

**INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**



**„Monitoring promieniowania jonizującego realizowany  
w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska  
w latach 2020 – 2022**

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

**ETAP III  
RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI I ANALIZY  
ZA ROK 2021**



Sfinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu  
Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

*Praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska  
na podstawie umowy oraz Aneksu nr 1 do umowy nr DMŚ/139/2020/F  
z dnia 08.09.2020 r., finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej*

Autorzy:

Mgr Paweł Miszczuk

Mgr Przemysław Żurek

Mgr inż. Anna Apanel

Dr Michał Saniewski

Dr hab. inż. Tamara Zalewska, prof. IMGW-PIB

Mgr Julita Biszczyk-Jakubowska

Sprawdził i zatwierdził

Kierownik

Wydziału Monitorowania Jakości Powietrza

mgr Julita Biszczyk-Jakubowska

WARSZAWA 2022



## **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 2021 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2020
  - 3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu
  - 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu
    - 3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa
    - 3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa
    - 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta
  - 3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego
    - 3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego
    - 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej
    - 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.4. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.5. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
  - 3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych:  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
4. Podsumowanie
5. Wnioski

## 1. Cel i zakres pracy

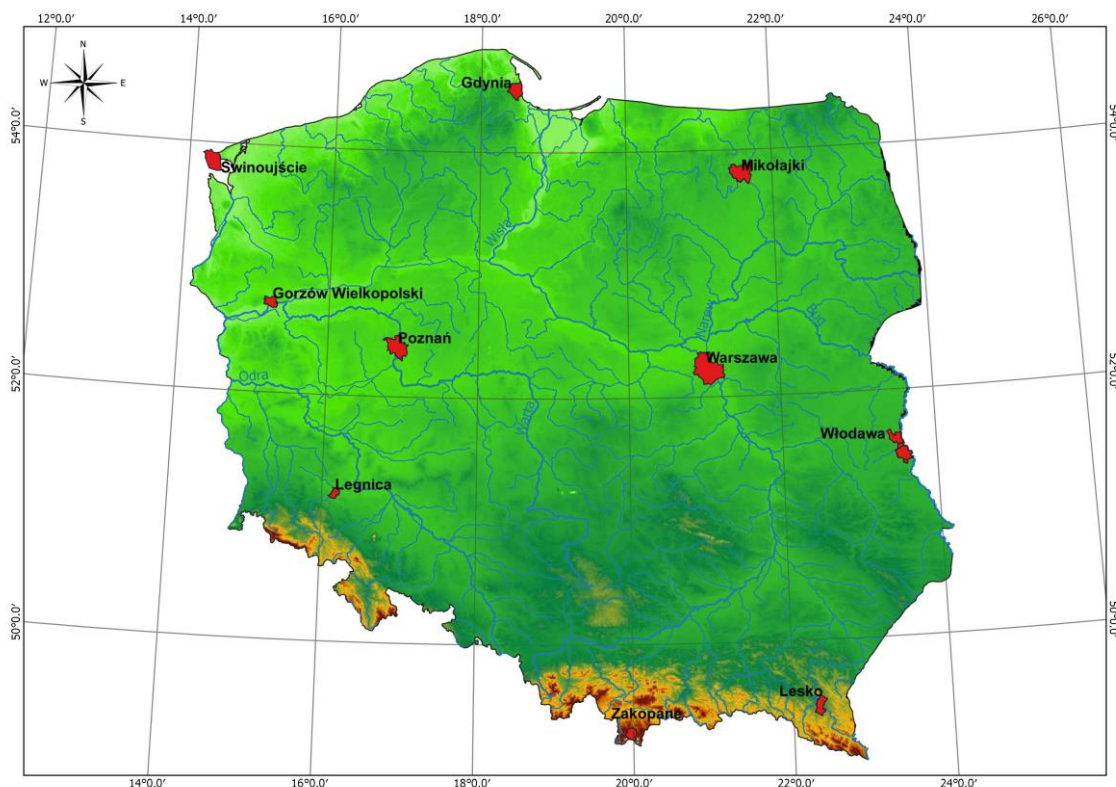
Pomiary radioaktywności w atmosferze prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy stanowią realizację programu Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020-2025<sup>1</sup>.

Państwowy Monitoring Środowiska, według art. 23 ust. 2 ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz. U. z 2021., poz. 1070), jest systemem: pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji. Program został opracowany w Departamencie Monitoringu Środowiska Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Raporty roczne z analizą wyników publikowane są na stronie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska<sup>2</sup>.

Dnia 8 września 2020 roku podpisana została umowa nr DMS/139/2020/F między IMGW-PIB a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska na wykonanie pracy pt.: „**Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2020 – 2022. 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 2020 roku do 30 września 2022 roku, jak również do przedstawiania uzyskanych wyników w postaci zestawień oraz raportów rocznych.

Niniejszy raport prezentuje wyniki pomiarów prowadzonych od 1 stycznia do 31 grudnia 2021 r.

Stacje IMGW-PIB prowadzące pomiary zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach (Rys. 1), przy czym stacje Gorzów Wlkp. oraz Poznań traktowane są jako jedna stacja ze względu na to, że prowadzą pomiary uzupełniające.



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

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

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

Zakres prac pomiarowych:

- 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 wyznaczanej 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  $^{137}\text{Cs}$  i wybranych naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.
- e) Radiochemiczne oznaczanie  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki uzyskane w roku 2021 wraz z komentarzem uwzględniającym dane z lat poprzednich. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.

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

### 2.1. Pobór i przygotowanie próbek

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

- a) Pobór próbek całkowitego opadu dobowego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do kuwety o powierzchni  $1500\text{ cm}^2$  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  $450^\circ\text{C}$ . Otrzymany popiół przenosi się do aluminiowej miseczki pomiarowej. Wymiary miseczki pomiarowej: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać  $50\text{ mg cm}^{-3}$ , co pozwala na zaniechanie samoabsorpcji.
- b) Pobór próbek całkowitego opadu miesięcznego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do trzech kuwet o łącznej powierzchni  $4500\text{ cm}^2$  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  $450^\circ\text{C}$ . Otrzymany popiół przenosi się do aluminiowej miseczki pomiarowej. Wymiary miseczki pomiarowej: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać  $50\text{ mg cm}^{-3}$ , co pozwala na zaniechanie samoabsorpcji.

- c) Pobór próbek aerozoli powietrza odbywający się poprzez wymuszony przepływ powietrza przez odpowiednie filtry w cyklach półgodzinnych. Próbkę w takiej postaci poddawane 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 jest ok. 1 metr nad powierzchnią ziemi i dokonuje 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 specjalistyczne oprogramowanie TDSG.

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

1. Tor do pomiaru równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  z czułym licznikiem Geigera-Mullera wraz z układami elektronicznymi (HV, wzmacniacze, układ przeliczający impulsy na moc dawki w nSv/h) o podstawowych parametrach:
  - a. czułość około 800-900 imp/min/ $\mu$ Sv/h,
  - b. pomiar równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  w nSv/h,
  - c. zakres pomiarowy 0,01 – 3000  $\mu$ Sv/h,
  - d. charakterystyka energetyczna skompensowana do pomiaru równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  w zakresie 35 keV do 1,3 MeV,
2. Tor spektrometryczny ze scyntyblokiem 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. Scyntyblok (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.

W przypadku wystąpienia awarii sondy TDSG pomiar mocy dawki promieniowania gamma prowadzony jest za pomocą zapasowej sondy typu FHZ621GL. Sonda ta współpracuje z komputerem PC i składa się z licznika proporcjonalnego, przedwzmacniacza, modułu mikrokontrolera, interfejsu szeregowego RS-485 i zasilaczy niskiego i wysokiego napięcia.

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

Monitor Berthold LB9128 z filtrem taśmowym posiada następujące cechy:

- Przesuw filtru może być ciągły lub skokowy. Taśma filtracyjna prowadzona jest w obszarze gromadzenia pyłów na cylindrycznych łożyskach, przez który przepływa powietrze. Zapewnia to równomierne gromadzenie pyłu przy ciągłym i jednostajnym przesuwie filtru, bez ryzyka zerwania taśmy filtracyjnej.
- Szybki detektor Alfa/Beta umieszczony jest bezpośrednio nad powierzchnią gromadzącą pył i mierzy radioaktywność cząsteczek pyłu.
- Zespół gromadzenia pyłu i detektor ekranowane są osłoną ołowiovą w kącie  $4\pi$ . Daje to w wyniku małe tło własne i niską czułość na promieniowanie otoczenia. Gdyby to nie wystarczało

dla zastosowań 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. Próbkowane powietrze jest wciągane przez płaską dyszę z filtrem z włókna szklanego.
- Cząstki Alfa/Beta mierzone są w czasie rzeczywistym za pomocą diody krzemowej (Si-diode CAM-PIPS) o powierzchni  $1700 \text{ mm}^2$ . Zarówno dla sygnałów Beta, jak i Alfa dostępna jest kompensacja wpływu produktów rozpadu radonu metodą pseudo koincydencji. Oddzielny próg wysokiej energii cząstek Alfa (nastawiany w zakresie od 6 do 10 MeV) może być używany do oddzielnej oceny zawartości toronu (produkt rozpadu Rn-220) w powietrzu, na podstawie rozpadu Po-212 (Ea 8,78 MeV), względnie do poprawiania metody ABPD z dyskryminacją energii Alfa, poprzez wybór progu dyskryminacji Alfa powyżej 6 MeV.
- Kasetka ze stali nierdzewnej o stopniu zabezpieczenia przed wodą IP68 oraz przednie drzwiczki z przezroczystego pleksiglasu otaczają części narażone na wilgoć. Z tylnej strony kasety zamontowany jest mechanizm napędowy i czujniki taśmy filtracyjnej. Mechanizm napędowy zapewnia przesuw filtra przy małym naprężeniu i czyni go mniej wrażliwym na zerwanie, nawet w przypadku wilgotnej taśmy filtracyjnej. 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  $45^\circ\text{C}$  i przeznaczony do wytwarzania przepływu próbki, wynoszącego  $8 \text{ m}^3/\text{godz.}$ , wyposażony w czujnik przepływu lub opcjonalnie w przepływomierz (o zasadzie pomiaru typu Vortex lub kalorymetrycznej).
- Elektronika oceny pomiaru oparta jest na rejestratorze LB 9000. Sercem rejestratora jest komputer PC z systemem operacyjnym Windows XP. Detektory i czujniki firmy Berthold łączą się z komputerem przez interfejsy, oparte na inteligentnych modułach peryferyjnych i komunikują się z panelem PC przy użyciu szyny danych CAN. W tej koncepcji elementy detektora Gamma komunikują się przy użyciu jednego z interfejsów USB komputera PC. Możliwości wielozadaniowości, właściwe systemowi Windows XP, pozwalają na jednoczesne uruchomienie 2 programów (LB9000 - GammaVision).

#### Kompensacja produktów rozpadu radonu

Aby móc wykrywać najniższe poziomy sztucznej radioaktywności w obecności naturalnego promieniowania (produkty rozpadu radonu lub toronu), które mogą wahać się od 1 do kilkuset  $\text{Bq}/\text{m}^3$ , 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 =  $K_b \cdot (B - aA)$ , 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 specjalistyczne 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 (500-1500 V; 0,3 mA),
  - 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 10 V).
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 (+5 V / 300 mA),
  - b. spektrometru TDSPI,
  - c. przedwzmacniacza sond SSU (+24 V / 15 mA) oraz gamma (+/-12 V),
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.**

Specjalistyczne 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 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 stosuje się wzorce w geometrii naczynia cylindrycznego o średnicy 40 mm stosowanego w pomiarach zawierające mieszaninę izotopów emitujących promieniowanie gamma – „mix gamma” przygotowane z wykorzystaniem roztworu wzorcowego BW/Z-63/19p1/20 wyprodukowanego przez Ośrodek Produkcji i Dystrybucji Izotopów w Świerku. Kalibrację przeprowadza się, wykorzystując wzorce o różnych wysokościach: 1, 3, 5, 7, 10, 15 mm, co umożliwia wybór odpowiedniej kalibracji dla próbek o różnej grubości warstwy popiołu. Dla uzyskania gęstości próbek opadu całkowitego w granicach 0,9 – 1,2 g cm<sup>-3</sup>, zbliżonej do gęstości wzorców, próbki są prasowane specjalnym przyrządem, który jednocześnie pozwala wyznaczyć grubość warstwy popiołu.

