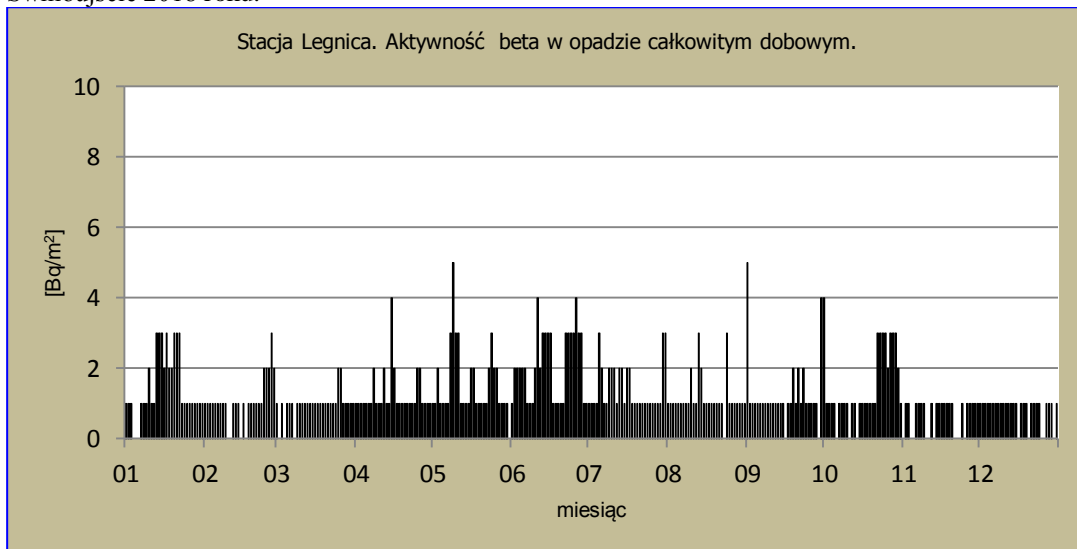
Rys.35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Mikołajki w 2018 roku.



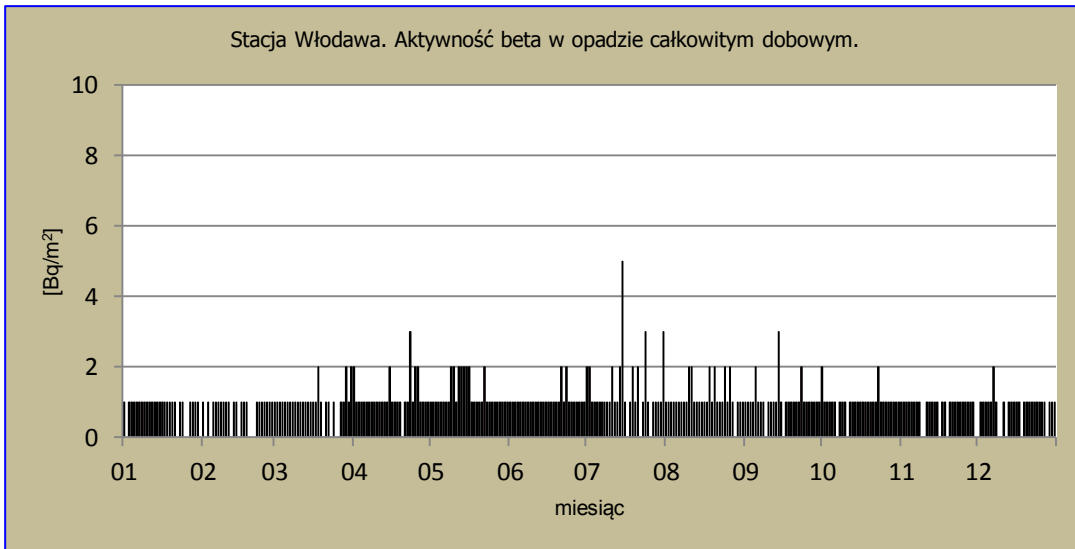
Rys.36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Poznań w 2018 roku.



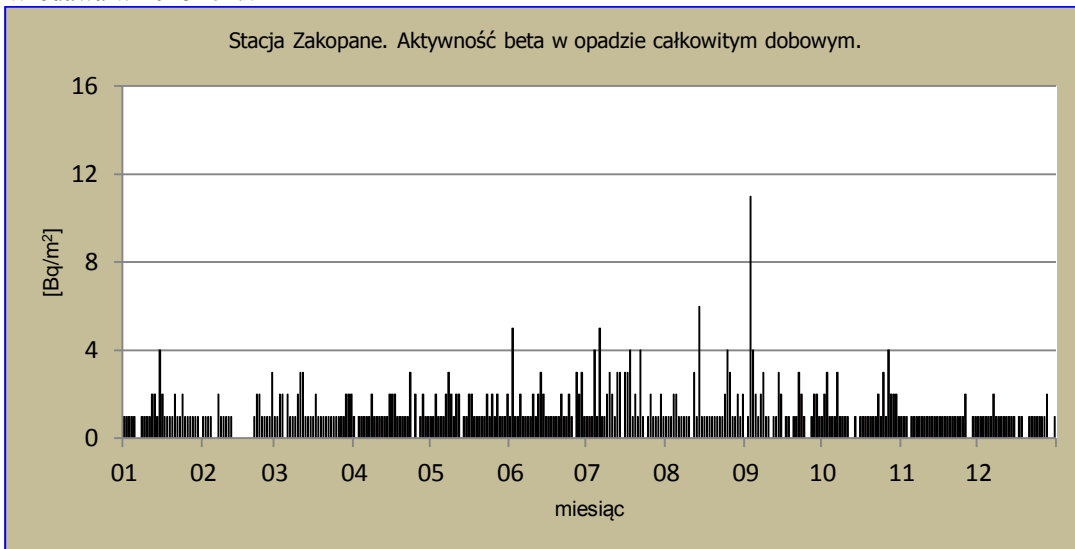
Rys.37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Świnoujście 2018 roku.



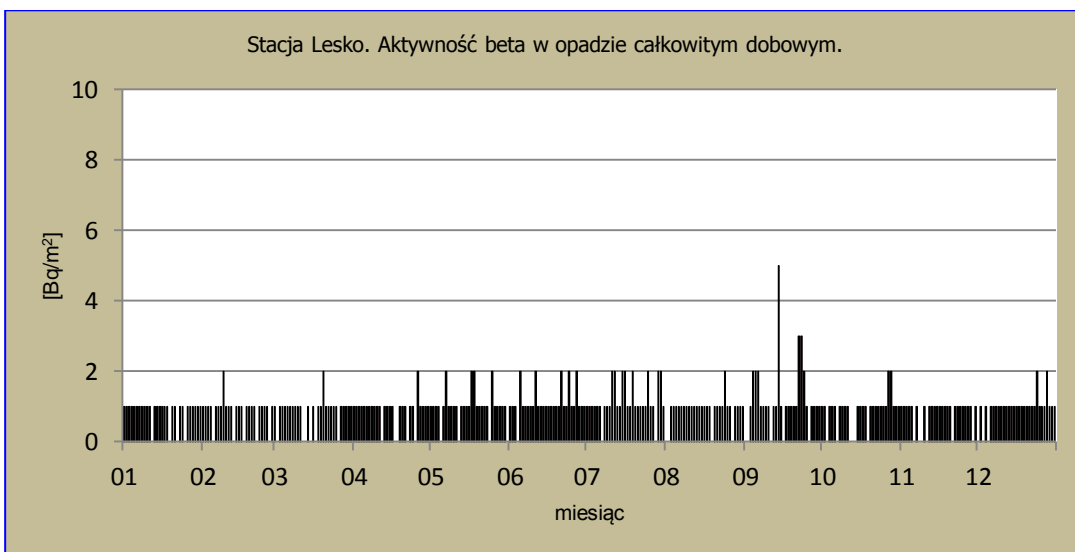
Rys.38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys.39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys.40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Zakopane w 2018 roku.



Rys.41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W przeciągu 18 lat sumaryczna aktywność beta w opadzie atmosferycznym zmieniała się w stosunkowo wąskim zakresie od 0,30 do 0,34 kBq m⁻² rok⁻¹. Aktywność beta w całkowitym opadzie dobowym dla całego obszaru Polski, obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2018 roku (0,33 kBq m⁻² rok⁻¹), była równa wartości z ubiegłego roku, oraz taka sama jak w latach 2000 i 2009 – 2011. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2018 utrzymuje się na poziomie 0,32 kBq m⁻² rok⁻¹ (Tabela 10).

Tabela 10. Średnia sumaryczna aktywność beta całkowitego opadu dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2018, kBq m⁻²rok⁻¹

Rok	Sumaryczna aktywność beta
2000	0,33
2001	0,34
2002	0,34
2003	0,32
2004	0,34
2005	0,32
2006	0,31
2007	0,31
2008	0,30
2009	0,33
2010	0,33
2011	0,33
2012	0,32
2013	0,31
2014	0,32
2015	0,31
2016	0,31
2017	0,33
2018	0,33
Średnia	0,32
Maksymalna	0,34
Minimalna	0,30

3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej

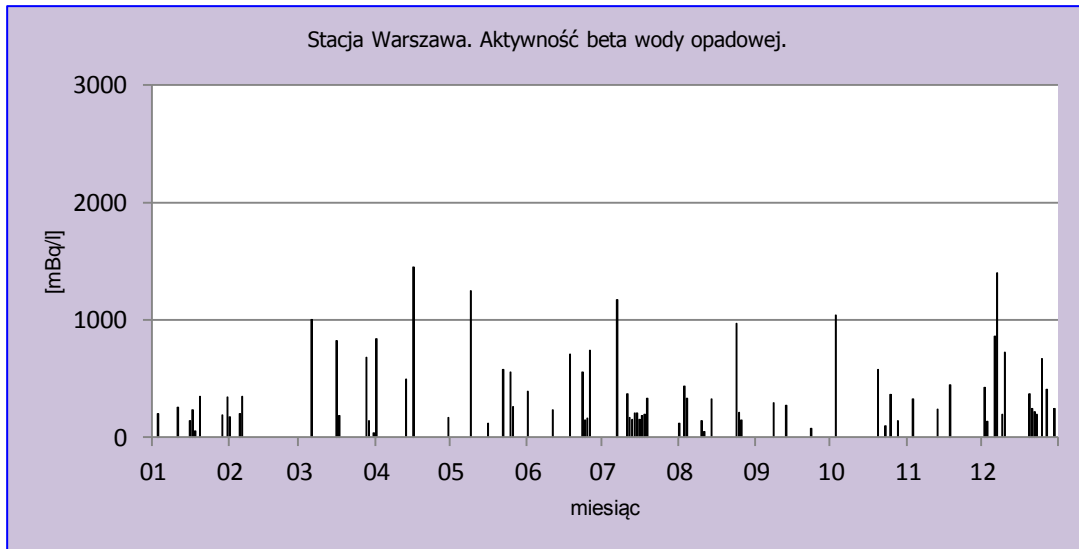
Globalną aktywność beta wody opadowej określa się jako aktywność izotopów emitujących promieniowanie beta w całkowitym opadzie dobowym odniesioną do objętości wody opadowej. Globalna aktywność beta wody opadowej obliczana jest na podstawie aktywności beta dobowych próbek opadu całkowitego tylko wtedy,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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

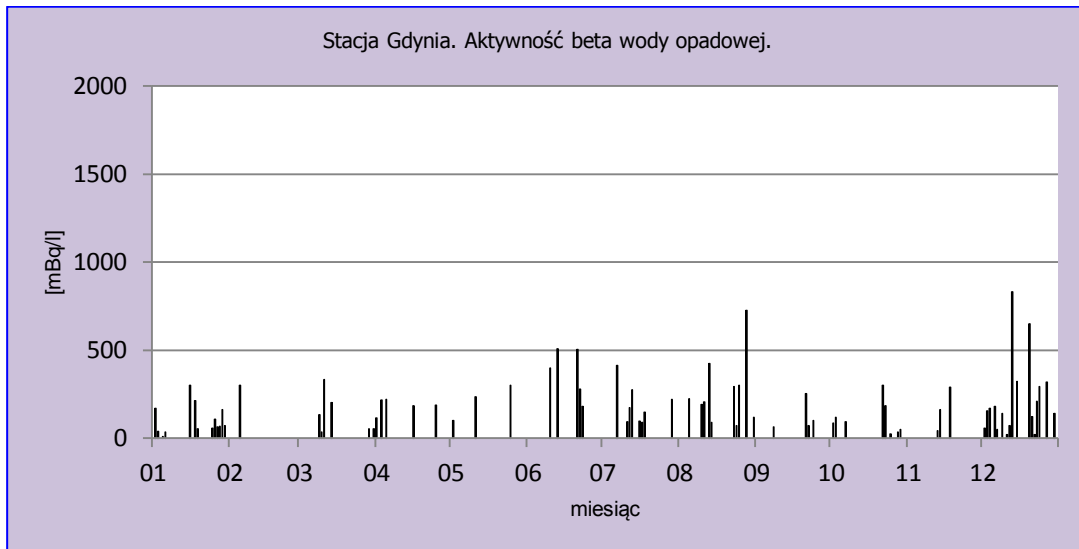
W 2018 roku maksymalna wartość dobowej aktywności beta wody opadowej wahała się w przedziale od 831 mBq l⁻¹ (Gdynia) do 1886 mBq l⁻¹ (Zakopane) (Tabela 11, Rys. 42-50). Minimalne dobowe wartości zmieniały się w zakresie od 2 mBq l⁻¹ w Świnoujściu do 93 mBq l⁻¹ w Legnicy. Średnia roczna aktywność beta wody opadowej wahała się od 171,9 mBq l⁻¹ w Świnoujściu do 461,3 mBq l⁻¹ w Legnicy. Średnia miesięczna aktywność wody opadowej ze wszystkich stacji była najwyższa w kwietniu 471 mBq l⁻¹ a najniższa we wrześniu – 282 mBq l⁻¹.

Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2018 roku, mBq l⁻¹.

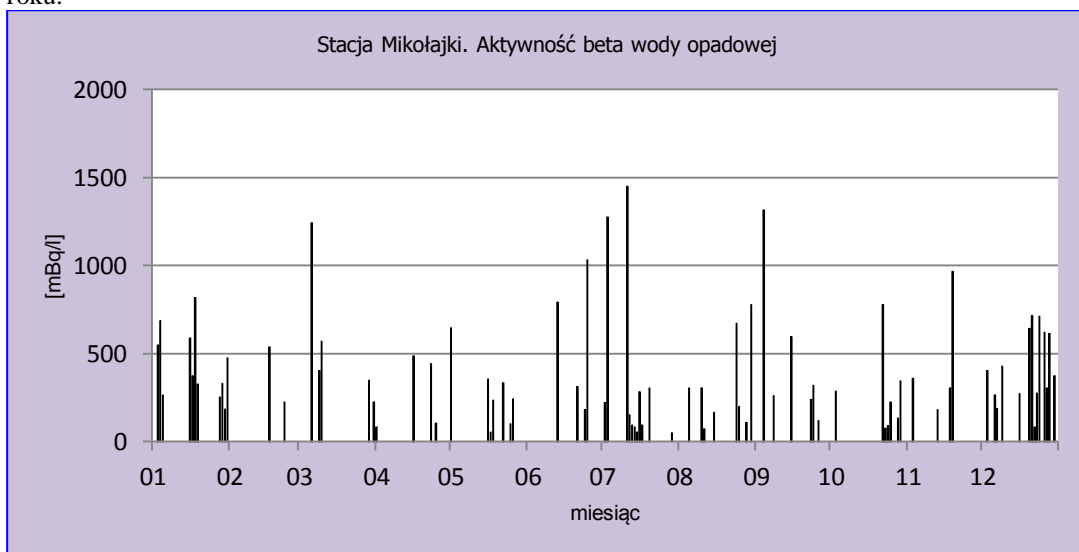
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Srednia
Styczeń	221,6	105,1	441,4	187,8	121,3	565,0	424,9	437,2	397,0	322
Luty	242,7	303,0	382,0	409,0	348,4	brak	418,0	524,1	269,7	362
Marzec	479,0	136,7	558,0	257,8	189,9	285,7	299,5	563,7	255,1	336
Kwiecień	737,8	185,8	279,8	504,3	216,3	729,7	494,0	748,4	339,8	471
Maj	551,6	214,0	282,0	649,2	159,3	517,8	304,3	284,9	351,2	368
Czerwiec	419,7	375,4	579,8	309,0	107,5	595,1	586,4	292,3	274,1	393
Lipiec	314,6	190,0	369,6	234,7	103,2	376,9	300,8	338,9	433,2	296
Sierpień	303,9	266,3	326,3	533,8	132,5	652,5	255,7	398,5	286,2	351
Wrzesień	213,0	122,8	475,3	190,0	105,6	213,0	447,3	439,8	328,9	282
Październik	445,0	113,1	276,3	411,7	171,7	389,0	559,7	412,7	158,6	326
Listopad	338,3	165,3	452,8	247,5	87,8	346,7	359,3	414,2	272,9	298
Grudzień	468,8	221,7	422,2	181,7	211,9	297,9	231,9	288,8	394,4	302
Maksymalna średnia miesięczna	737,8	375,4	579,8	649,2	348,4	729,7	586,4	748,4	433,2	557
Minimalna średnia miesięczna	213,0	105,1	276,3	181,7	87,8	213,0	231,9	284,9	158,6	192
Maksymalna wartość dobową	1451	831	1450	1029	850	1735	1230	1886	1355	1313
Minimalna wartość dobową	37	12	50	45	2	93	29	12	54	37
Średnia roczna	393,1	190,1	397,7	311,7	171,9	461,3	360,6	402,8	328,5	335



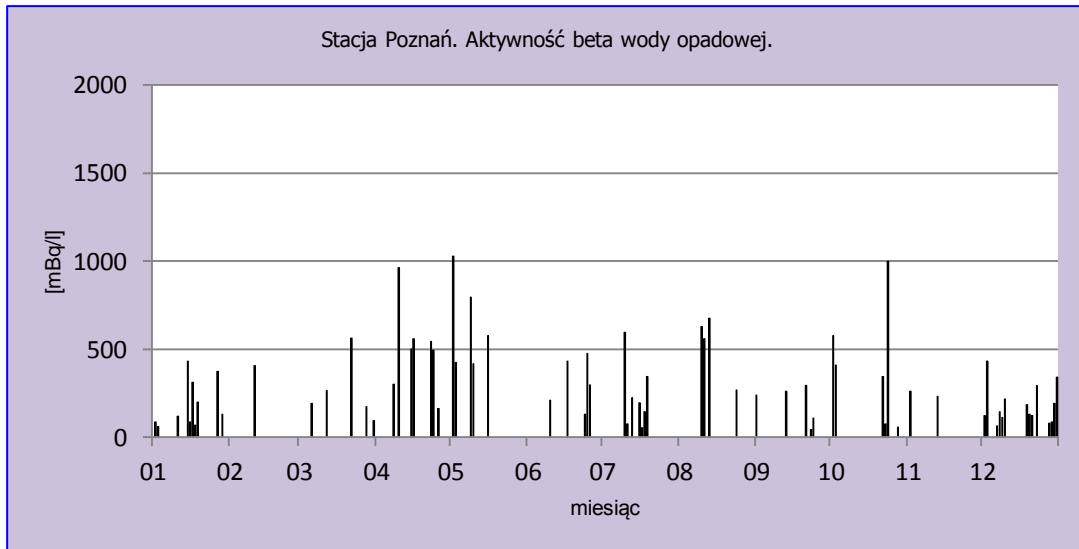
Rys.42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2018 roku.



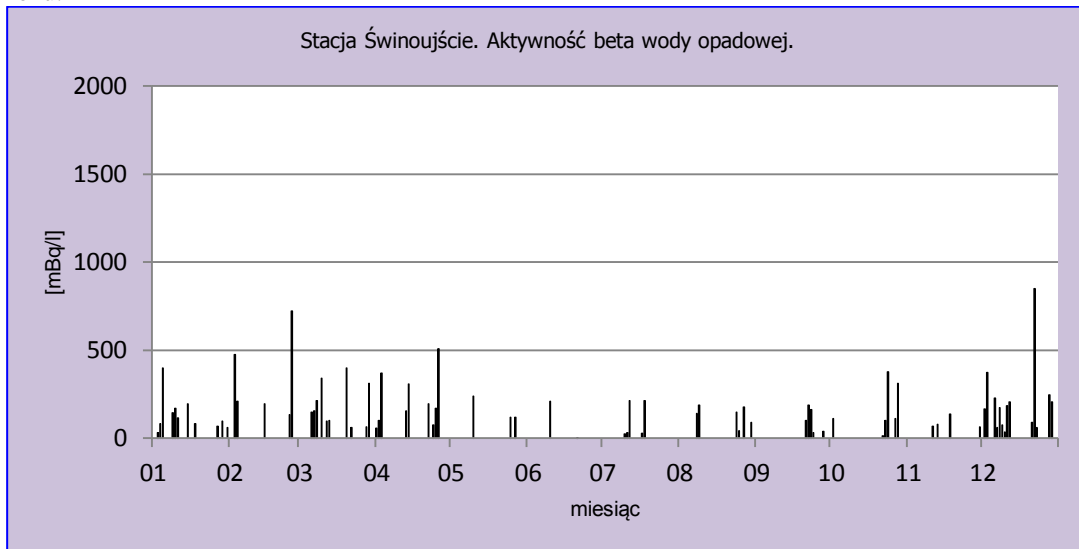
Rys.43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2018 roku.



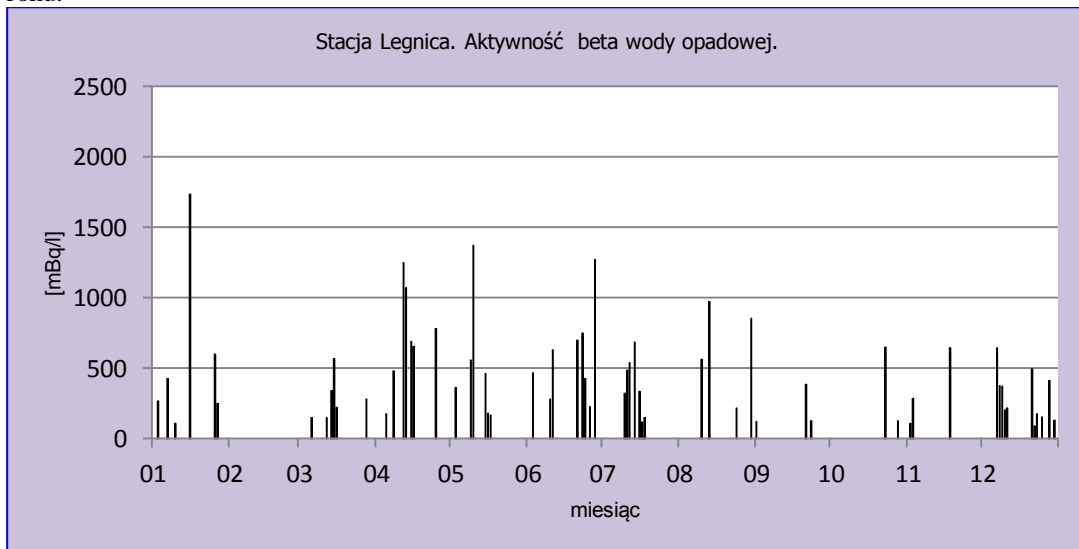
Rys.44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2018 roku.



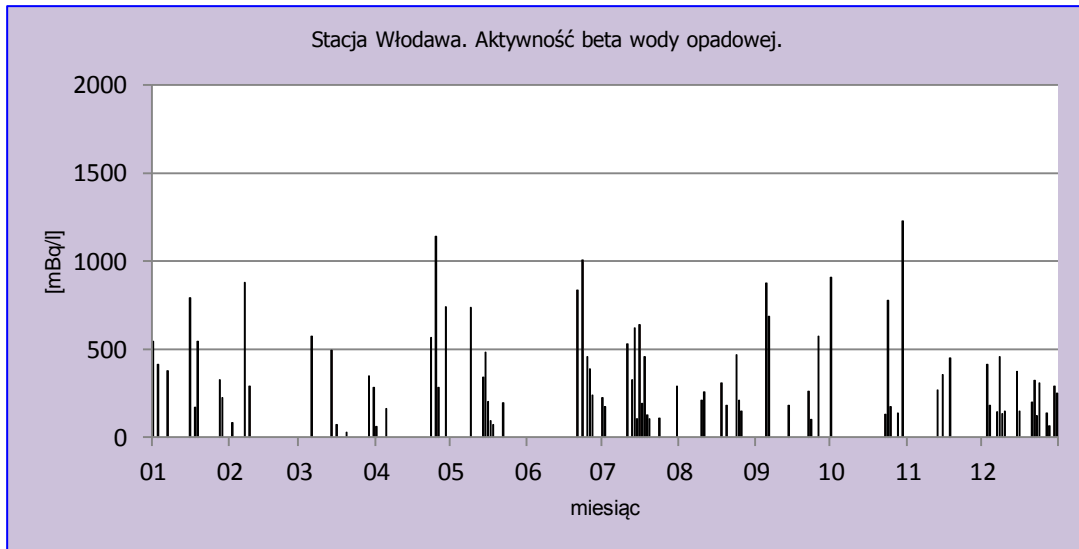
Rys.45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2018 roku.