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

Kod wzorca			BW/Z-63/19p1/20					
Data referencyjna			1.12.2020					
Grubość warstwy			1mm	3mm	5mm	7mm	10mm	15mm
Izotop	Okres półrozpadu	Energia [MeV]	Aktywność na 1.01.2021 [Bq]					
<sup>241</sup> Am	432,6 ± 0,6 lat	0,026 0,060	50,96 ± 0,61	154,48 ± 1,85	251,73 ± 3,02	251,96 ± 3,02	246,92 ± 2,96	251,11 ± 3,01
<sup>109</sup> Cd	461,4 ± 1,2 dni	0,088	181,94 ± 3,89	551,56 ± 11,8	898,75 ± 19,22	899,59 ± 19,24	881,6 ± 18,86	896,56 ± 19,18
<sup>57</sup> Co	271,80 ± 0,05 dni	0,014	6,78 ± 0,06	20,56 ± 0,17	33,5 ± 0,28	33,53 ± 0,28	32,86 ± 0,27	33,42 ± 0,28
		0,122 0,136						
<sup>113</sup> Sn	115,09 ± 0,03 dni	0,255 0,392	96,7 ± 1,41	293,15 ± 4,27	477,68 ± 6,96	478,12 ± 6,96	468,56 ± 6,82	476,51 ± 6,94
<sup>85</sup> Sr	64,850 ± 0,007 dni	0,514	29,09 ± 0,59	88,2 ± 1,79	143,72 ± 2,92	143,85 ± 2,93	140,98 ± 2,87	143,37 ± 2,92
<sup>137</sup> Cs	30,05 ± 0,08 lat	0,662	15,59 ± 0,22	47,26 ± 0,67	77,01 ± 1,08	77,08 ± 1,09	75,54 ± 1,06	76,82 ± 1,08
<sup>54</sup> Mn	312,13 ± 0,03 dni	0,835	39,98 ± 0,61	121,2 ± 1,85	197,5 ± 3,02	197,68 ± 3,02	193,73 ± 2,96	197,01 ± 3,01
<sup>65</sup> Zn	244,01 ± 0,09 dni	1,116	48,05 ± 0,76	145,67 ± 2,31	237,37 ± 3,76	237,59 ± 3,76	232,84 ± 3,69	236,79 ± 3,75
		1,173 1,332						
<sup>60</sup> Co	5,2710 ± 0,0008 lat	1,173 1,332	89,7 ± 1,12	271,93 ± 3,4	443,11 ± 5,53	443,52 ± 5,54	434,65 ± 5,43	442,02 ± 5,52

Wydajność dla poszczególnych linii energetycznych opisana jest równaniem:

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

gdzie:

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

N – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła

t – czas pomiaru w sekundach

y – wydajność kwantowa

$A_w$  – aktywność wzorca (izotopu) na datę referencyjną

$K_w$  – współczynnik korekcji rozpadu

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

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

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

Przygotowanie próbki do pomiarów spektrometrycznych obejmuje homogenizację próbki zbiorczej uzyskanej przez połączenie próbek opadu miesięcznego z 9 stacji, umieszczenie jej w cylindrycznych pojemnikach o średnicy 40 mm i zagęszczenie do uzyskania żądanej gęstości. Masa popiołu pojedynczych próbek, jak i zbiorczej, jest wyznaczana z dokładnością do 0,05 mg. Czas pomiaru próbki, jak i pomiaru tła, przeprowadzanych po każdym pomiarze próbki, wynosi 160 000 s.

Aktywność danego izotopu w próbce w chwili pomiaru określa równanie:

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

gdzie:

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

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

y – wydajność kwantowa

t - czas pomiaru w sekundach.

Przy pomiarach małych aktywności ważne jest, aby dana ilość zliczanych impulsów mogła być zaobserwowana przy zachowaniu określonego poziomu ufności, jako pik wyodrębniony z widma tła naturalnego danego detektora. W pomiarach realizowanych metodą spektrometrii gamma i przy wykorzystaniu oprogramowania GENIE 2000, za granicę oznaczalności definiowaną jako najmniejsza ilość lub najmniejsze stężenie substancji możliwe do ilościowego oznaczenia daną metodą analityczną z założoną dokładnością i precyzją przyjmuje się minimalną mierzalną aktywność (MDA – ang. *Minimum Detectable Activity*) wyznaczoną metodą Curie. Metoda ta bazuje na dwóch podstawowych parametrach: (i) poziomie krytycznym ( $L_C$  – ang. *critical level*), który jest definiowany jako poziom, poniżej którego całkowity sygnał nie może być wiarygodnie zidentyfikowany i (ii) limicie detekcji ( $L_D$  ang. – *detection limit*) określającym najmniejszy sygnał, który może być w sposób wiarygodny określony ilościowo. Minimalna mierzalna aktywność (MDA) obliczana jest na podstawie limitu detekcji  $L_D$ .

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

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

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

gdzie:

$L_D$  – limit detekcji w impulsach.

$\sigma$  - odchylenie standardowe tła w badanym pikie.

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

Aktywność właściwą poszczególnych radionuklidów wyznaczano na podstawie zależności:

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

gdzie:

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

$\lambda_i$  – stała rozpadu,

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

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

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

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

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

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

#### ETAP I – Chemiczne oczyszczanie próbki

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

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

##### 2. Wytrącanie szczawianów.

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

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

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

### 3. Spopielanie osadu.

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

### 4. Rozpuszczanie popiołu.

Osad w tyglu zwilża się wodą destylowaną, dodaje kilka mililitrów HNO<sub>3</sub> (1:1) aż do całkowitego rozpuszczenia osadu. Roztwór z tygla przenosi się ilościowo do zlewki i uzupełnia wodą destylowaną do uzyskania objętości ok. 70 ml.

### 5. Wytrącanie chromianu baru.

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

### 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 dodaje się amoniak do uzyskania pH 8 i wytrącenia osadu wodorotlenku itru, który oddziela się przez sączenie. Pozostały po przesączeniu roztwór zlewa się do butelki polietylenowej, dodaje do niego HNO<sub>3</sub> (1:1) do uzyskania pH 2-3 i 1 ml nośnika itru. Tak przygotowaną próbę pozostawia się na 18 dni.

## ETAP II – Preparatyka próbki po osiągnięciu równowagi <sup>90</sup>Sr z <sup>90</sup>Y w roztworze po 18 dniach

### 7. Wytrącanie wodorotlenku itru.

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

### 8. Wytrącanie szczawianów itru.

Osad wodorotlenku itru rozpuszcza się w kilku mililitrach HNO<sub>3</sub> (1:1). Następnie dodaje się 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  $^{90}\text{Y}$  równoważnej aktywności  $^{90}\text{Sr}$  powinien być wykonany nie później niż 2 godziny od chwili oddzielenia  $\text{Y}(\text{OH})_3$  od reszty roztworu. Jeżeli pomiar zostanie przeprowadzony później, należy uwzględnić rozpad promieniotwórczy  $^{90}\text{Y}$ .

Pomiary aktywności prowadzone są z zastosowaniem niskotłowego licznika przepływowego 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  $^{90}\text{Y}$  o znanej aktywności i geometrii identycznej z geometrią próbek.

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

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

gdzie:

A – aktywność [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ]

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

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

S – powierzchnia zbierająca [ $\text{m}^2$ ]

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  $^{90}\text{Y}$ :

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

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:

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

$\sigma$  – błąd pomiaru [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ],  $t_p$  – czas pomiaru próbki [min],  $t_{pt}$  – czas pomiaru tła [min]

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



### 3. Wyniki i omówienie wyników z 2021 roku oraz w odniesieniu do okresu 2000-2020

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

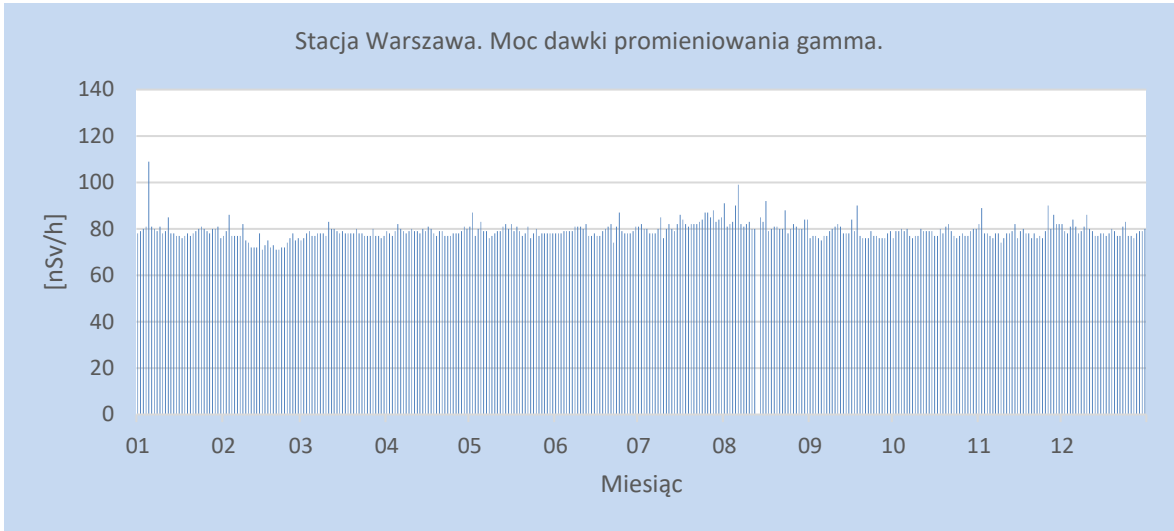
Moc dawki promieniowania gamma definiujemy jako ilość energii promieniowania jonizującego przekazaną jednostce masy w jednostce czasu. Jednostką dawki skutecznej w układzie SI jest siwert [Sv].

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

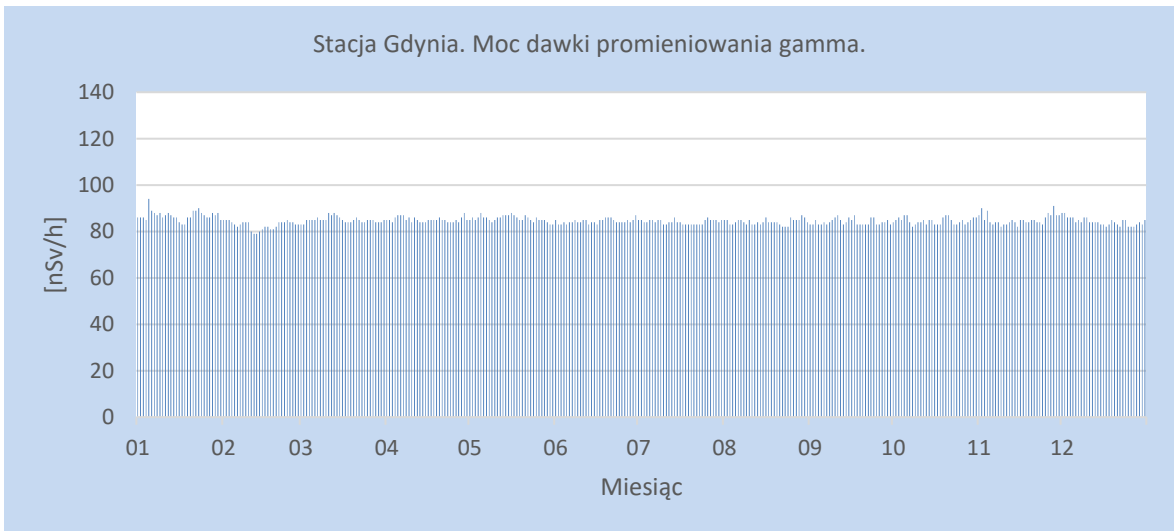
W 2021 roku wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były w reżimie dobowym na 9 stacjach IMGW-PIB: Warszawa, Gdynia, Mikołajki, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Legnica, Włodawa, Zakopane, Lesko. Pomiary były prowadzone z wykorzystaniem sondy TDSG, poza stacją w Gorzowie Wielkopolskim, gdzie z powodu awarii sondy TDSG, od stycznia do lipca pomiary były prowadzone zapasową sondą FHZ621GL. Otrzymane wartości zmieniały się w szerokim zakresie (Rys. 2-10). Analizując dane z sondy TDSG, najniższą średnią miesięczną wartość 71,9 nSv/h uzyskano w lutym na stacji Włodawa, maksymalną wartość zarejestrowano w sierpniu w Zakopanem – 117,7 nSv/h (Tabela 1). Uwzględniając zapasową sondę FHZ621GL, najniższą średnią miesięczną wartość mocy dawki zarejestrowano w lipcu na stacji w Gorzowie Wlkp. – 65,6 nSv/h. Najniższa średnia roczna moc dawki promieniowania gamma uzyskana z wartości dobowych – 77,1 nSv/h charakteryzowała stację w Świnoujściu, Włodawie (78,8 nSy/h) oraz Warszawie (79,3 nSy/h). Zbliżone wyniki odnotowano odpowiednio na stacjach: Gorzów Wielkopolski, Gdynia, Legnica, Mikołajki (między 80 a 100 nSy/h) oraz Lesko, Zakopane (>100 nSy/h). Najwyższe wartości mocy dawki odnotowane w Zakopanem mają jednoznacznie związek z faktem, że promieniowanie w rejonach górskich jest największe. Na stacjach zlokalizowanych w miejscowościach położonych znacznie niżej względem poziomu morza: Warszawa, Gdynia, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Włodawa średnia roczna moc dawki promieniowania gamma była niższa niż uzyskana dla średniej z całej Polski. W Legnicy, Mikołajkach, Lesku i Zakopanem wartość przekroczyła średnią roczną wyliczoną ze wszystkich stacji równą 90,1 nSy/h (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 2021 roku [nSv/h]

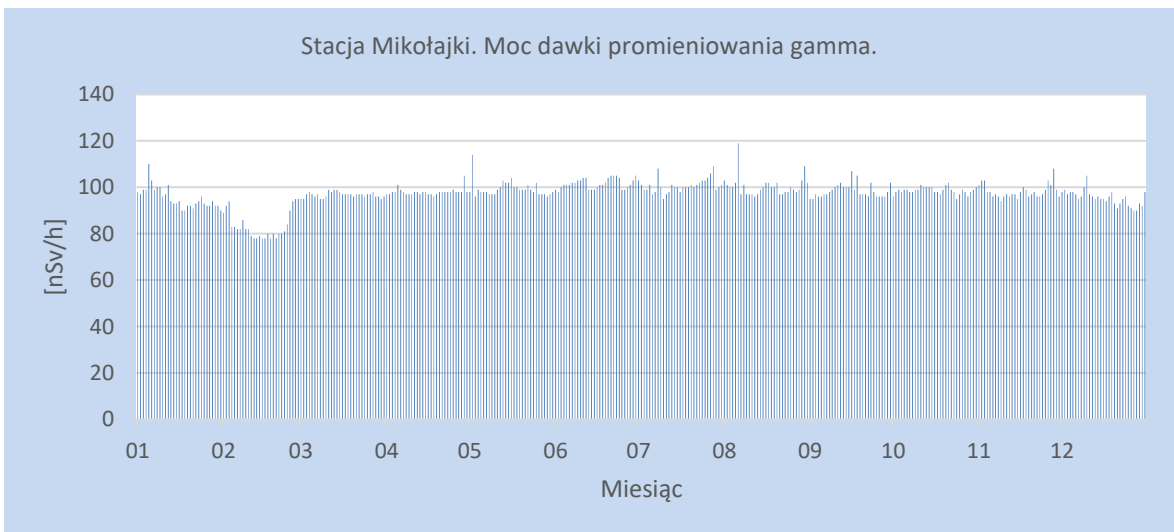
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	80,0	86,9	95,4	68,9	79,4	94,6	78,6	103,8	103,2	87,9
Luty	75,1	82,8	83,6	69,1	75,3	89,7	71,9	90,3	91,3	81,0
Marzec	78,0	85,0	96,8	67,2	76,7	93,1	77,6	93,7	105,2	85,9
Kwiecień	78,8	85,2	98,0	67,8	77,1	93,5	78,7	111,2	105,7	88,4
Maj	79,2	85,6	99,4	70,1	77,8	93,5	79,5	114,7	108,3	89,8
Czerwiec	79,3	84,4	101,6	68,0	76,8	99,4	79,9	116,5	110,9	90,8
Lipiec	82,1	84,2	100,8	65,6	76,2	99,6	80,2	116,9	111,9	90,8
Sierpień	83,1	84,1	100,4	99,4	77,1	100,7	80,9	117,7	111,5	95,0
Wrzesień	81,2	91,3	97,8	86,4	87,8	89,5	97,6	112,1	108,5	94,7
Październik	78,4	84,6	98,6	98,1	76,9	97,3	78,8	113,7	108,1	92,7
Listopad	79,2	85,1	98,2	98,4	78,0	97,6	80,8	114,6	110,1	93,6
Grudzień	79,2	84,2	95,5	96,5	77,7	94,9	78,5	100,9	103,7	90,1
Minimalna średnia dawka miesięczna	75,1	82,8	83,6	65,6	75,3	89,5	71,9	90,3	91,3	80,6
Maksymalna średnia dawka miesięczna	83,1	91,3	101,6	99,4	87,8	100,7	97,6	117,7	111,9	99,0
Średnia roczna	79,3	84,7	97,3	80,8	77,1	96,1	78,8	109,2	106,6	90,1



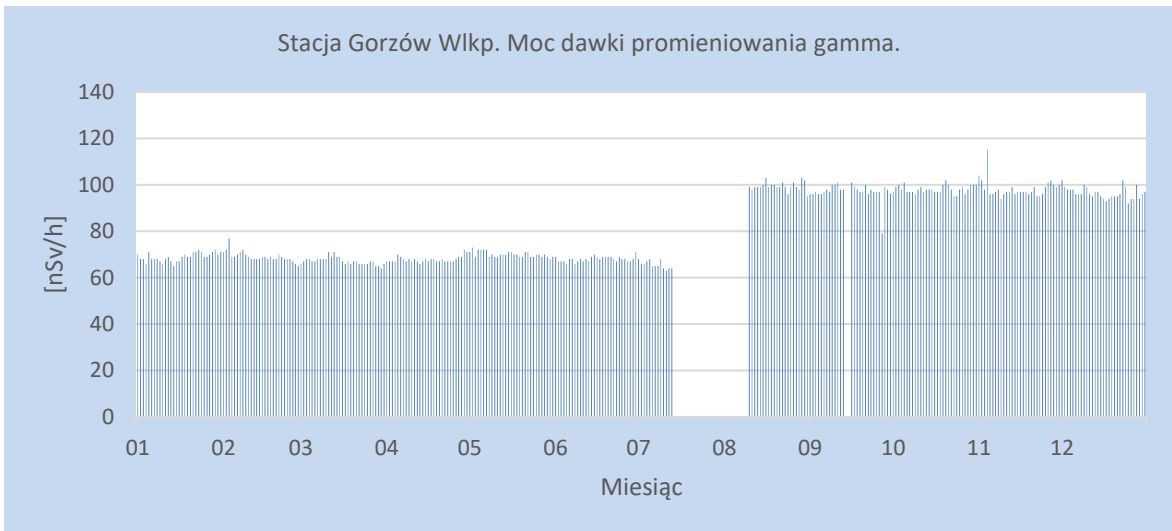
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2021 roku



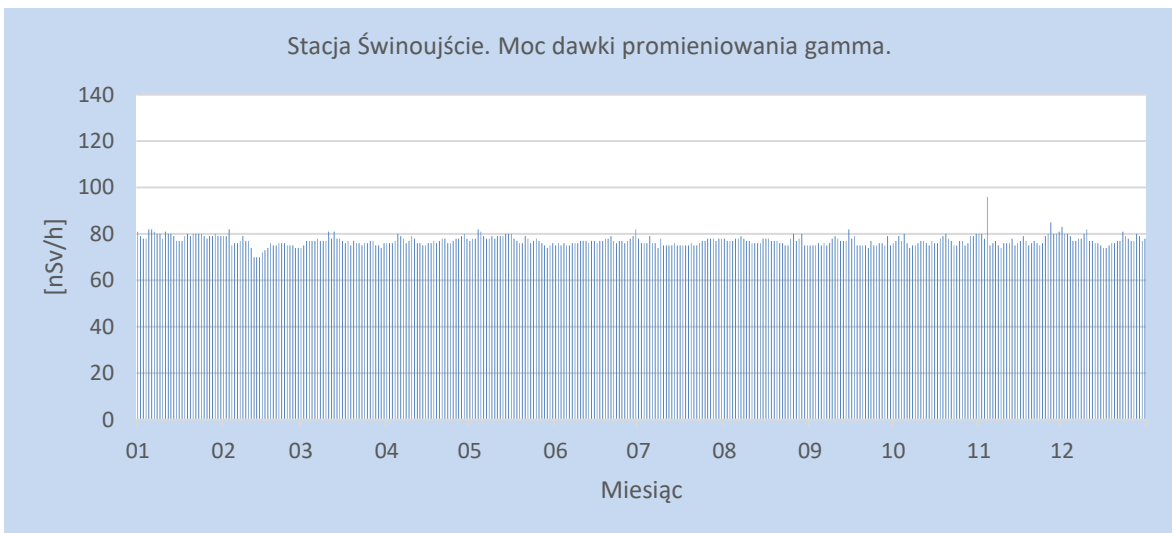
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2021 roku



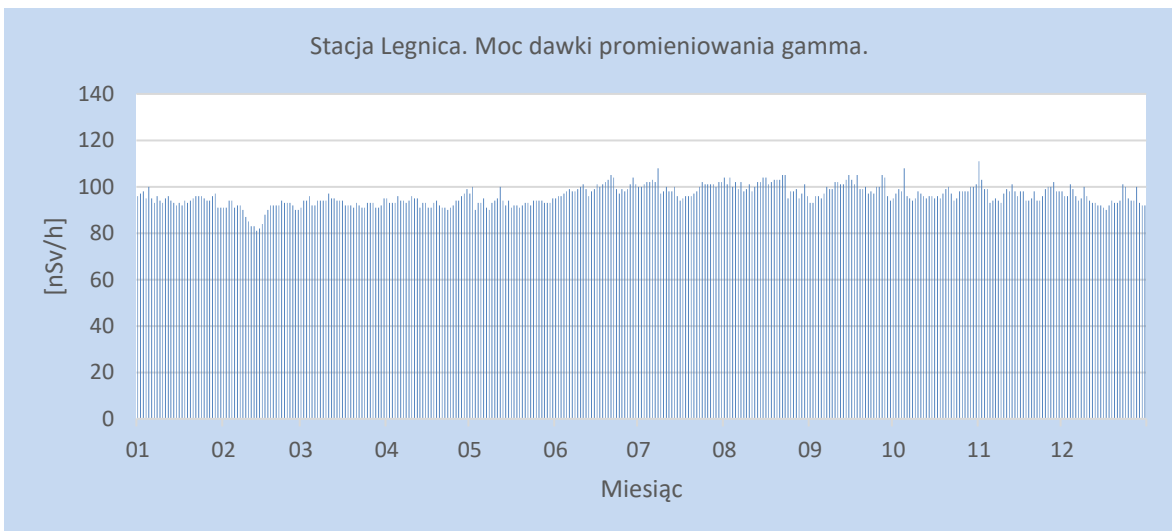
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2021 roku