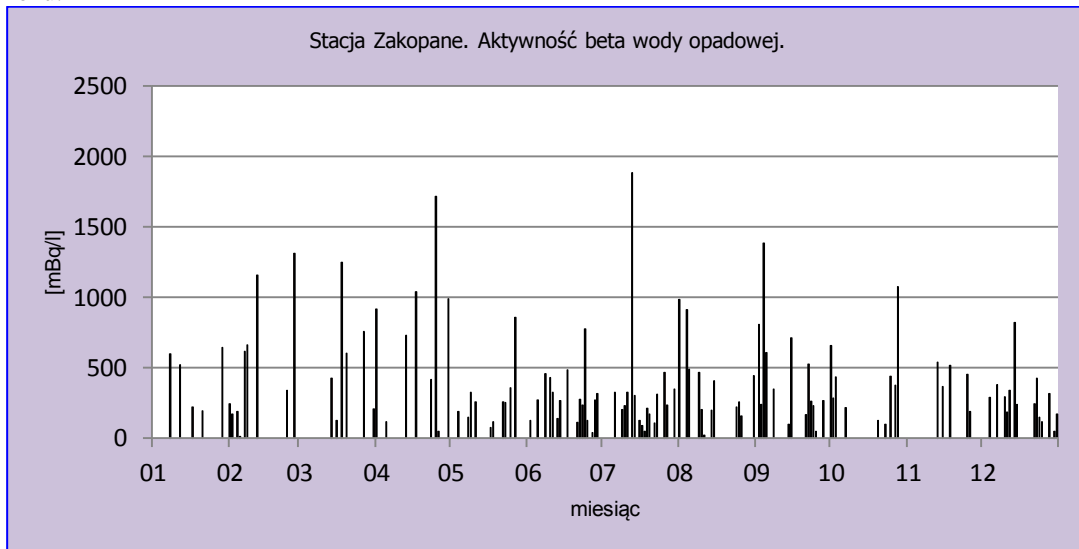
Rys.46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2018 roku.



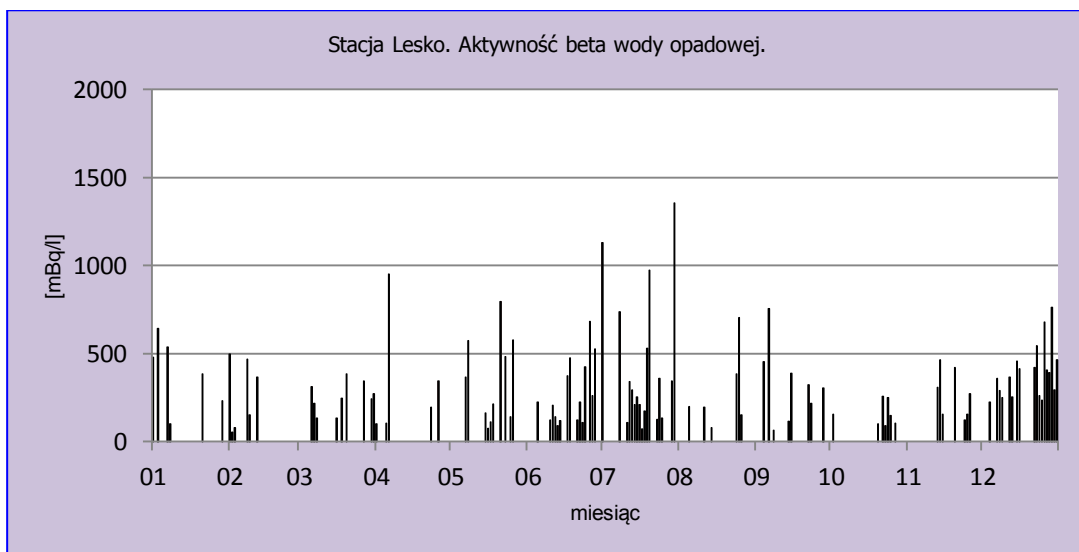
Rys.47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys.48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys.49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2018 roku.



Rys.50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej w 2018 roku wyniosła 335 mBq l⁻¹ (Tabela 12). Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie od 2000 do 2018, przypada na rok 2003 i wynosi 376 mBq l⁻¹, minimalna wartość charakteryzuje próbki z 2014 – 311 mBq l⁻¹. Średnia aktywność beta wody opadowej w omawianym okresie wynosi 343 mBq l⁻¹.

Tabela 12. Średnie aktywności beta wody opadowej w latach 2000 – 2018, mBq l⁻¹.

Rok	Aktywność beta (mBq/l)
2000	352
2001	371
2002	348
2003	376
2004	374
2005	358
2006	346
2007	333
2008	338
2009	345
2010	328
2011	352
2012	342
2013	315
2014	311
2015	350
2016	324
2017	316
2018	335
Średnia	343
Minimalna	311
Maksymalna	376

3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego

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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

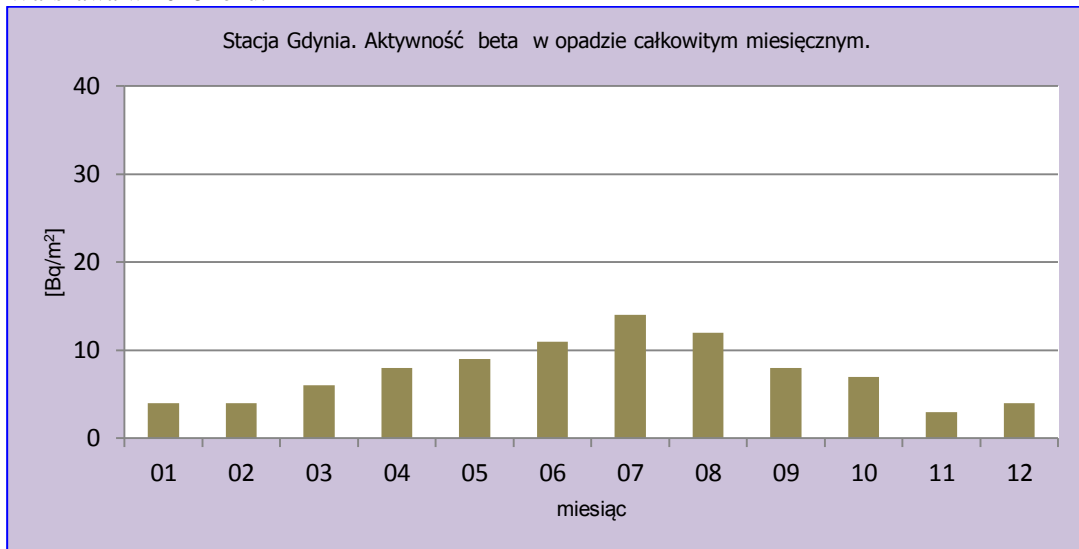
W 2018 roku aktywności promieniowania beta w miesięcznym opadzie atmosferycznym oscylowały w szerokim zakresie od 2 Bq m⁻² do 25 Bq m⁻² (Tabela 13). Maksymalną wartość w skali roku zarejestrowano w maju na stacji w Poznaniu (25 Bq m⁻²), oraz w lipcu w Zakopanem (22 Bq m⁻²). Minimalną wartość na poziomie 2 Bq m⁻² odnotowano na stacjach: Mikołajki, Świnoujście oraz Lesko. Podobnie jak w roku poprzednim najniższe aktywności beta notowane były w okresie zimowym (styczeń, luty), a najwyższe w okresie letnim (maj – lipiec). Średnia roczna aktywność promieniowania beta w Polsce w próbkach opadu całkowitego wynosiła 8,4 Bq m⁻² i była tylko o 0,3 Bq m⁻² niższa niż w roku ubiegłym (8,7 Bq m⁻²). Najniższe średnie roczne aktywności beta obliczone na podstawie danych dla zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w 2018 roku zarejestrowano na stacjach: Świnoujście (4,1 Bq m⁻²) oraz Mikołajki (5,1 Bq m⁻²) i były one odpowiednio o 51% i 39% niższe od średniej dla obszaru całej Polski (Rys. 51-59). Niskie wartości notowane w Świnoujściu, podobnie jak w przypadku poprzednich parametrów, spowodowane są bliskością morza i związanymi z tym warunkami meteorologicznymi np. cyrkulacją powietrza. Na pozostałych stacjach średnia aktywność promieniowania beta zmieniała się w zakresie od 7,5 Bq m⁻² w Gdyni do 12,2 Bq m⁻² na stacji Poznań.

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2018, w Bq m⁻².

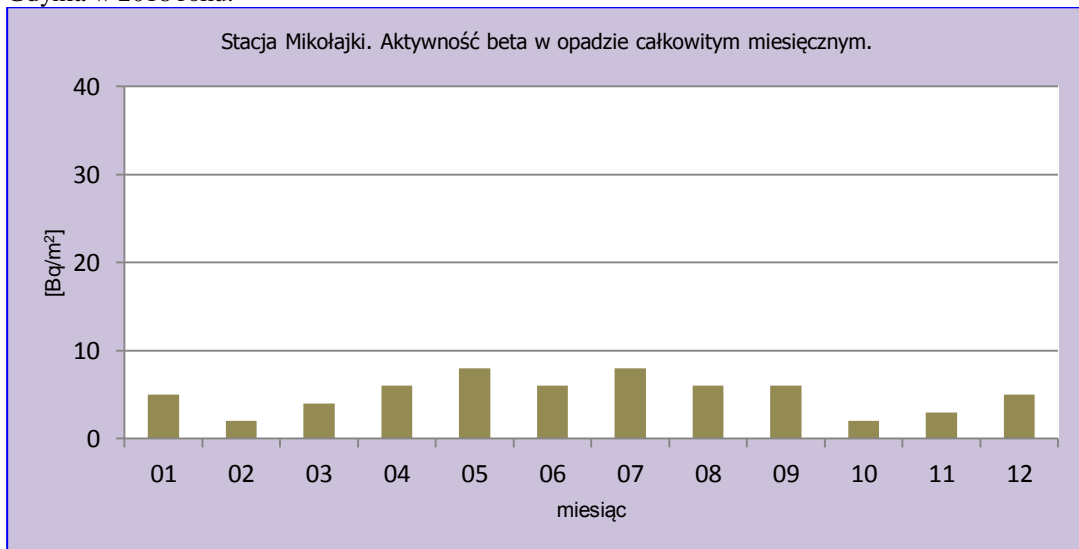
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	8	4	5	12	2	6	4	5	5
Luty	4	4	2	4	2	3	5	10	10
Marzec	8	6	4	6	5	5	7	7	6
Kwiecień	14	8	6	13	2	13	15	10	12
Maj	11	9	8	25	6	11	14	12	16
Czerwiec	10	11	6	16	4	11	15	21	12
Lipiec	12	14	8	15	6	12	14	22	10
Sierpień	8	12	6	10	4	11	9	17	6
Wrzesień	8	8	6	10	5	10	8	16	12
Październik	12	7	2	16	8	9	6	11	7
Listopad	5	3	3	13	3	4	4	6	2
Grudzień	7	4	5	6	2	5	6	8	4
Średnia	8,9	7,5	5,1	12,2	4,1	8,3	8,9	12,1	8,5
Maksymalna	14,0	14,0	8,0	25,0	8,0	13,0	15,0	22,0	16,0
Minimalna	4,0	3,0	2,0	4,0	2,0	3,0	4,0	5,0	2,0
Średnia roczna	8,4								
Maks. miesięczna	25,0								
Min. miesięczna	2,0								



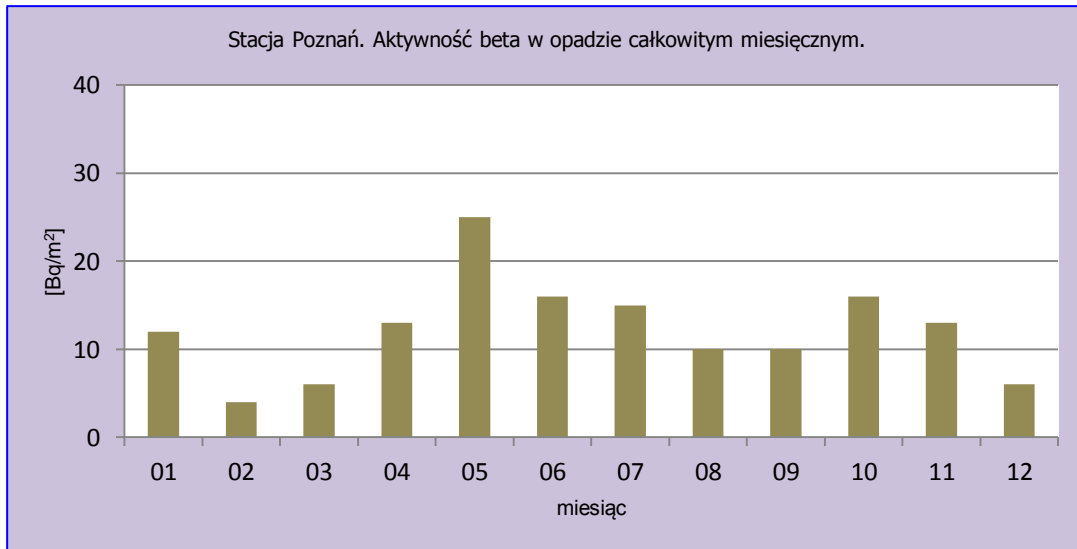
Rys.51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2018 roku.



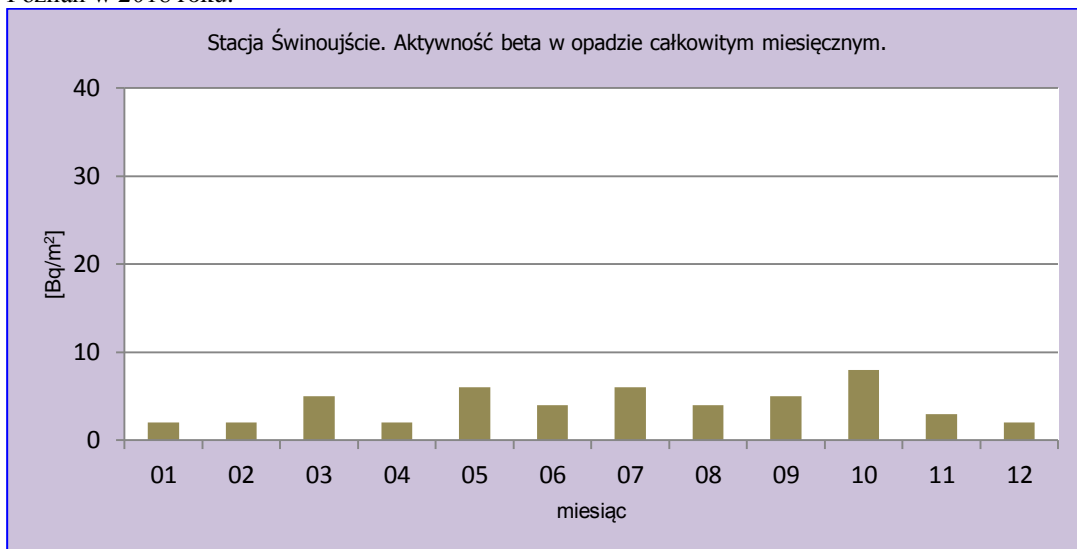
Rys.52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2018 roku.



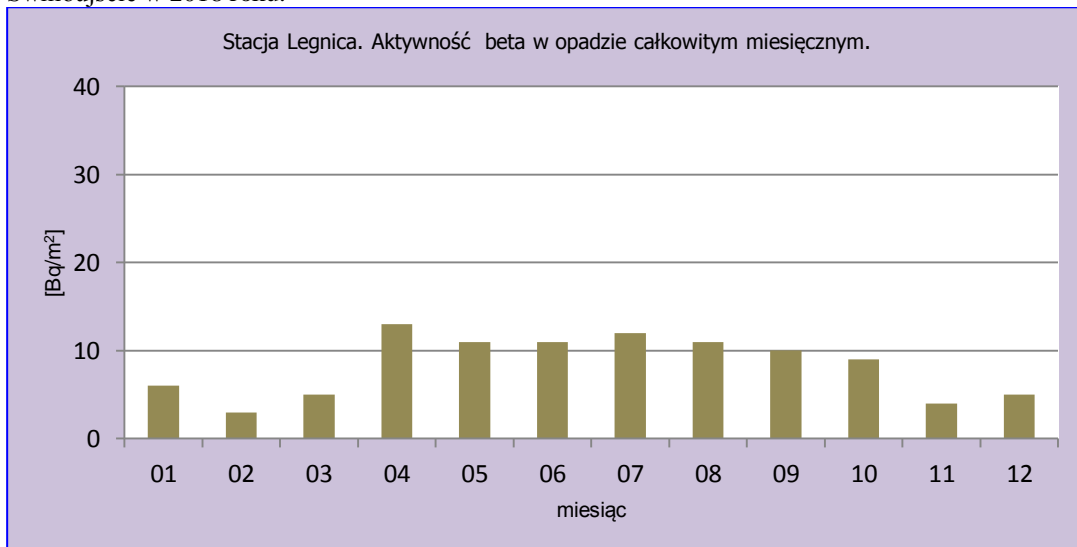
Rys.53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2018 roku.



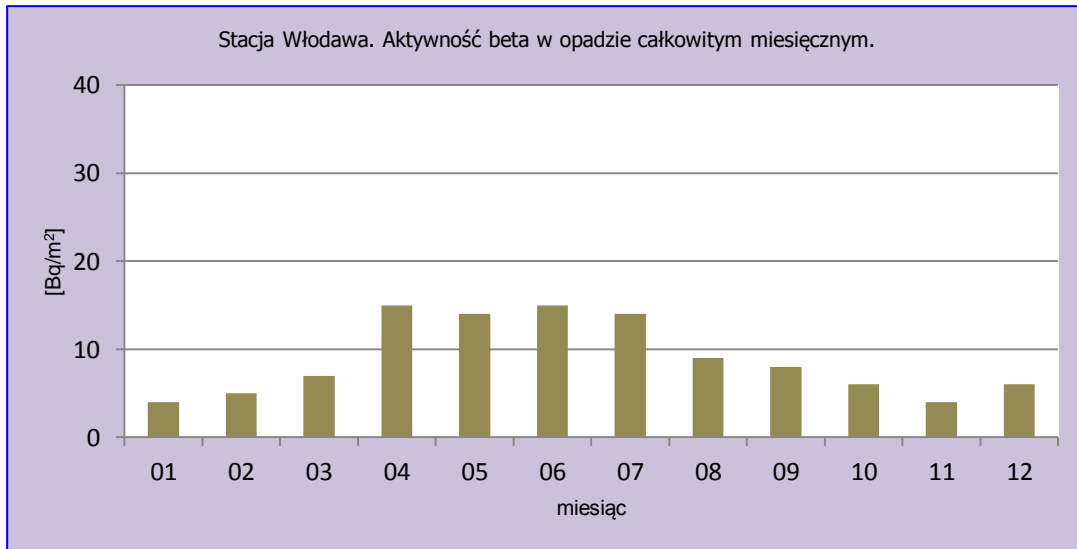
Rys.54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2018 roku.



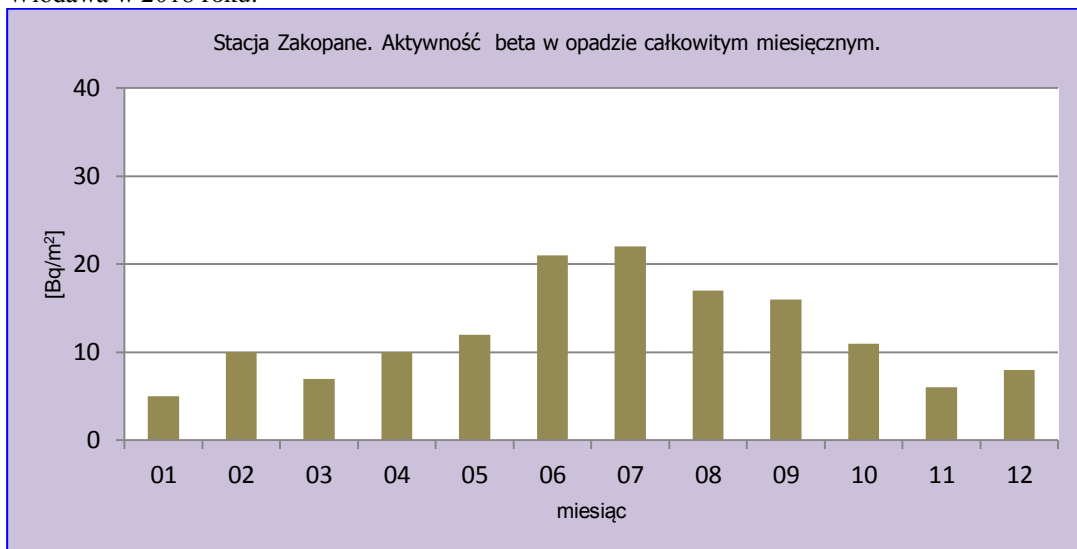
Rys.55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2018 roku.



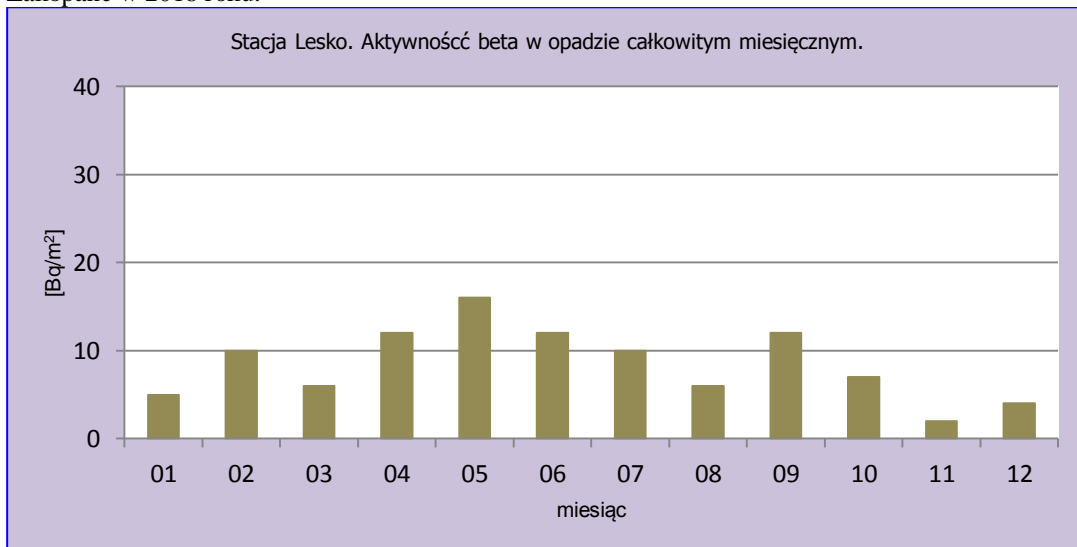
Rys.56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2018 roku.



Rys.57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2018 roku.



Rys.58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2018 roku.



Rys.59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2018 roku średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym opadzie miesięcznym wynosiła $8,4 \text{ Bq m}^{-2}$ i była niższa niż w roku ubiegłym – $8,7 \text{ Bq m}^{-2}$. W omawianym okresie średnia aktywność promieniowania beta wahała się w przedziale od 6 Bq m^{-2} (2005) do $8,7 \text{ Bq m}^{-2}$ (2017), a średnia aktywność całkowitego opadu atmosferycznego w latach 2000 - 2018 wynosi $7,2 \text{ Bq m}^{-2}$ (Tabela 14).

Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2018, Bq m^{-2} .

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
2000	6,1
2001	7,1
2002	6,7
2003	6,6
2004	6,4
2005	6,0
2006	6,2
2007	6,5
2008	6,4
2009	7,8
2010	8,2
2011	8,0
2012	7,3
2013	7,3
2014	8,0
2015	7,5
2016	7,8
2017	8,7
2018	8,4
Średnia	7,2
Minimalna	6,0
Maksymalna	8,7

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

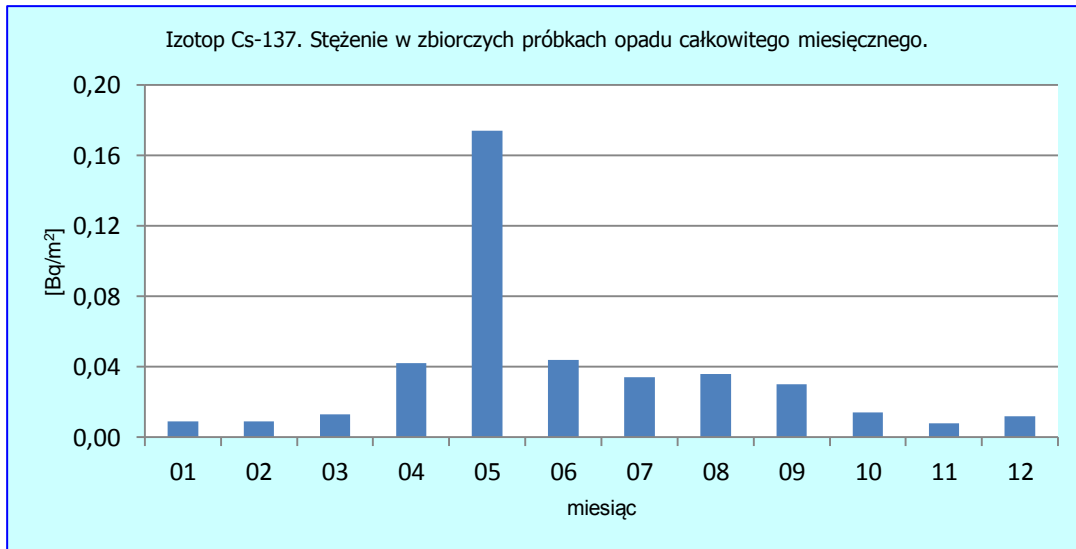
Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego o stosunkowo długim okresie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku ^{137}Cs i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku ^{134}Cs . Ich stężenia promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) oznaczane są w zbiorczych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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

W 2018 roku średnie stężenie ^{137}Cs w opadzie atmosferycznym wynosiło $0,035 \text{ Bq m}^{-2}$, natomiast stężenia ^{134}Cs były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe aktywności promieniotwórcze ^{137}Cs odnotowano w miesiącach: listopad ($0,008 \text{ Bq m}^{-2}$), oraz styczeń i luty ($0,009 \text{ Bq m}^{-2}$), natomiast najwyższa wystąpiła w maju ($0,174 \text{ Bq m}^{-2}$) i była prawie 22 razy wyższa od wartości minimalnej. Taki rozkład stężeń był związany z intensywnymi opadami oraz łatwiejszym wyplukiwaniem izotopów z atmosfery. (Tabela 15, Rys. 60).