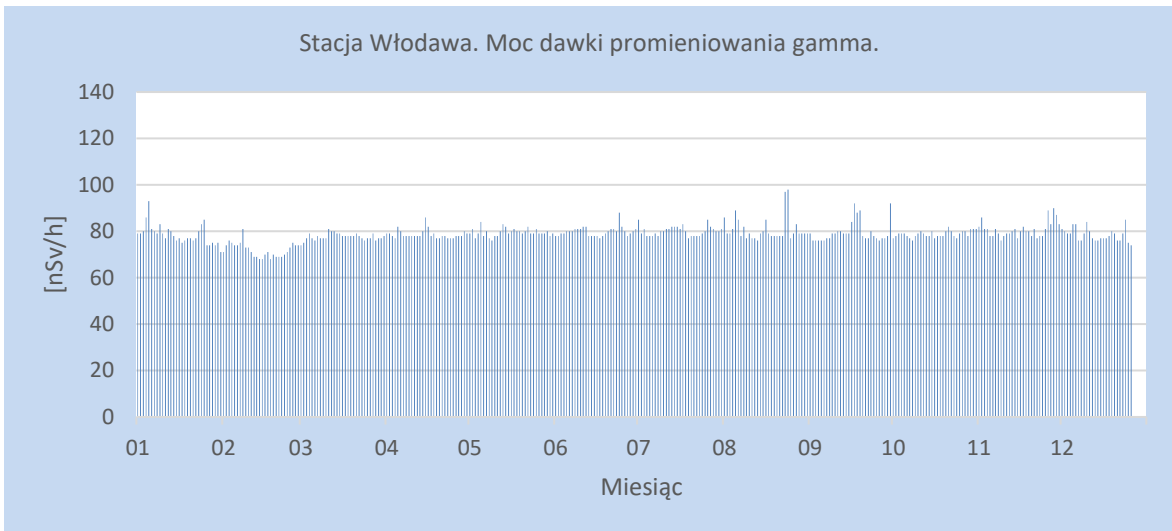
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2021 roku



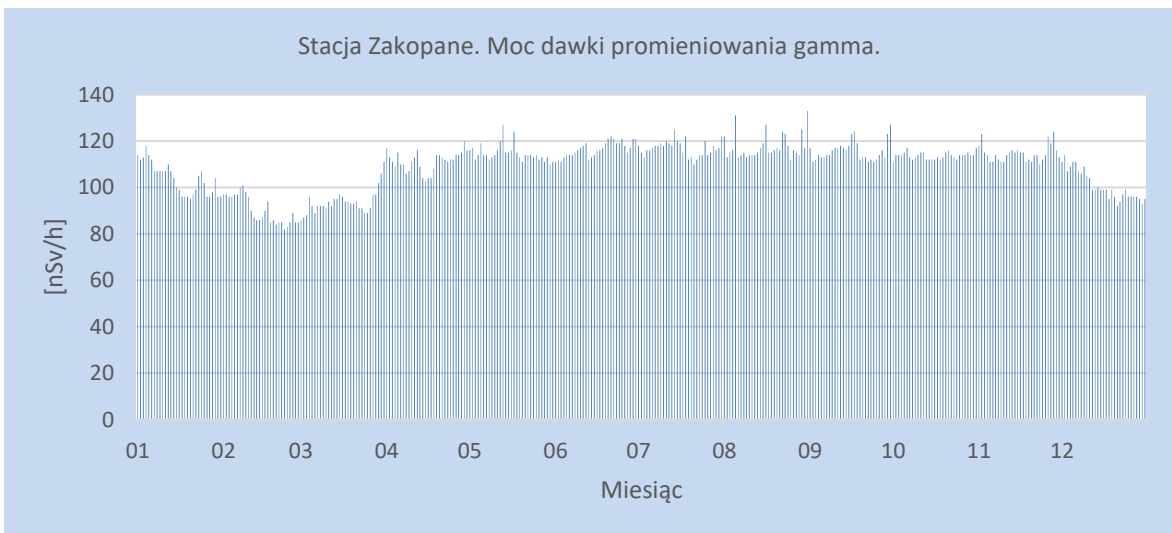
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2021 roku



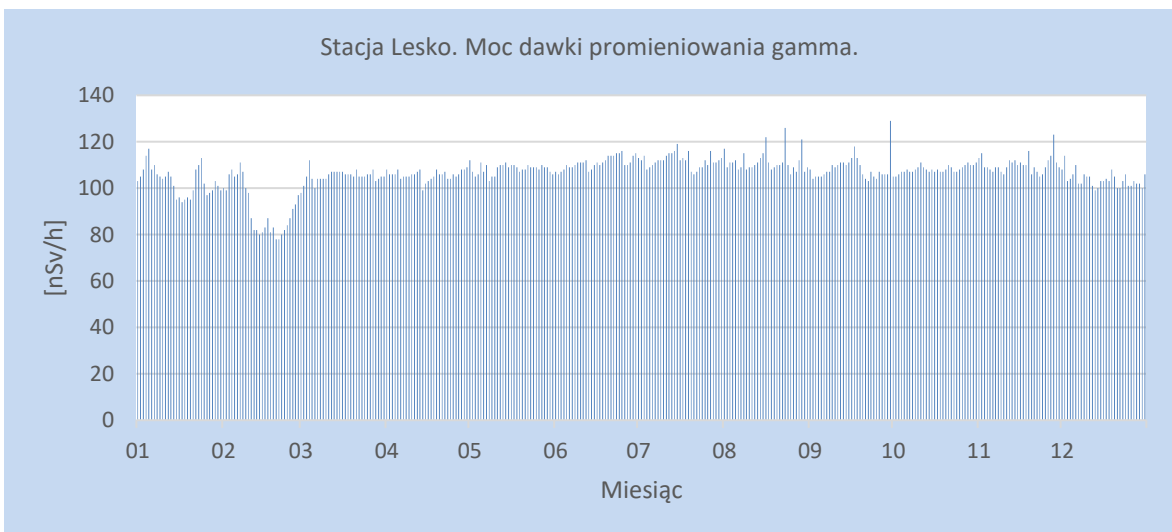
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2021 roku



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2021 roku



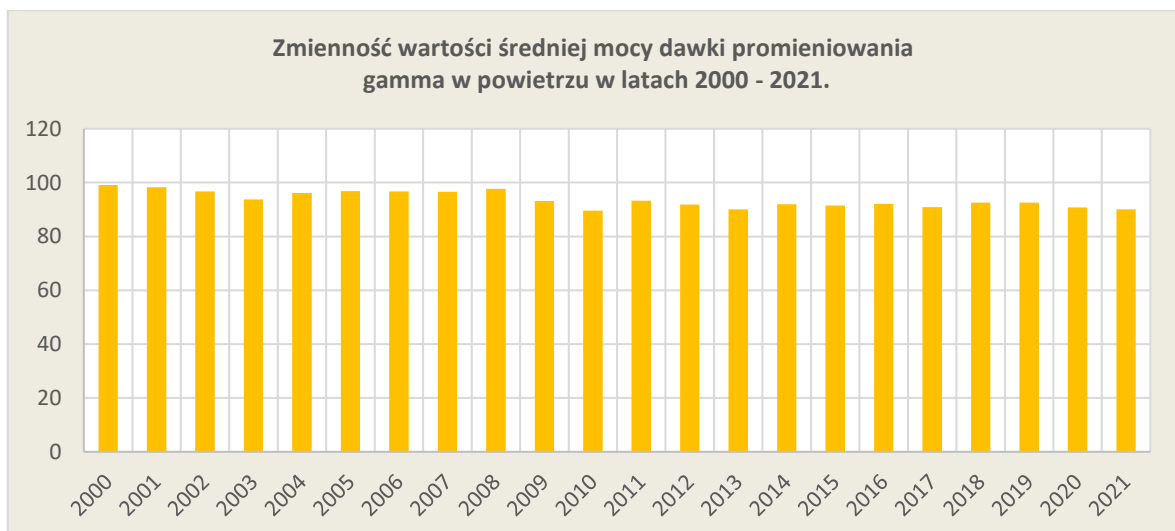
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2021 roku

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 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 2021 roku wyniosła 90,1 nSy/h i jest niższa od obserwowanej w roku poprzednim o 0,7 nSy/h (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 – 2021 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 nSy/h w 2010 roku do 99,1 nSy/h w 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła 93,7 nSy/h.

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2021 [nSy/h]

Rok	Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma	Rok	Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma
2000	99,1	2011	93,3
2001	98,3	2012	91,8
2002	96,7	2013	90,1
2003	93,8	2014	92,0
2004	96,1	2015	91,5
2005	96,8	2016	92,1
2006	96,7	2017	90,9
2007	96,6	2018	92,5
2008	97,7	2019	92,6
2009	93,1	2020	90,8
2010	89,6	<b>2021</b>	<b>90,1</b>
		<b>Średnia</b>	<b>93,7</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>89,6</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>99,1</b>



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2021

## 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu

Pochodzenie promieniotwórczości naturalnej jest związane z oddziaływaniem promieniowania kosmicznego 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 wysokości, która powoduje wzrost mocy dawki pochodzącej od promieniowania kosmicznego 2 razy co każde 1,8 kilometra.

Stężenie izotopów promieniotwórczych w atmosferze zależy również od warunków meteorologicznych.

W 2021 roku na 7 stacjach badawczych zostały wykonane pomiary poziomu radioaktywności w próbkach aerozoli związane z obecnością izotopów emitujących promieniowanie alfa, pochodzenia naturalnego i sztucznego, oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta.

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

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

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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych w 2021 roku zmieniały się w szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością 1,3 Bq/m<sup>3</sup> charakteryzowały się aerozole zebrane w kwietniu w Świnoujściu. W pozostałych lokalizacjach wartości mieściły się w przedziale od 4,0 Bq/m<sup>3</sup> (Włodawa) do 6,2 Bq/m<sup>3</sup> (Gorzów Wielkopolski). Maksymalne średnie miesięczne stężenia izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa mieszczą się w zakresie: od najniższego zarejestrowanego we wrześniu na stacji Świnoujście (7,0 Bq/m<sup>3</sup>) do najwyższego równego 23,9 Bq/m<sup>3</sup> przypadającego na lipiec w Gorzowie Wielkopolskim.

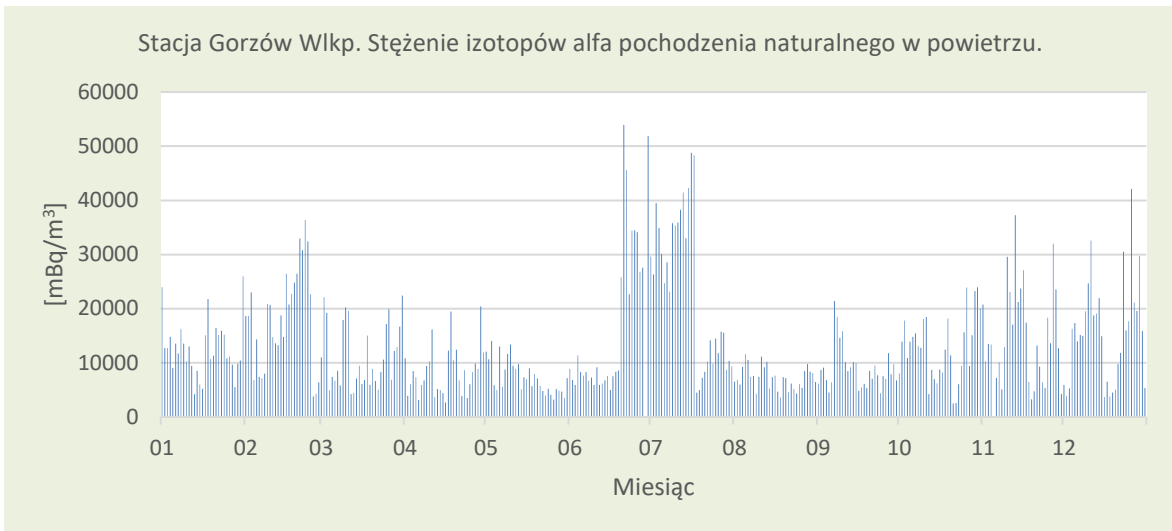
Analizując miesięczne wartości średnie obliczone na podstawie danych z 7 stacji stwierdzono, że najwyższe wartości notowane były w okresie jesienno-zimowym: październik (10,2 Bq/m<sup>3</sup>), listopad (10,7 Bq/m<sup>3</sup>), grudzień (9,9 Bq/m<sup>3</sup>), styczeń (9,2 Bq/m<sup>3</sup>) i luty (9,5 Bq/m<sup>3</sup>). Najniższe zanotowano w kwietniu (5,2 Bq/m<sup>3</sup>) i maju (4,4 Bq/m<sup>3</sup>).

Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w 2021 [Bq/m<sup>3</sup>]

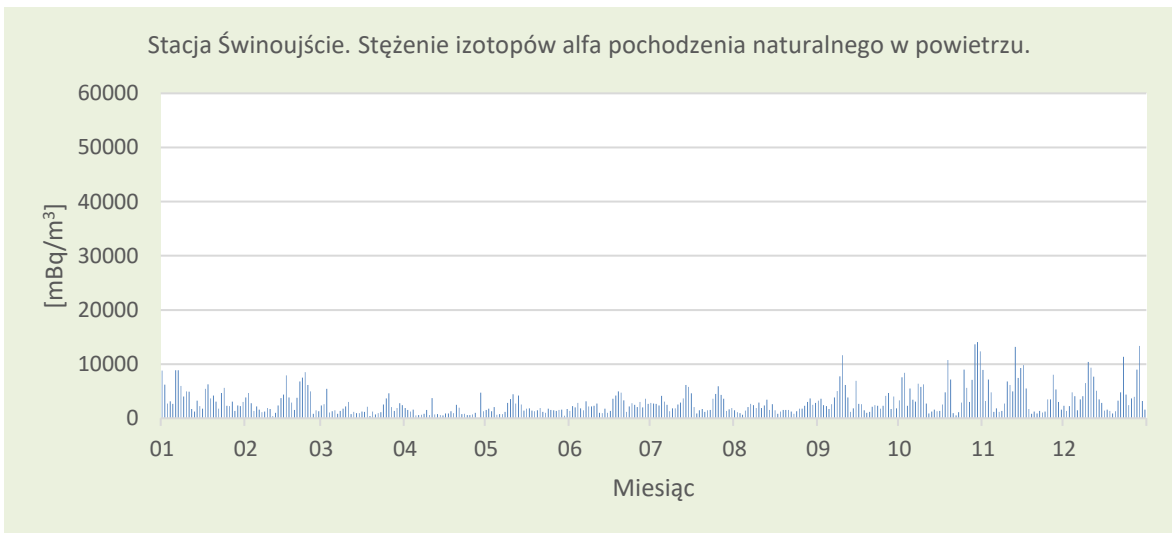
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	13,1	12,6	4,0	8,7	9,5	10,1	6,5	9,2
Luty	11,2	18,3	3,3	10,7	6,8	10,0	6,5	9,5
Marzec	6,3	11,3	1,9	9,0	4,0	6,5	5,1	6,3
Kwiecień	6,0	8,4	1,3	5,5	4,0	5,7	5,3	5,2
Maj	4,2	7,4	1,8	4,2	4,1	4,4	4,5	4,4
Czerwiec	6,9	17,2	2,4	11,6	6,1	7,8	8,0	8,6
Lipiec	9,2	23,9	2,8	9,5	7,1	10,6	10,3	10,5
Sierpień	8,1	7,2	1,9	8,0	5,4	8,0	8,8	6,8
Wrzesień	9,2	6,2	7,0	8,7	8,6	9,9	9,4	8,4
Październik	10,9	12,7	5,0	11,5	8,6	11,3	11,7	10,2
Listopad	8,6	15,3	4,3	11,5	10,4	13,1	12,0	10,7
Grudzień	9,7	15,7	4,4	9,0	7,6	11,7	11,3	9,9
Min. średnia miesięczna	4,2	6,2	1,3	4,2	4,0	4,4	4,5	4,1
Maks. średnia miesięczna	13,1	23,9	7,0	11,6	10,4	13,1	12,0	13,0
Średnia roczna z danych dobowych	8,6	13,2	3,0	9,1	6,7	9,1	8,3	8,3



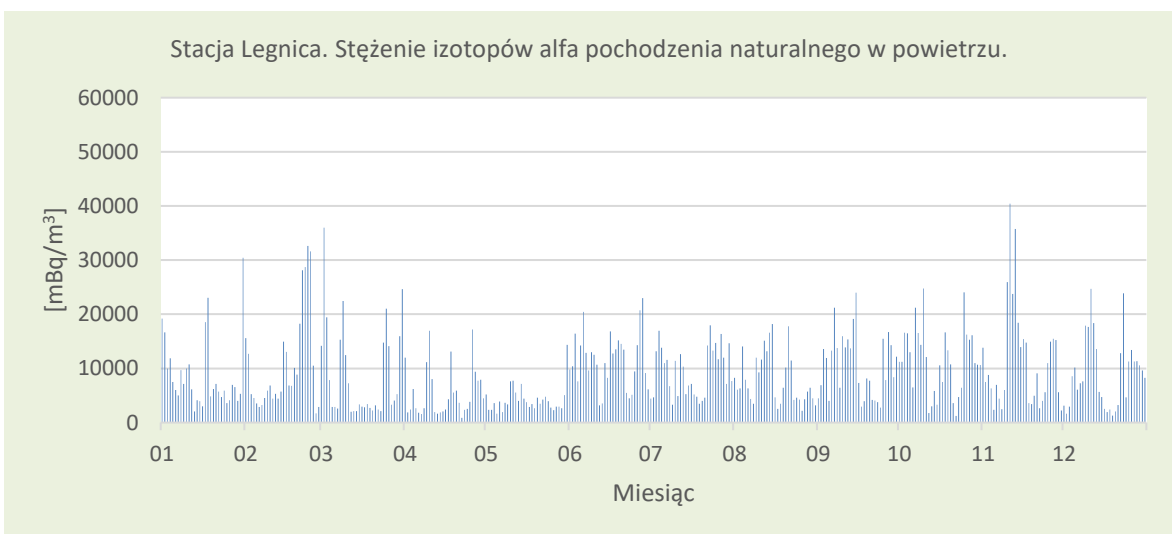
Rys.12. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2021 roku



Rys.13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2021 roku

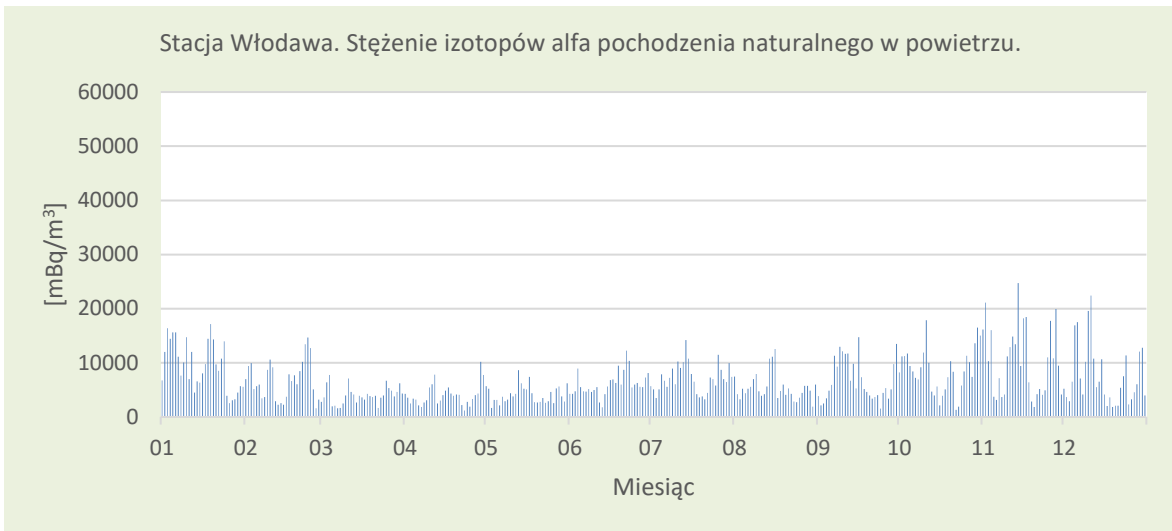


Rys.14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2021 roku

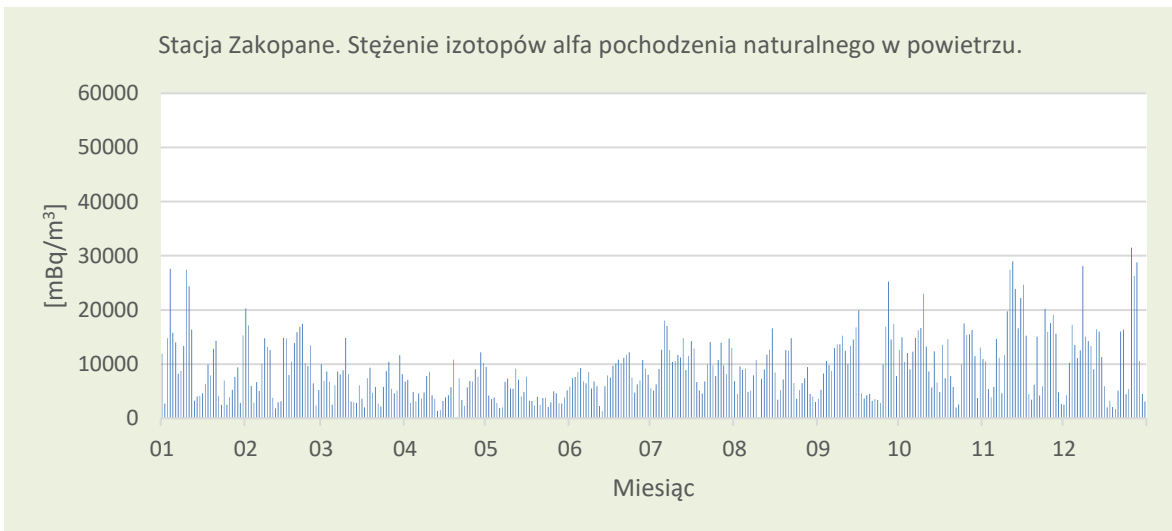


Rys.15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Legnica w 2021 roku

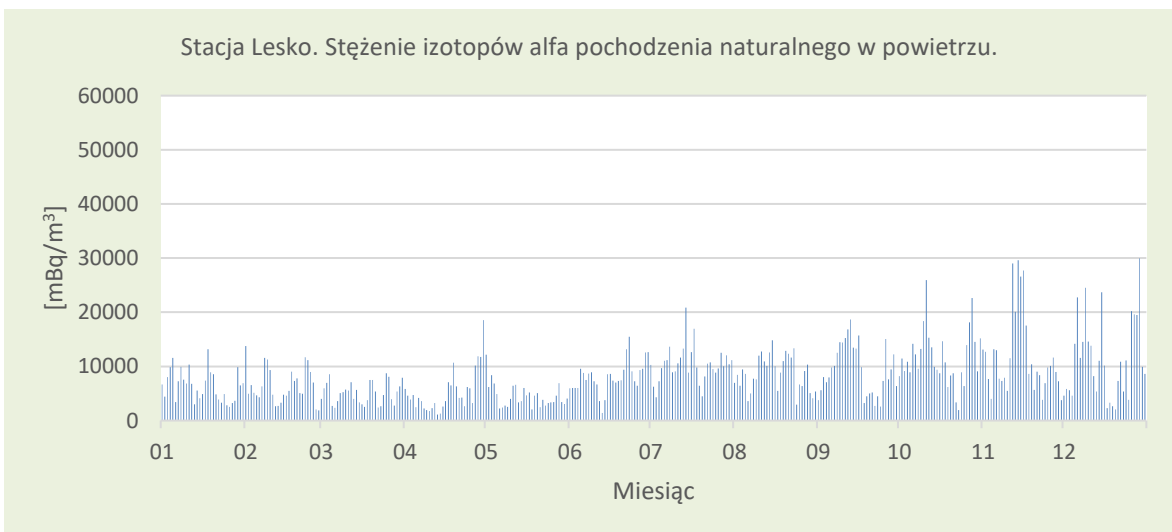




Rys.16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Zakopane w 2021 roku



Rys.18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolu na stacji Lesko w 2021 roku