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2018 r., Bq m^{-2} . Dane z roku 2018.

	Aktywność Bq m^{-2}	Aktywność Bq m^{-2}
Miesiąc	Cs-137	Cs-134
Styczeń	$0,009 \pm 0,002$	$< 0,004$
Luty	$0,009 \pm 0,002$	$< 0,004$
Marzec	$0,013 \pm 0,002$	$< 0,004$
Kwiecień	$0,042 \pm 0,003$	$< 0,005$
Maj	$0,174 \pm 0,005$	$< 0,006$
Czerwiec	$0,044 \pm 0,011$	$< 0,005$
Lipiec	$0,034 \pm 0,002$	$< 0,004$
Sierpień	$0,036 \pm 0,002$	$< 0,004$
Wrzesień	$0,030 \pm 0,002$	$< 0,004$
Październik	$0,014 \pm 0,002$	$< 0,004$
Listopad	$0,008 \pm 0,001$	$< 0,003$
Grudzień	$0,012 \pm 0,002$	$< 0,003$
Suma roczna	0,425	
Średnia	0,035	
Maksymalna	0,174	
Minimalna	0,008	

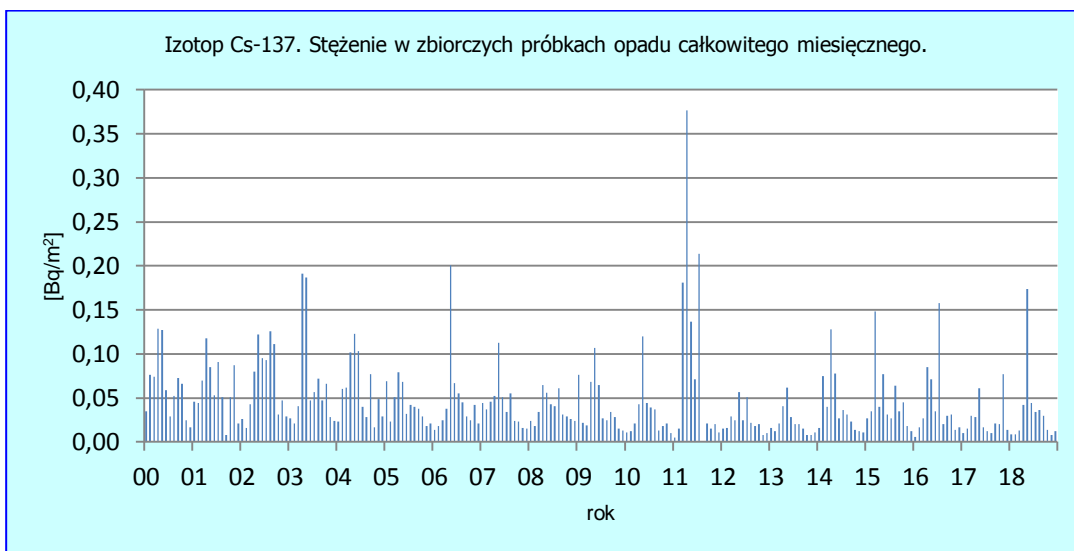


Rys.60. Stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w roku 2018.

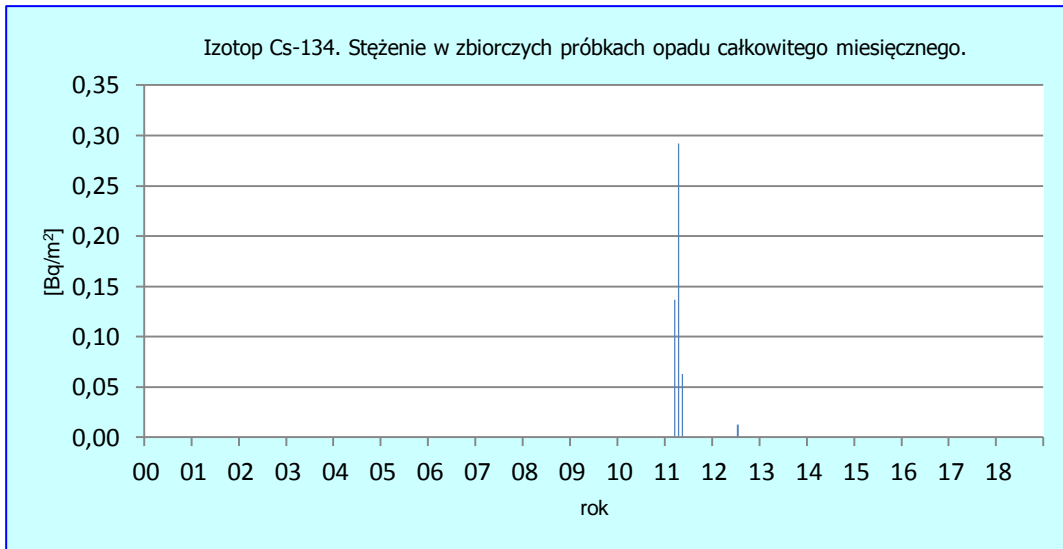
Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Izotop ¹³⁷Cs charakteryzuje się niską prędkością suchej depozycji (0,05 – 0,5 cm s⁻¹), dlatego ładunek tego izotopu docierający do powierzchni ziemi wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wyplukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym najczęściej największy dopływ ¹³⁷Cs do powierzchni ziemi występuje w okresie wiosenno-letnim, kiedy miesięczne sumy opadów są największe (Rys. 61). Roczna suma dopływu ¹³⁷Cs w 2018 roku wynosiła 0,425 Bq m⁻² i była o 0,11 wyższa od wartości w 2017 (0,315 Bq m⁻²), a jednocześnie około 2,5 razy mniejsza od wartości uzyskanej 2011 (1,067 Bq m⁻²), kiedy odnotowano podwyższoną depozycję związaną na skutek awarii elektrowni atomowej w Fukushima (Tabela 16, Rys. 63). Minimalny sumaryczny dopływ ¹³⁷Cs przypadła na rok 2013 (0,262 Bq m⁻²). W okresie 2000 – 2018 średnia suma rocznych dopływów ¹³⁷Cs wyniosła 0,563 Bq m⁻² (Tabela 16).

W przypadku izotopu ¹³⁴Cs, tylko w roku 2011 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej (Rys. 62). W omawianych pomiarach od roku 2000 oprócz incydentu w Fukushima nie zanotowano obecności ¹³⁴Cs w powietrzu.



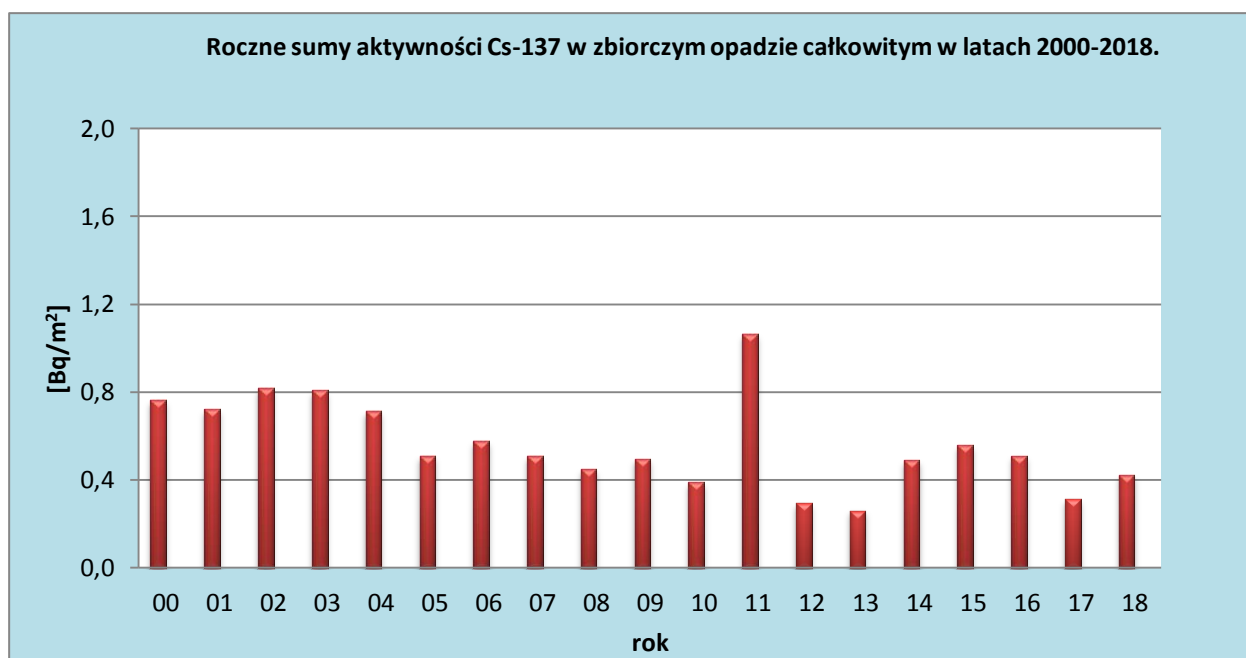
Rys.61. Stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2018.



Rys.62. Stężenie promieniotwórcze ¹³⁴Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2018.

Tabela 16. Roczna suma dopływu ¹³⁷Cs i ¹³⁴Cs w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2018, Bq m⁻².

Rok	¹³⁷ Cs	¹³⁴ 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	0,013
2013	0,262	
2014	0,491	
2015	0,559	
2016	0,511	
2017	0,315	
2018	0,425	
Średnia	0,563	
Minimalna	0,262	
Maksymalna	1,067	



Rys.63. Roczne sumy dopływu ¹³⁷Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2018.

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

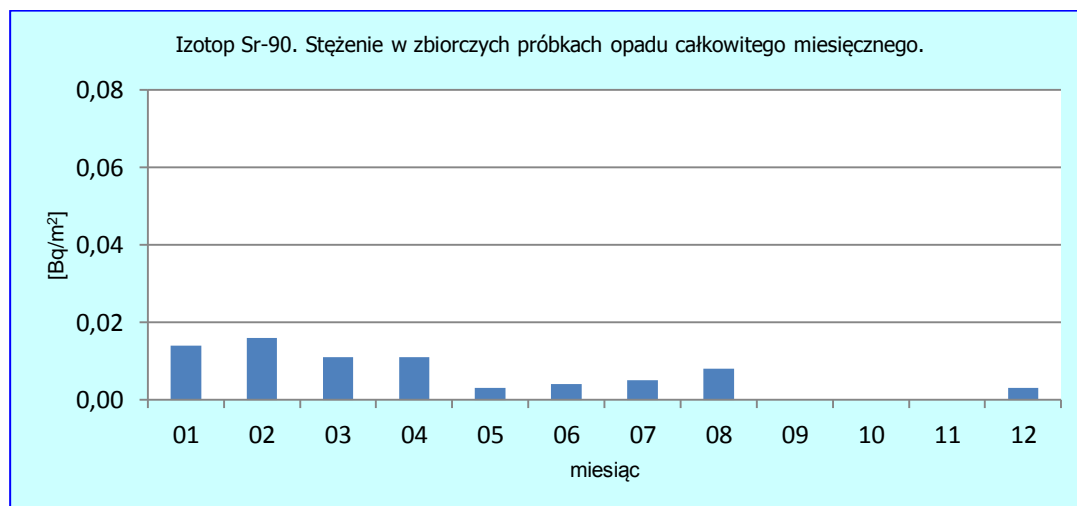
W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu ^{137}Cs i ^{134}Cs przeprowadzono w 2018 roku pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu – ^{90}Sr , który podobnie jak ^{137}Cs charakteryzuje się stosunkowo długim okresem połowicznego rozpadu (28 lat).