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W roku 2021 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było niższe niż w roku ubiegłym i wynosiło 8,3 Bq/m<sup>3</sup> (Tabela 4). Zbliżone wartości otrzymano również w latach: 2008 i 2009. W całym okresie prowadzenia pomiarów nie obserwuje się jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie (4,9 Bq/m<sup>3</sup>) charakteryzowało rok 2001, najwyższe natomiast (8,6 Bq/m<sup>3</sup>) wystąpiło w 2008 roku. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2021 wynosi 7,2 Bq/m<sup>3</sup>. 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 – 2021 [Bq/m<sup>3</sup>]

Rok	Średnie roczne stężenie	Rok	Średnie roczne stężenie
2000	5,6	2011	7,4
2001	4,9	2012	6,0
2002	6,3	2013	5,4
2003	7,8	2014	7,4
2004	7,1	2015	7,2
2005	7,4	2016	7,7
2006	8,0	2017	6,4
2007	7,5	2018	7,9
2008	8,6	2019	7,5
2009	8,2	2020	8,4
2010	7,0	<b>2021</b>	<b>8,3</b>
		<b>Średnia</b>	<b>7,2</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>8,6</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>4,9</b>

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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

Stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie alfa pochodzenia antropogenicznego w 2021 roku zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od 0 do 0,252 Bq/m<sup>3</sup>. Minimalne średnie miesięczne wartości mieściły się w przedziale od 0 Bq/m<sup>3</sup> w styczniu w Mikołajkach i Włodawie do 0,042 Bq/m<sup>3</sup> wartości zarejestrowanej w lutym w Legnicy. Maksymalne średnie wartości mieściły się w przedziale od 0,035 Bq/m<sup>3</sup> w maju w Lesku do 0,252 Bq/m<sup>3</sup> w sierpniu w Legnicy (Tabela 5, Rys. 19-25).

Średnia obliczona dla kolejnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji zmieniała się w szerokim zakresie od 0,025 Bq/m<sup>3</sup> (luty) do 0,114 Bq/m<sup>3</sup> – wartości wyznaczonej z danych we wrześniu. Średnia roczna dobową, czyli średnia ze wszystkich dni pomiarowych obliczona dla wszystkich stacji, utrzymuje się na poziomie 0,062 Bq/m<sup>3</sup>. Biorąc pod uwagę tą wartość i wartość analogiczną wyznaczoną dla promieniowania alfa o podłożu naturalnym, należy stwierdzić, że udział promieniowania pochodzenia antropogenicznego jest bardzo niewielki i wynosi zaledwie 0,75% promieniowania pochodzenia naturalnego.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolach w 2021 roku [Bq/m<sup>3</sup>]

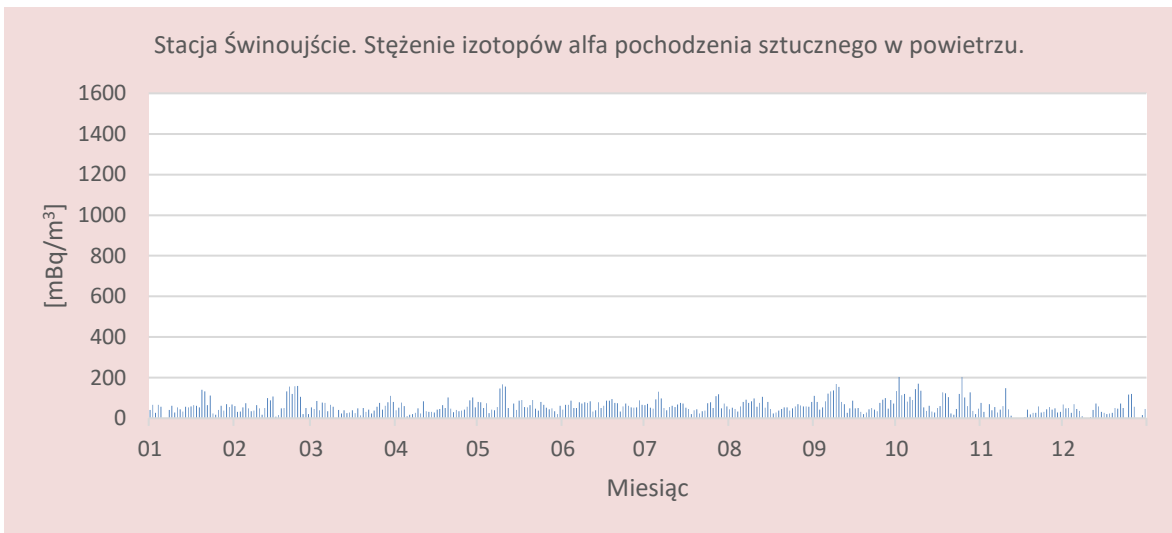
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,023	0,054	0,134	0,000	0,028	0,004	0,035
Luty	0,003	0,020	0,068	0,042	0,011	0,029	0,003	0,025
Marzec	0,003	0,039	0,049	0,058	0,011	0,047	0,003	0,030
Kwiecień	0,012	0,086	0,047	0,081	0,023	0,064	0,021	0,048
Maj	0,011	0,103	0,065	0,141	0,050	0,116	0,035	0,074
Czerwiec	0,024	0,050	0,066	0,093	0,033	0,059	0,004	0,047
Lipiec	0,037	0,026	0,063	0,212	0,014	0,071	0,001	0,061
Sierpień	0,086	0,160	0,060	0,252	0,024	0,147	0,011	0,106
Wrzesień	0,222	0,196	0,150	0,121	0,048	0,046	0,012	0,114
Październik	0,093	0,121	0,090	0,244	0,008	0,057	0,008	0,089
Listopad	0,007	0,073	0,037	0,164	0,002	0,041	0,005	0,047
Grudzień	0,020	0,063	0,040	0,203	0,007	0,048	0,007	0,055
Min. średnia miesięczna	0,000	0,020	0,037	0,042	0,000	0,028	0,001	0,018
Maks. średnia miesięczna	0,222	0,196	0,150	0,252	0,050	0,147	0,035	0,150
Średnia roczna z wartości dobowych	0,035	0,090	0,059	0,155	0,017	0,066	0,010	0,062



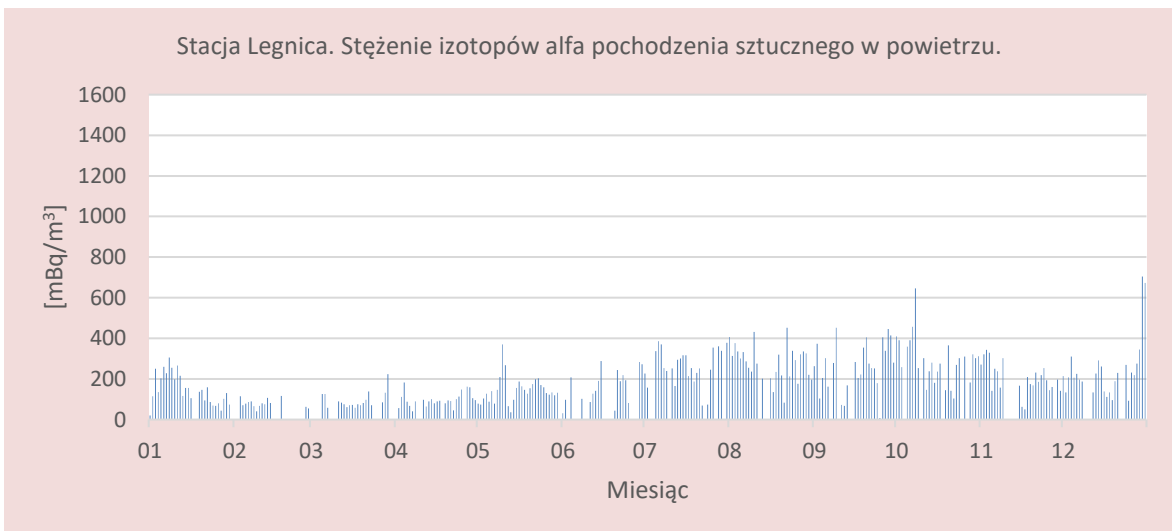
Rys.19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2021 roku



Rys.20. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2021 roku



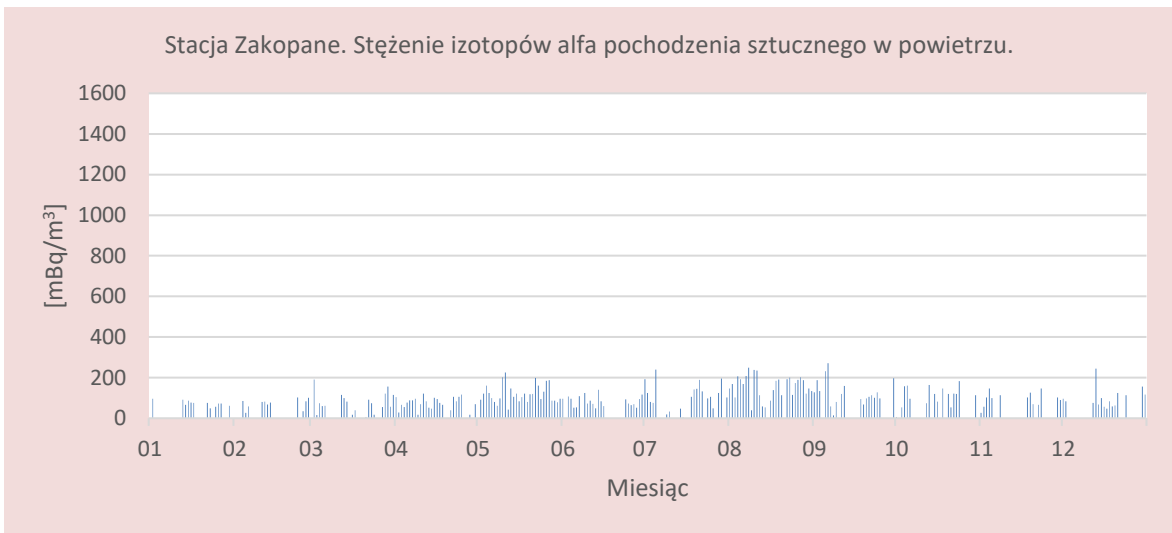
Rys.21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2021 roku



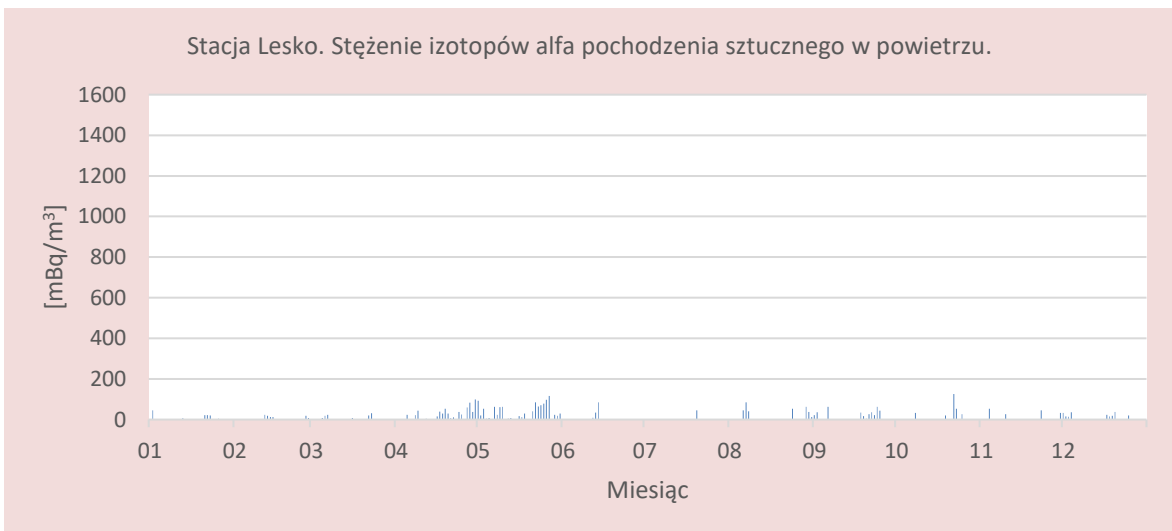
Rys.22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2021 roku