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

Najwyższe stężenie ^{90}Sr zarejestrowano w lutym ($0,016 \text{ Bq m}^{-2}$) oraz styczniu ($0,014 \text{ Bq m}^{-2}$), w miesiącach: wrzesień, październik i listopad uzyskane wartości były poniżej limitu detekcji ($<0,003 \text{ Bq m}^{-2}$) (Tab. 17, Rys. 64).

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2018 r.

Miesiąc	Aktywność Bq m^{-2} Sr-90
Styczeń	$0,014 \pm 0,001$
Luty	$0,016 \pm 0,002$
Marzec	$0,011 \pm 0,001$
Kwiecień	$0,011 \pm 0,002$
Maj	$0,003 \pm 0,001$
Czerwiec	$0,004 \pm 0,001$
Lipiec	$0,005 \pm 0,001$
Sierpień	$0,008 \pm 0,001$
Wrzesień	$<0,003$
Październik	$<0,003$
Listopad	$<0,003$
Grudzień	$0,003 \pm 0,001$
Suma roczna	0,075
Średnia	0,008
Maksymalna	0,016
Minimalna	0,003



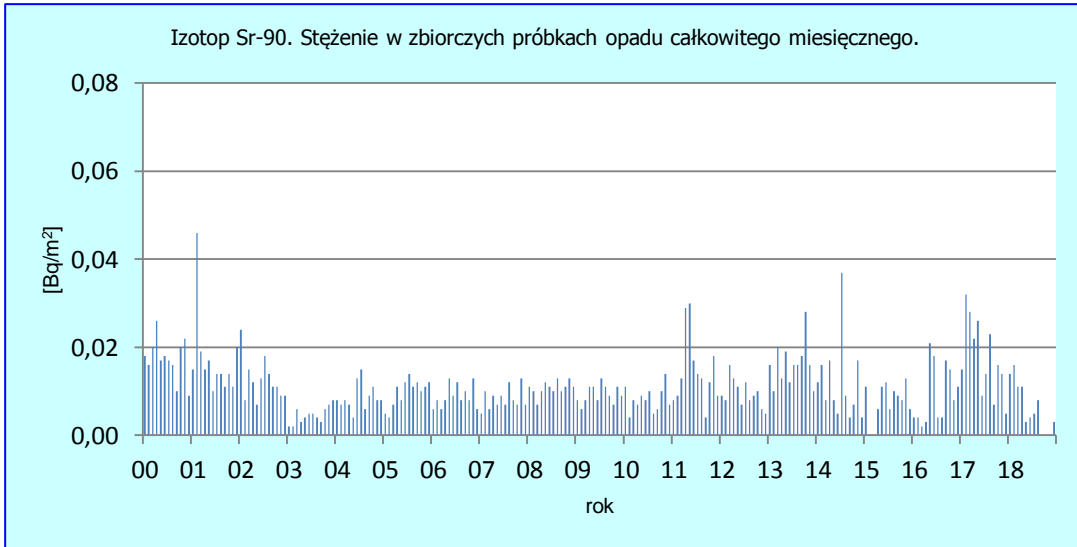
Rys.64. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

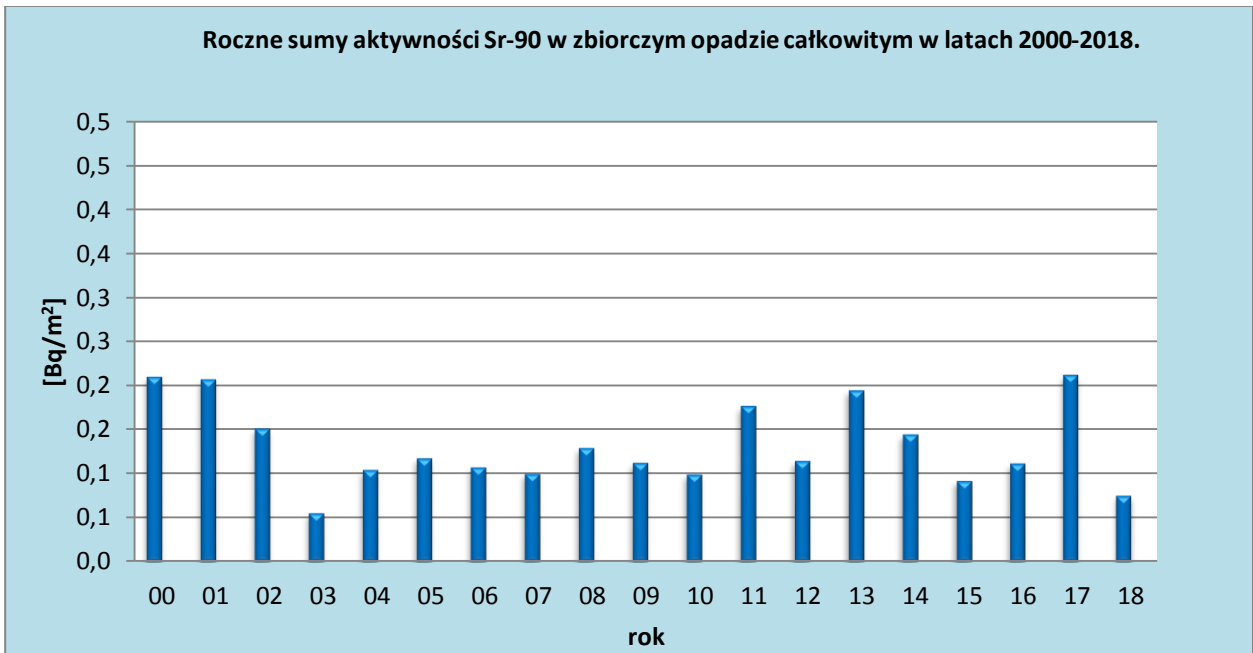
Najwyższe roczne sumy aktywności ^{90}Sr w opadzie całkowitym zmierzono w latach 2000, 2001 oraz 2017 (Tab. 18). Wynosiły one odpowiednio: $0,209 \text{ Bq m}^{-2}$, $0,206 \text{ Bq m}^{-2}$ i $0,211 \text{ Bq m}^{-2}$, a najniższą wartość odnotowano w roku 2003 ($0,055 \text{ Bq m}^{-2}$). Roczny dopływ ^{90}Sr wraz z opadem całkowitym w 2018 roku wyniósł $0,075 \text{ Bq m}^{-2}$ i był zdecydowanie niższy niż w poprzednim roku. Średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2018 jest na poziomie $0,132 \text{ Bq m}^{-2}$.

Tabela 18. Roczna suma aktywności ^{90}S w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2018, Bq m^{-2} .

Rok	^{90}Sr
2000	0,209
2001	0,206
2002	0,151
2003	0,055
2004	0,104
2005	0,117
2006	0,107
2007	0,100
2008	0,129
2009	0,112
2010	0,099
2011	0,176
2012	0,114
2013	0,195
2014	0,144
2015	0,092
2016	0,111
2017	0,211
2018	0,075
Średnia	0,132
Minimalna	0,055
Maksymalna	0,211



Rys.65. Stężenie promieniotwórcze ⁹⁰Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2018.



Rys.66. Roczne sumy dopływu ⁹⁰Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2018.

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

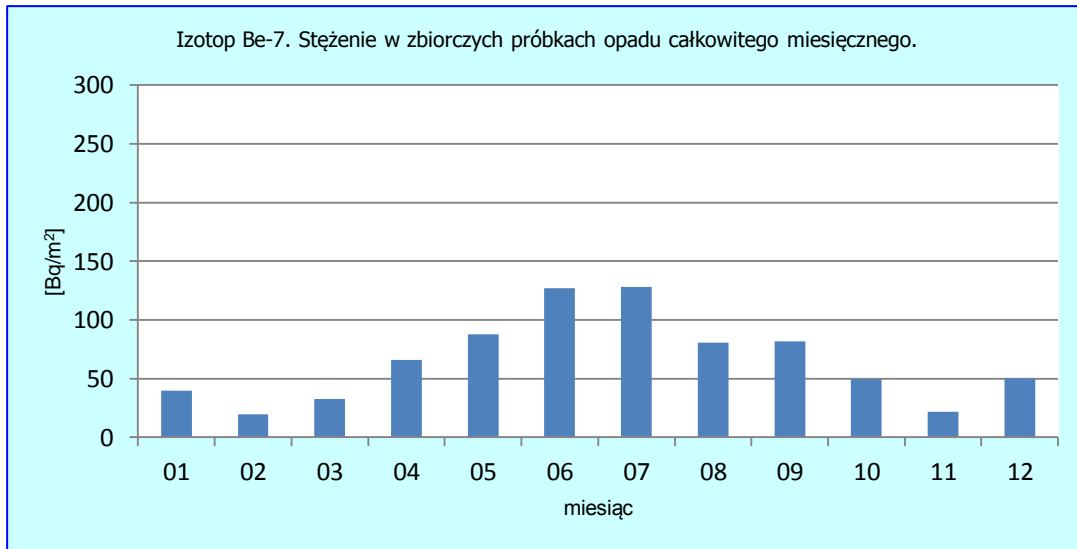
W 2018 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac i ^{40}K . Izotop ^{40}K jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo długim okresem połowicznego rozpadu wynoszącym $1,251 \cdot 10^9$ lat. ^{226}Ra jest produktem rozpadu w szeregu uranowo – radowym (^{238}U), jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1599 lat. ^{228}Ac jest produktem rozpadu w szeregu torowym (^{232}Th) z połowicznym czasem 6,13 godziny. Źródłem ^7Be , którego okres połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki – 53,3 dni, jest natomiast promieniowanie kosmiczne.

Analiza wyników uzyskanych w roku 2018

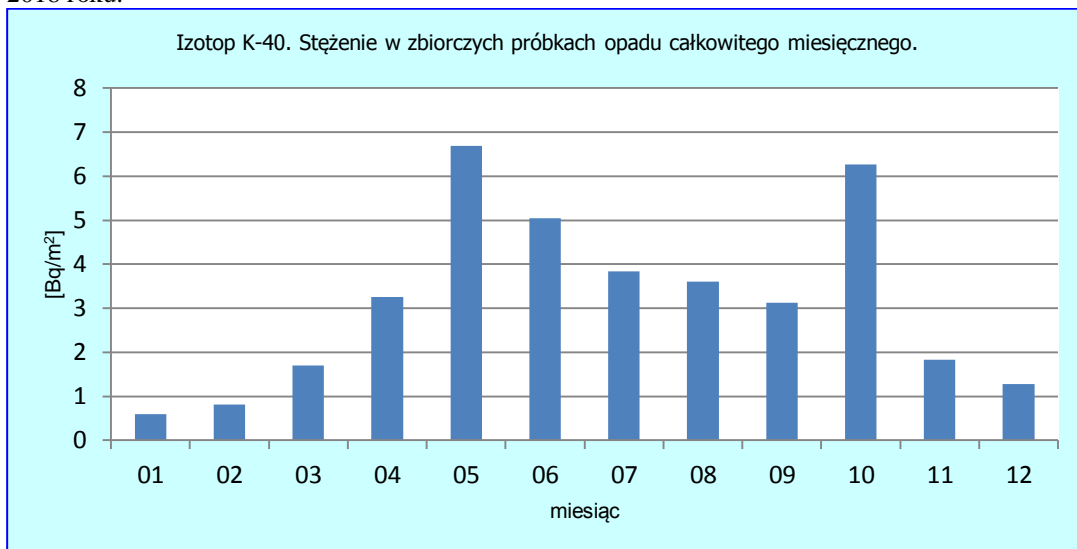
Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się ^7Be . Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła $65,43 \text{ Bq m}^{-2}$ i wahała się w zakresie od $19,78 \text{ Bq m}^{-2}$ (luty) do $128,09 \text{ Bq m}^{-2}$ (lipiec) (Tabela 19, Rys. 67). Roczny dopływ tego izotopu był o $42,3 \text{ Bq m}^{-2}$ niższy niż w zeszłym roku i wynosił $785,2 \text{ Bq m}^{-2}$ (Tabela 19). W 2018 roku aktywność ^{40}K zmieniała się w zakresie od $0,59 \text{ Bq m}^{-2}$ (styczeń) do $6,69 \text{ Bq m}^{-2}$ (maj), natomiast roczny dopływ był na poziomie $38,05 \text{ Bq m}^{-2}$ (Tabela 19, Rys. 68). W przypadku ^{226}Ra roczny dopływ wynosił $1,55 \text{ Bq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ a miesięczne ładunki oscylowały w zakresie od $0,047 \text{ Bq m}^{-2}$ (styczeń) do $0,373 \text{ Bq m}^{-2}$ (czerwiec) (Tabela 19, Rys. 69). Roczny dopływ ^{228}Ac był dwa i pół raza niższy niż ^{226}Ra i wynosił $0,616 \text{ Bq m}^{-2}$, a jego miesięczne ładunki mieściły się w przedziale od $0,012 \text{ Bq m}^{-2}$ w styczniu do $0,120 \text{ Bq m}^{-2}$ w czerwcu (Tabela 19, Rys. 70).

Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze ^{228}Ac , ^7Be , ^{40}K oraz ^{226}Ra w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2018 r., [Bq m^{-2}].

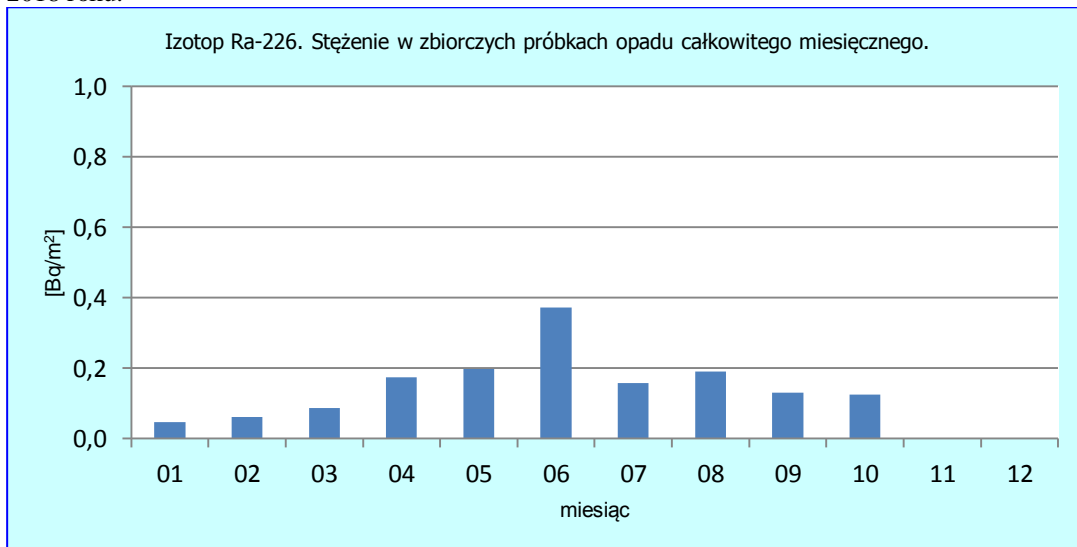
Miesiąc	^{228}Ac	^7Be	^{40}K	^{226}Ra
Styczeń	0,012	39,884	0,589	0,047
Luty	0,027	19,776	0,813	0,061
Marzec	0,039	32,930	1,698	0,087
Kwiecień	0,060	65,772	3,261	0,175
Maj	0,082	87,996	6,685	0,199
Czerwiec	0,120	127,153	5,052	0,373
Lipiec	0,066	128,088	3,842	0,159
Sierpień	0,064	80,502	3,600	0,190
Wrzesień	0,079	81,684	3,133	0,131
Październik	0,055	49,362	6,263	0,126
Listopad	-	21,950	1,837	-
Grudzień	0,012	50,068	1,273	-
Suma roczna	0,616	785,165	38,046	1,548
Średnia	0,056	65,430	3,171	0,155
Maksymalna	0,120	128,088	6,685	0,373
Minimalna	0,012	19,776	0,589	0,047



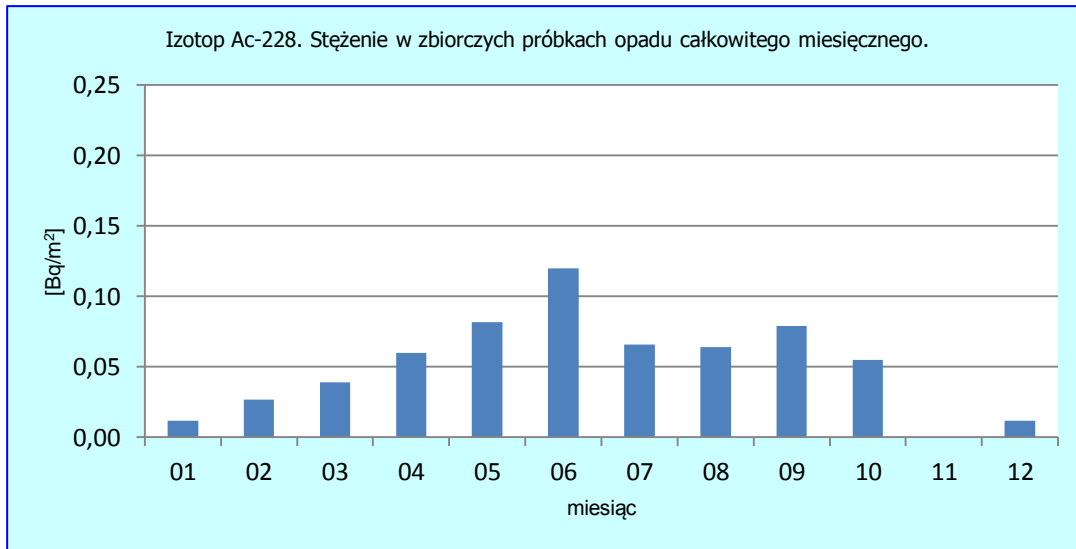
Rys.67. Stężenie promieniotwórcze ⁷Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2018 roku.



Rys.68. Stężenie promieniotwórcze ⁴⁰K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2018 roku.



Rys.69. Stężenie promieniotwórcze ²²⁶Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2018 roku.



Rys. 70. Stężenie promieniotwórcze ²²⁸Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2018 roku.

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

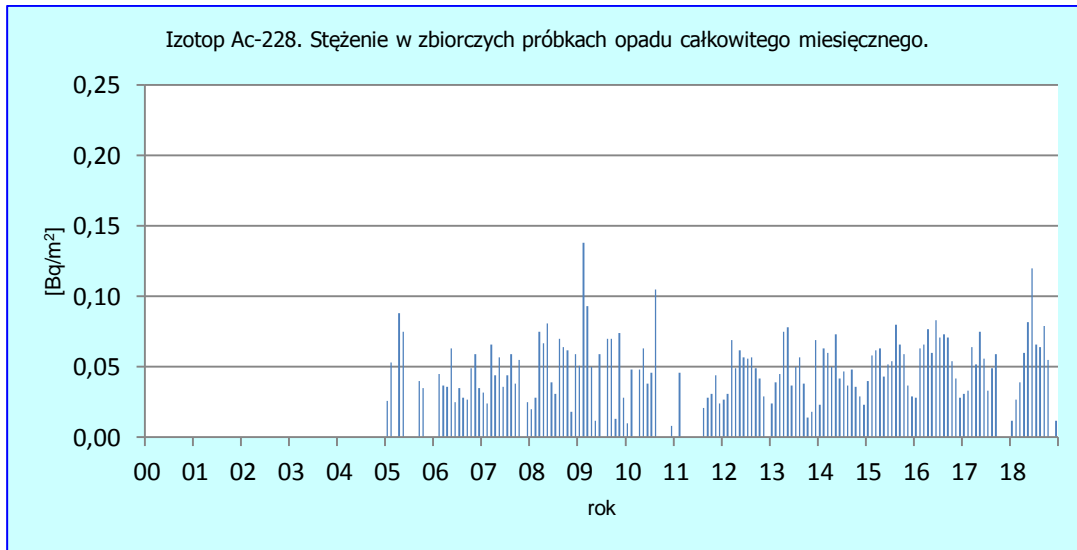
W okresie od 2000 do 2018 roku (Tabela 20) spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy ⁷Be i ⁴⁰K (Rys. 71-74). Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku ¹³⁷Cs wyflukiwaniem tych izotopów z atmosfery.

W roku 2018 średnie roczne ładunki pierwiastków: ⁷Be, ⁴⁰K i ²²⁸Ac były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2018), a w przypadku ²²⁶Ra ładunek w roku 2018 był niższy od średniej z badanego okresu (Tabela 20).

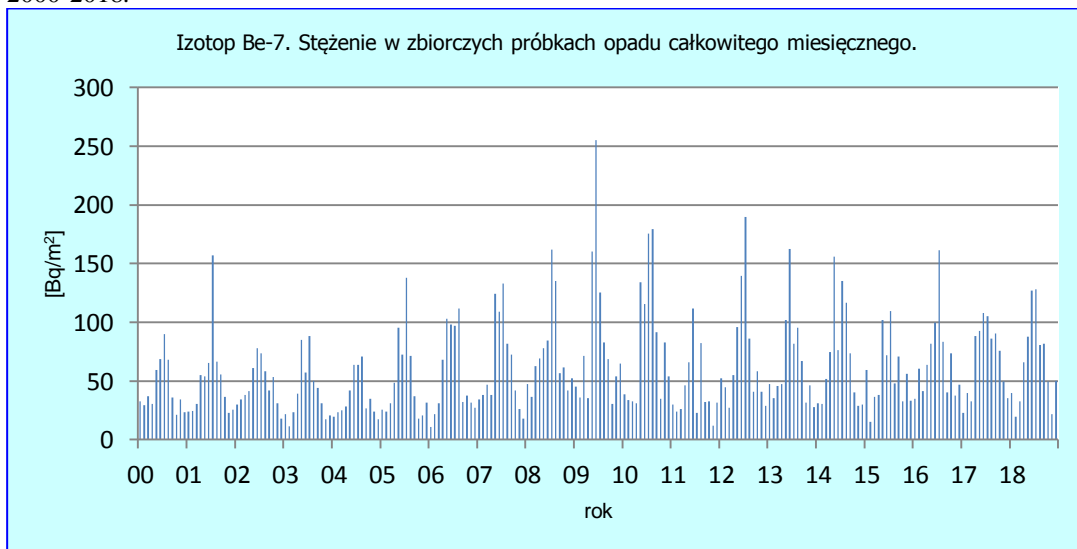
Tabela 20. Roczna suma aktywności ²²⁶Ra, ⁷Be, ²²⁸Ac, ⁴⁰K w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2018, [Bq m⁻²].

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

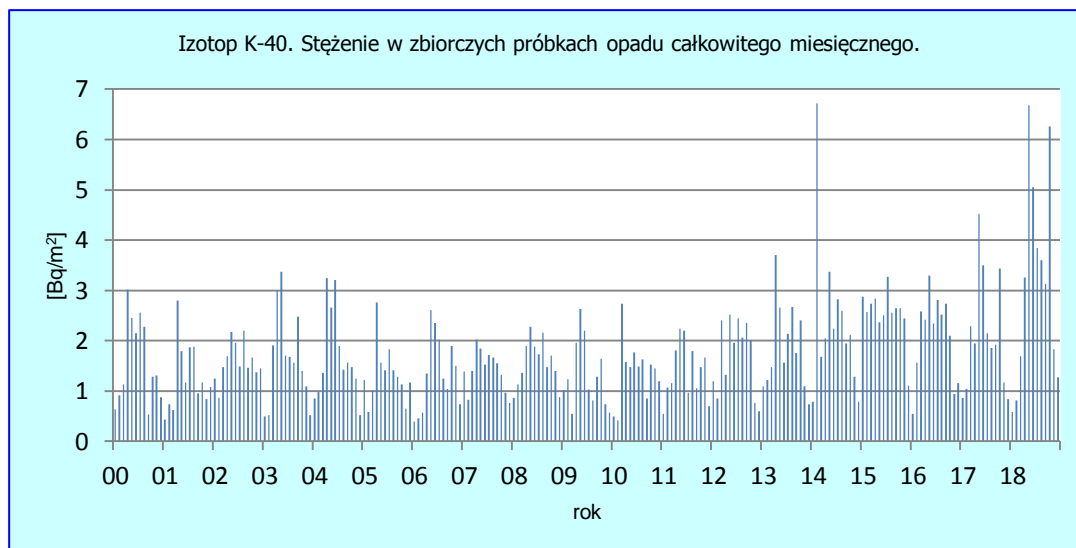
Rok	^{228}Ac	^7Be	^{40}K	^{226}Ra
2016	0,716	826,5	25,01	1,45
2017	0,452	827,51	25,55	1,07
2018	0,616	785,165	38,046	1,548
Średnia	0,482	723,106	21,120	1,599
Minimalna	0,069	439,582	15,340	0,659
Maksymalna	0,716	1029,896	38,046	2,974



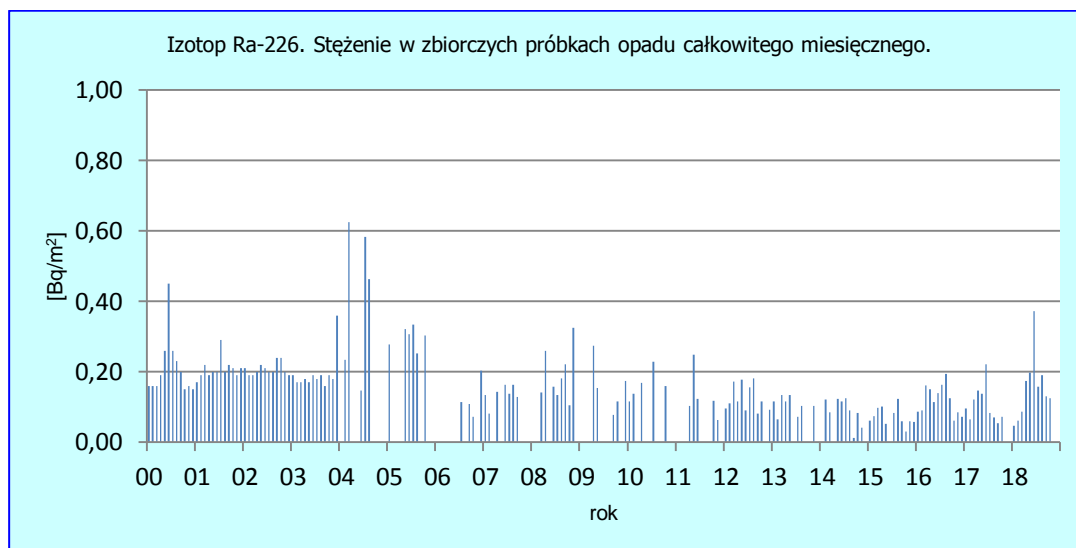
Rys.71. Stężenie promieniotwórcze ^{228}Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2018.