Rys.23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys.24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2021 roku



Rys.25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2021 roku

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2021 roku wyniosło  $0,062 \text{ Bq/m}^3$  i było około 26% niższe niż w roku poprzednim. W badanym okresie najwyższe średnie roczne stężenie  $0,086 \text{ Bq/m}^3$  przypada na rok 2019, najniższe  $0,004 \text{ Bq/m}^3$  uzyskano w 2001 roku. Średnie stężenie wyznaczone dla okresu 2000 – 2021 wynosi  $0,039 \text{ Bq/m}^3$  (Tabela 6).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa pochodzenia sztucznego w latach 2000 – 2021 [ $\text{Bq/m}^3$ ]

Rok	Średnie roczne stężenie	Rok	Średnie roczne stężenie
2000	0,023	2011	0,039
2001	0,004	2012	0,029
2002	0,005	2013	0,033
2003	0,015	2014	0,030
2004	0,016	2015	0,074
2005	0,019	2016	0,065
2006	0,029	2017	0,055
2007	0,025	2018	0,044
2008	0,034	2019	0,086
2009	0,040	2020	0,084
2010	0,039	<b>2021</b>	<b>0,062</b>
		<b>Średnia</b>	<b>0,039</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>0,086</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>0,004</b>

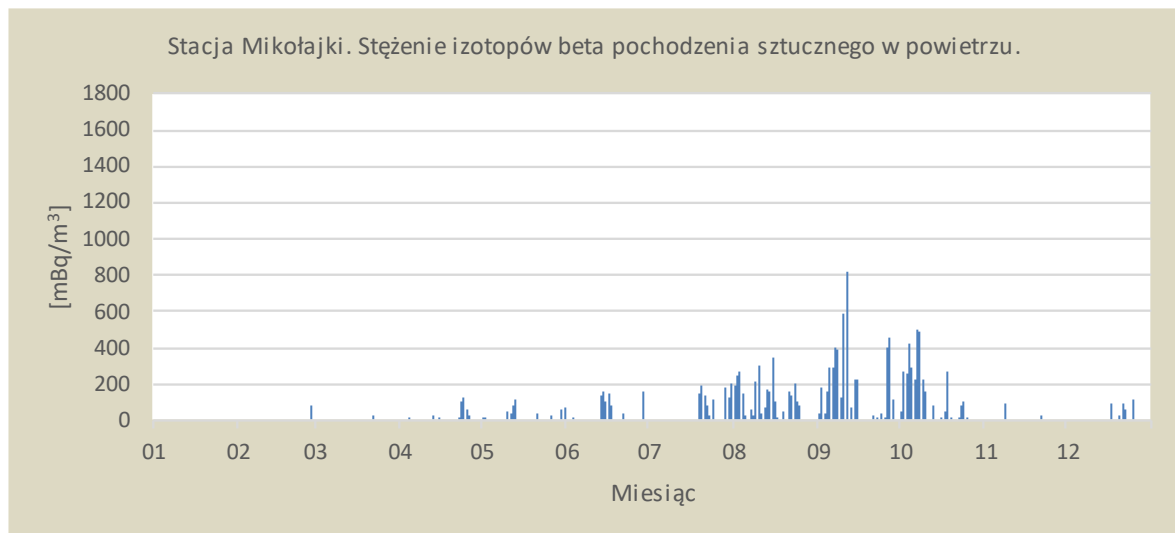
### 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

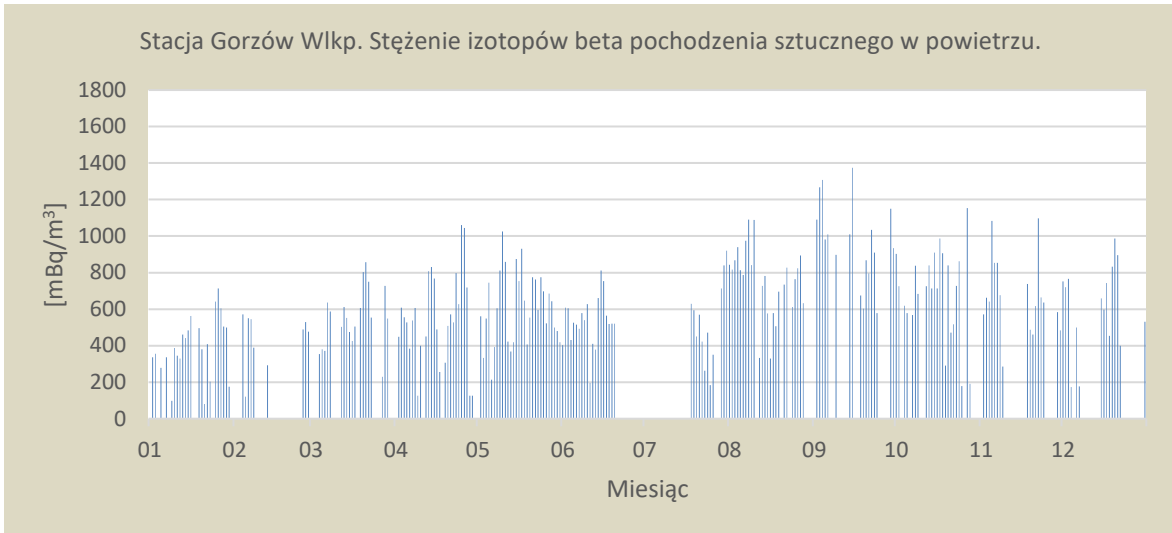
Podobnie jak w przypadku izotopów antropogenicznych emitujących promieniowanie alfa, w styczniu na stacji Mikołajki zaobserwowano zerowe stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta. W pozostałych lokalizacjach średnie minimalne stężenia mieściły się w przedziale od  $0,015 \text{ Bq/m}^3$ , wartości charakterystycznej dla stacji Włodawa, do  $0,249 \text{ Bq/m}^3$  w Świnoujściu (Tabela 7, Rys. 26-32). Analogicznie najniższą ( $0,263 \text{ Bq/m}^3$ ) oraz najwyższą ( $0,767 \text{ Bq/m}^3$ ) maksymalną średnią miesięczną wartość uzyskano kolejno na stacjach Lesko i Legnica. Biorąc pod uwagę średnią roczną obliczoną ze średnich dla wszystkich miesięcy najniższy wynik zanotowano w Mikołajkach ( $0,041 \text{ Bq/m}^3$ ) a najwyższy w Legnicy ( $0,492 \text{ Bq/m}^3$ ). Nieznaczne zróżnicowanie charakteryzowało średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników uzyskanych na 7 stacjach. Najniższą wartość na poziomie  $0,143 \text{ Bq/m}^3$  wyznaczono w lutym, ponadto w miesiącach od stycznia do marca również zauważamy niższe wyniki w skali roku. Najwyższe wartości uzyskano w sierpniu ( $0,412 \text{ Bq/m}^3$ ), wrześniu ( $0,381 \text{ Bq/m}^3$ ) oraz październiku ( $0,354 \text{ Bq/m}^3$ ). Taki układ może sugerować zależność aktywności beta w aerozolu od sezonu, wskazując na większe stężenia w cieplejszych miesiącach, związane z tempem wymywania aerozoli przez deszcz.

Tabela 7. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozoluach w 2021 roku [Bq/m<sup>3</sup>]

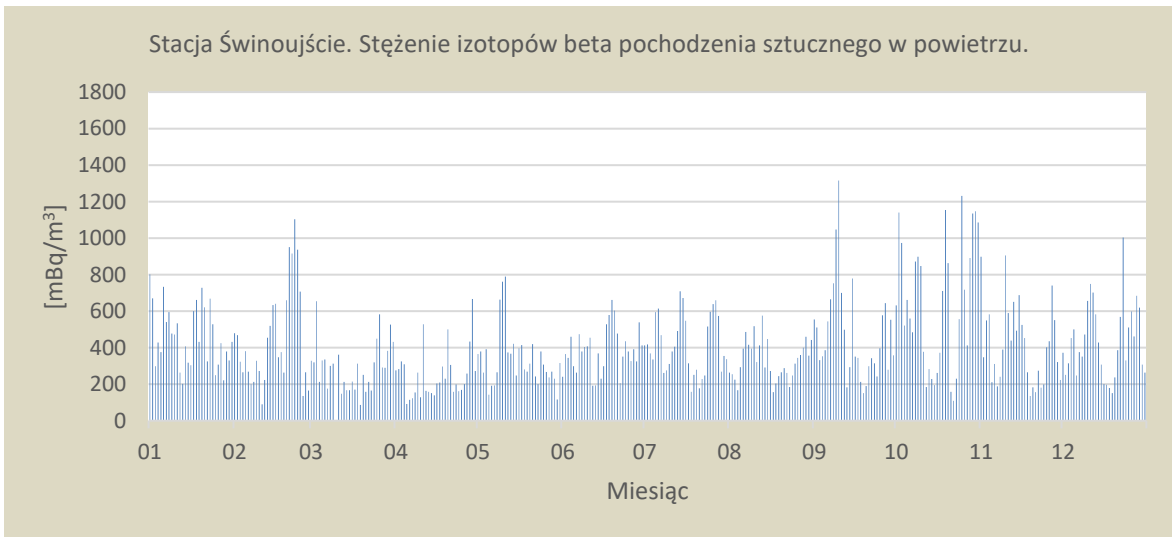
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,294	0,462	0,430	0,015	0,111	0,073	0,198
Luty	0,003	0,141	0,450	0,188	0,058	0,106	0,058	0,143
Marzec	0,001	0,338	0,286	0,214	0,126	0,176	0,064	0,172
Kwiecień	0,013	0,474	0,249	0,311	0,168	0,237	0,095	0,221
Maj	0,016	0,591	0,338	0,469	0,252	0,401	0,263	0,333
Czerwiec	0,028	0,355	0,386	0,394	0,217	0,484	0,145	0,272
Lipiec	0,039	0,207	0,415	0,667	0,415	0,426	0,107	0,325
Sierpień	0,100	0,651	0,331	0,678	0,384	0,542	0,200	0,412
Wrzesień	0,419	0,601	0,567	0,394	0,206	0,255	0,224	0,381
Październik	0,112	0,514	0,642	0,767	0,087	0,201	0,152	0,354
Listopad	0,004	0,380	0,418	0,532	0,039	0,148	0,130	0,236
Grudzień	0,012	0,296	0,434	0,560	0,054	0,159	0,101	0,231
Min. średnia miesięczna	0,000	0,141	0,249	0,188	0,015	0,106	0,058	0,108
Maks. średnia miesięczna	0,419	0,651	0,642	0,767	0,415	0,542	0,263	0,528
Średnia roczna z wartości dobowych	0,041	0,410	0,407	0,492	0,162	0,265	0,135	0,272