Rys.72. Stężenie promieniotwórcze ^7Be w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2018.



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze ^{40}K w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2018.



Rys. 74. Stężenie promieniotwórcze ^{226}Ra w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2018.

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

Promieniotwórczy izotop rutenu Ru-106 jest izotopem pochodzenia antropogenicznego wykorzystywanym m.in. w leczeniu nowotworów, o okresie połowicznego rozpadu wynoszącym 374 dni. Stężenie promieniotwórcze ^{106}Ru (aktywność odniesiona do powierzchni) zostało oznaczone po raz pierwszy w Polsce w październiku 2017 roku. Pomiary wykonano za pomocą spektrometrii gamma w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego pochodzących z 9 stacji. Najwyższy średni miesięczny ładunek występował bezpośrednio po uwolnieniu i wyniósł $0,327 \text{ Bq m}^{-2}$ we wrześniu i $6,318 \text{ Bq m}^{-2}$ w październiku. Pod koniec roku aktywność tego izotopu znacząco spadła, lecz ciągle była notowana w całkowitym opadzie miesięcznym (Tabela 22).

W roku 2018 kontynuowano pomiary Ru-106. Aktywność tego pierwiastka stwierdzono już tylko w próbkach z 4 miesięcy: luty, kwiecień, czerwiec, lipiec, przy czym roczna suma omawianego izotopu była na poziomie $0,432 \text{ Bq m}^{-2}$ (Tabela 21). Maksymalną wartość $0,178 \text{ Bq m}^{-2}$ odnotowano w kwietniu, a minimalną w lipcu ($0,035 \text{ Bq m}^{-2}$).

Tabela 21. Stężenie promieniotwórcze ^{106}Ru w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2018 r., Bq m^{-2} . LLD – dolny próg detekcji

Miesiąc	Ru-106, aktywność [Bq m^{-2}]	Ru-106, LLD [Bq m^{-2}]
Luty	$0,084 \pm 0,017$	0,024
Kwiecień	$0,178 \pm 0,023$	0,032
Czerwiec	$0,135 \pm 0,042$	0,039
Lipiec	$0,035 \pm 0,012$	0,017
Pozostałe miesiące	Nie wykryto	
Suma	0,432	
Średnia	0,108	
Maksymalna	0,178	
Minimalna	0,035	

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2018 z danymi z roku 2017 r.

Roczna suma aktywności promieniotwórczej izotop rutenu Ru-106 w 2018 roku wyniosła $0,432 \text{ Bq m}^{-2}$ i była prawie 16-krotnie niższa niż w roku 2017. Średnia wartość z 4 miesięcy, w których zanotowano obecność tego pierwiastka w 2018 ($0,108 \text{ Bq m}^{-2}$) jest niższa o prawie 94% w porównaniu z wartością z ubiegłego roku.

Tabela 22. Stężenie promieniotwórcze ^{106}Ru w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2017 r., Bq m^{-2} . LLD – dolny próg detekcji

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

4. Podsumowanie

W 2018 roku monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy atmosfery prowadzono w ramach umów nr 36/2015/F oraz 8/2018/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-PIB, zlokalizowanych w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu³, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2018 roku prowadzono pomiary następujących 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}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
8. Pomiar spektrometryczny izotopów naturalnych w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
9. Pomiar radiochemiczny aktywności izotopu ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
10. Został wykryty i zmierzony po raz drugi ^{106}Ru .

Wyniki uzyskane w roku 2018 zestawiono w Tabeli 23 na kolejnej stronie.

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

Tabela 23. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2018.

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna ⁴			
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 92,5 nSv/h Str. 17			
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 7,9 Bq/m³ Str. 23			
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,044 Bq/m³ Str. 27			
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,229 Bq/m³ Str. 31			
5.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego oraz roczna suma aktywności beta całkowitego opadu dobowego. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,9 Bq/m² Str. 35	Suma roczna 0,326 kBq/m² Str. 35		
6.	Globalna aktywność beta wody opadowej <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 335 mBq/litr Str. 40			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 8,4 Bq/m² Str.45			
8.	Stężenie promieniotwórcze ¹³⁷ Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <i>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</i>	Wartość średnia 0,035 Bq/m² Str. 50	Suma roczna 0,425 Bq/m² Str.50		
9.	Stężenie promieniotwórcze ¹³⁴ Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <i>Bardzo niskie wartości na poziomie zdolności detekcyjnych aparatury</i>	Poniżej zdolności detekcji		Poniżej zdolności detekcji	
10.	Stężenie promieniotwórcze ⁹⁰ Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <i>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</i>	Wartość średnia 0,008 Bq/m² Str. 54	Suma roczna 0,075 Bq/m² Str. 54		
12.	Sumy roczne aktywności ²²⁸ Ac, ⁷ Be, ⁴⁰ K, ²²⁶ Ra, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. [Bq/m ²] <i>Wartości na poziomie tła</i> Str. 57	Ac-228	Be-7	K-40	Ra-226
		0,616	785,165	38,046	1,548
13.	Stężenie promieniotwórcze ¹⁰⁶ Ru w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w tych miesiącach roku 2018 kiedy został zmierzony. [Bq/m ²] Wartości niższe niż w 2017 roku. Str. 62	Luty	Kwiecień	Czerwiec	Lipiec
		0,084	0,178	0,135	0,035

⁴ 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 2018 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 2018 roku wynosiła $92,5 \text{ nSv h}^{-1}$ i była wyższa od obserwowanej w roku poprzednim o $1,6 \text{ nSv h}^{-1}$. W latach 2000 - 2018 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. W omawianym okresie wartości te zmieniały się w stosunkowo wąskim przedziale od $89,6 \text{ nSv h}^{-1}$ w 2010 roku do $99,1 \text{ nSv h}^{-1}$ w 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła $94,1 \text{ nSv h}^{-1}$.

W roku 2018 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o $1,5 \text{ Bq m}^{-3}$ wyższe niż w roku ubiegłym i wynosiło $7,9 \text{ Bq m}^{-3}$. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2018 wynosi $7,0 \text{ Bq m}^{-3}$.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2018 roku wyniosło $0,044 \text{ Bq m}^{-3}$ i było niższe o $0,11 \text{ Bq m}^{-3}$ niż w roku poprzednim. W latach 2000 – 2018 średnie roczne stężenia mieściły się w zakresie od $0,004 \text{ Bq m}^{-3}$ w 2001 roku do $0,074 \text{ Bq m}^{-3}$ w 2015. Średnie stężenie wyznaczone dla omawianego okresu wynosiło $0,033 \text{ Bq m}^{-3}$.

W 2018 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło $0,229 \text{ Bq m}^{-3}$ i było porównywalna z wartością z poprzedniego roku - $0,237 \text{ Bq m}^{-3}$. Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2018 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych w okresie badań 2000 - 2018. Wartości te są ponad czterynastokrotnie wyższe niż minimalne średnie stężenie przypadające na rok 2001, ale są to nadal aktywności na poziomie tła i niestanowiące zagrożenia.

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

Globalna aktywność beta w całkowitym opadzie dobowym dla całego obszaru Polski, obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2018 roku ($0,33 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$), była równa wartości z ubiegłego roku, oraz taka sama jak w latach 2000 i 2009 – 2011. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2018 utrzymuje się na poziomie $0,32 \text{ kBq m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$.

Średnia aktywność beta wody opadowej w 2018 roku wyniosła 325 mBq l^{-1} . Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie od 2000 do 2018, przypada na rok 2003 i wynosi 376 mBq l^{-1} , minimalna wartość charakteryzuje próbki z 2014 – 311 mBq l^{-1} . Średnia aktywność beta wody opadowej w omawianym okresie wynosi 343 mBq l^{-1} .

W 2018 roku średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym opadzie miesięcznym wynosiła $8,4 \text{ Bq m}^{-2}$ i była niższa niż w roku ubiegłym – $8,7 \text{ Bq m}^{-2}$. W omawianym okresie średnia aktywność promieniowania beta wahała się w przedziale od 6 Bq m^{-2} (2005) do $8,7 \text{ Bq m}^{-2}$ (2017), a średnia aktywność całkowitego opadu atmosferycznego w latach 2000 - 2018 wynosi $7,2 \text{ Bq m}^{-2}$.

W 2018 roku średnie stężenie ^{137}Cs w opadzie atmosferycznym wynosiło $0,035 \text{ Bq m}^{-2}$, natomiast stężenia ^{134}Cs były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe aktywności promieniotwórcze ^{137}Cs odnotowano w miesiącach: listopad ($0,008 \text{ Bq m}^{-2}$), oraz styczeń i luty ($0,009 \text{ Bq m}^{-2}$), natomiast najwyższa wystąpiła w maju ($0,174 \text{ Bq m}^{-2}$) i była prawie 22 razy wyższa od wartości minimalnej oraz w marcu ($0,030 \text{ Bq m}^{-2}$).

Roczna suma dopływu ^{137}Cs w 2018 roku wynosiła $0,425 \text{ Bq m}^{-2}$ i była o $0,11$ wyższa od wartości w 2017 ($0,315 \text{ Bq m}^{-2}$), a jednocześnie około 2,5 razy mniejsza od wartości uzyskanej 2011 ($1,067 \text{ Bq m}^{-2}$), kiedy odnotowano podwyższoną depozycję związaną na skutek awarii elektrowni atomowej w

Fukushimie. Minimalny sumaryczny dopływ ^{137}Cs przypadła na rok 2013 ($0,262 \text{ Bq m}^{-2}$). W okresie 2000 – 2018 średnia suma rocznych dopływów ^{137}Cs wynosiła $0,563 \text{ Bq m}^{-2}$.

W przypadku izotopu ^{134}Cs , tylko w roku 2011 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. W omawianych pomiarach od roku 2000 oprócz incydentu w Fukushimie nie zanotowano obecności ^{134}Cs w powietrzu.

Najwyższe stężenie ^{90}Sr w 2018 roku zarejestrowano w lutym ($0,016 \text{ Bq m}^{-2}$) oraz styczniu ($0,014 \text{ Bq m}^{-2}$), najniższą aktywność stwierdzono w maju i grudniu ($0,003 \text{ Bq m}^{-2}$). W miesiącach: wrzesień, październik i listopad uzyskane wartości były poniżej limitu detekcji.

Roczny dopływ ^{90}Sr wraz z opadem całkowitym w 2018 roku wyniósł $0,075 \text{ Bq m}^{-2}$ i był zdecydowanie niższy niż poprzednim roku. Średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2018 jest na poziomie $0,132 \text{ Bq m}^{-2}$.

W okresie od 2000 do 2018 roku spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy ^7Be i ^{40}K . Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku ^{137}Cs wyłukiwaniem tych izotopów z atmosfery.

W roku 2018 średnie roczne ładunki pierwiastków: ^7Be , ^{40}K i ^{228}Ac były wyższe od średniej z wielolecia (2000-2018), a w przypadku ^{226}Ra ładunek w roku 2018 był niższy od średniej z badanego okresu.

Roczna suma aktywności promieniotwórczej izotopu rutenu Ru-106 w 2018 roku wyniosła $0,432 \text{ Bq m}^{-2}$ i była prawie 16-krotnie niższa niż w roku 2017. Roczna suma aktywności promieniotwórczej izotopu rutenu Ru-106 zmierzonego w powietrzu po raz pierwszy w 2017 roku wyniosła $6,836 \text{ Bq m}^{-2}$. Średnia wartość z 4 miesięcy 2018 roku, w których zanotowano obecność tego pierwiastka ($0,108 \text{ Bq m}^{-2}$) jest niższa o prawie 94% w porównaniu z wartością z 2017 r. ($1,709 \text{ Bq m}^{-2}$).