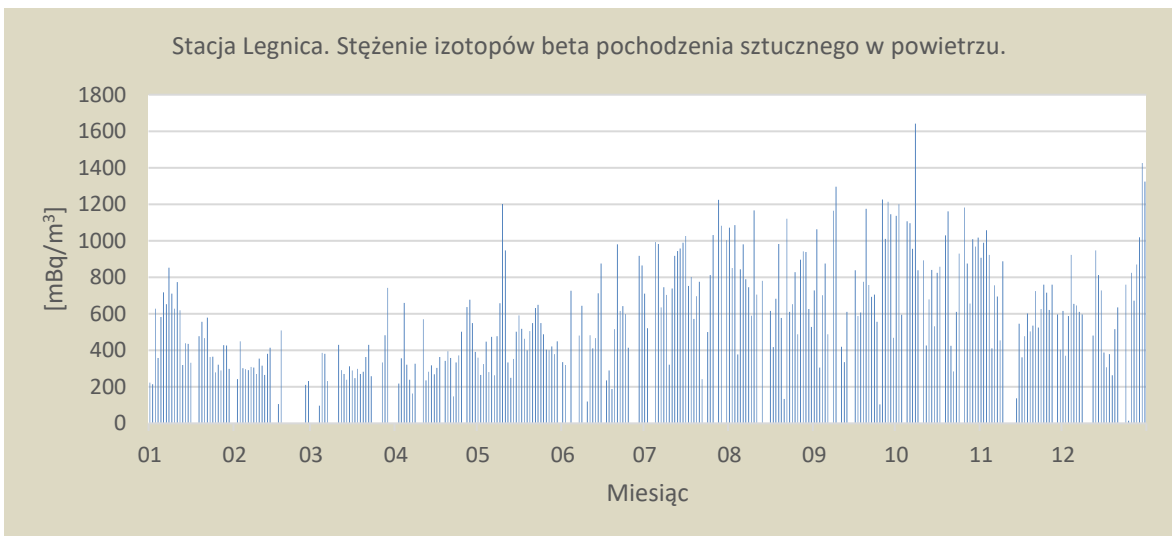
Rys.26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozoluach na stacji Mikołajki w 2021 roku



Rys.27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2021 roku

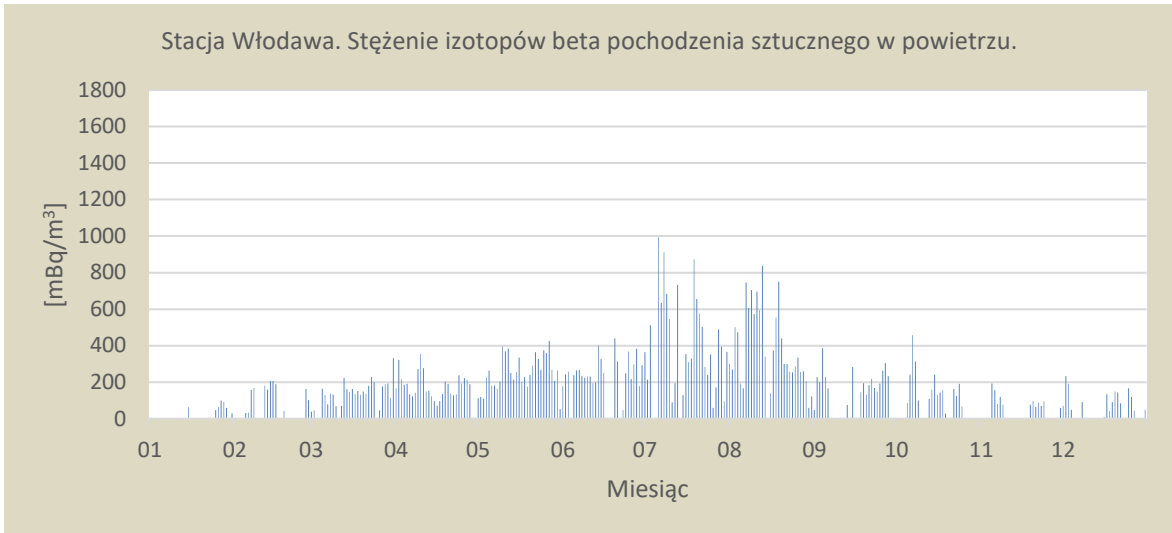


Rys.28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2021 roku

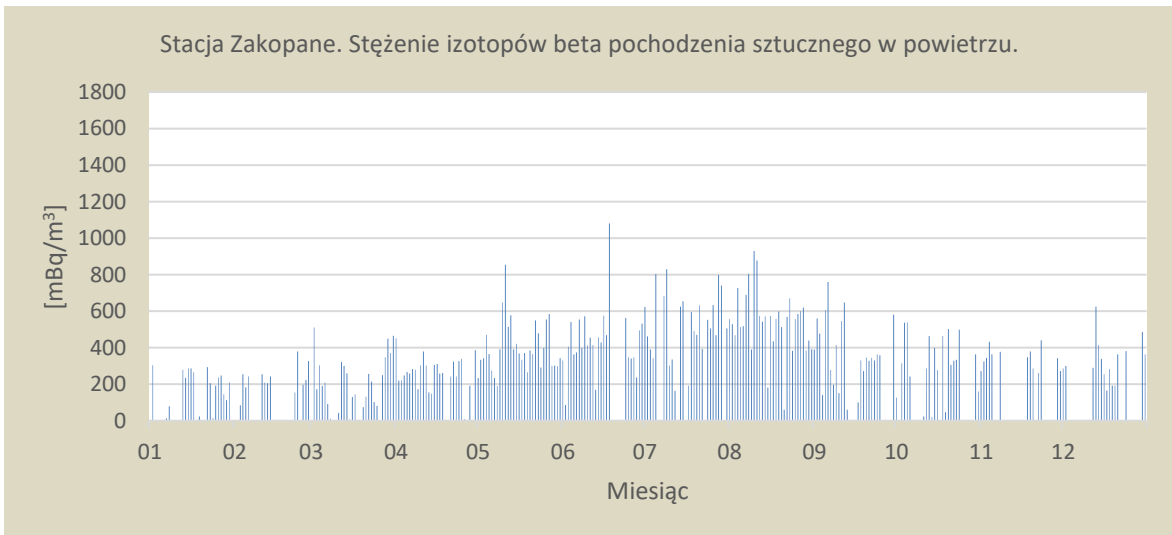


Rys.29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2021 roku

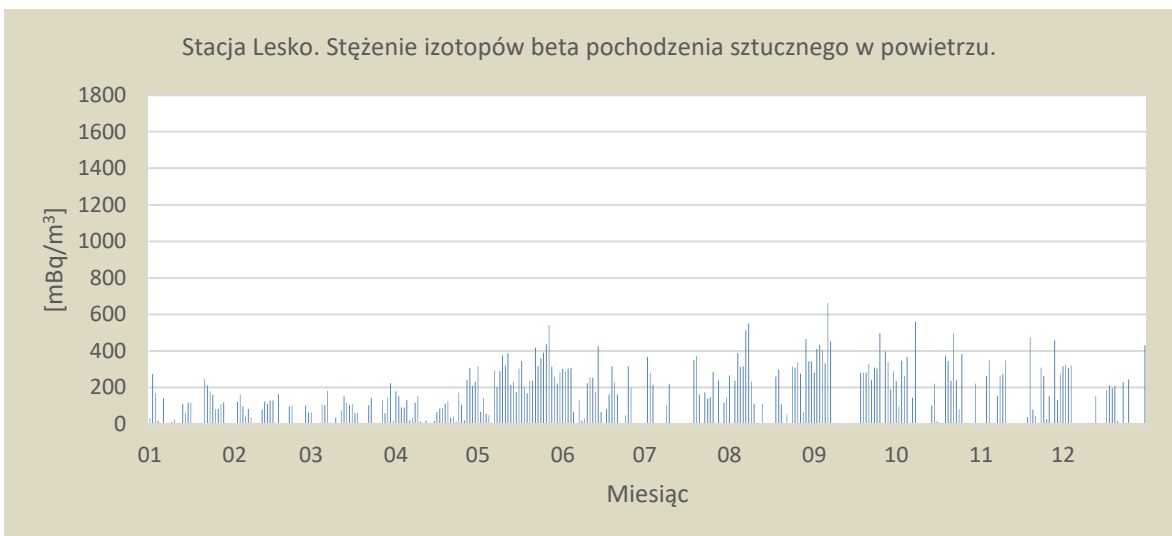




Rys.30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys.31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2021 roku



Rys.32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2021 roku

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2021 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło 0,274 Bq/m<sup>3</sup> i było niższe niż w roku ubiegłym o 0,056 Bq/m<sup>3</sup>. Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2021 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych od 2000 roku. Wartości te są ponad dziewiętnastokrotnie wyższe niż minimalne średnie stężenie przypadające na rok 2001. Należy dodać iż aktywności te uznajemy za niskie, pozostające na poziomie tła i niestanowiące zagrożenia. Średnia aktywność promieniowania w aerozoluach w badanym okresie wyniosła 0,131 Bq/m<sup>3</sup> (Tabela 8).

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2021 [Bq/m<sup>3</sup>]

Rok	Średnie roczne stężenie	Rok	Średnie roczne stężenie
2000	0,034	2011	0,083
2001	0,017	2012	0,160
2002	0,034	2013	0,113
2003	0,040	2014	0,137
2004	0,035	2015	0,241
2005	0,056	2016	0,240
2006	0,060	2017	0,237
2007	0,048	2018	0,229
2008	0,037	2019	0,337
2009	0,058	2020	0,330
2010	0,076	<b>2021</b>	<b>0,274</b>
		<b>Średnia</b>	<b>0,131</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>0,337</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>0,017</b>

### 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 2021

W 2021 roku maksymalne wartości dobowe zmieniały się w zakresie od 3,0 Bq/m<sup>2</sup> na stacji pomiarowej w Gdyni do 7,0 Bq/m<sup>2</sup> w Warszawie i Włodawie (Tabela 9, Rys 33-41). Otrzymane wyniki nie odbiegają znacznie od wartości uzyskanych w roku poprzednim. Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera, a średnia suma dobowa dla całego roku (317 Bq/m<sup>2</sup>) (Tabela 9a) była nieznacznie wyższa niż średnia z 2020 roku (309,2 Bq/m<sup>2</sup>).

Miesięczne średnie aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w dość wąskim zakresie. Podobnie jak w ubiegłym roku najniższe wartości odnotowano na stacji w Gdyni, gdzie średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta wahały się od 0,1 do 0,8 Bq/m<sup>2</sup>,

oraz w Świnoujściu (od 0,3 Bq/m<sup>2</sup> do 0,9 Bq/m<sup>2</sup>). Najwyższe średnie miesięczne wystąpiły zaś w Mikołajkach i mieściły się w przedziale od 0,9 Bq/m<sup>2</sup> do 1,6 Bq/m<sup>2</sup>.

Porównując średnie wartości roczne wyznaczone na podstawie danych dobowych w 2021 roku wynika, że najniższy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta (0,2 Bq/m<sup>2</sup>) charakteryzował okolice Gdyni, co może mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej. Najwyższe średnie roczne aktywności beta (1,2 Bq/m<sup>2</sup> oraz 1,0 Bq/m<sup>2</sup>) charakteryzowały stację w Mikołajkach, oraz w Warszawie, Legnicy, Włodawie, Zakopanem i Lesku.

Średnie stężenia promieniotwórcze izotopów beta w poszczególnych miesiącach charakterystyczne dla obszaru całej Polski (wyznaczone z wyników dobowych uzyskanych na wszystkich stacjach) zmieniały się w bardzo wąskim zakresie od 0,8 (w miesiącach od stycznia do kwietnia) do 1,1 Bq/m<sup>2</sup>, wartości odnotowanej w lipcu. Średnia roczna (0,9 Bq/m<sup>2</sup>) dla wszystkich stacji w 2021 roku była zbliżona do uzyskanej w poprzednim roku.

Sporadycznie piki wartości aktywności beta w 2021 roku, zwłaszcza w okresie letnim, mogą mieć związek z aktywnością wulkaniczną w Europie i długimi okresami bezdeszczowymi w Polsce. Uwolnione związki wulkaniczne przemieszczały się i zalegały w wyższych warstwach atmosfery w okresach erupcji wulkanicznych. Dla przykładu 24 czerwca 2021 wartość opadu całkowitego dobowego w Warszawie wyniosła 7 Bq/m<sup>2</sup> z powodu intensywnej burzy, podczas której spadło przez dobę 49,7 mm/m<sup>2</sup> deszczu.

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2021 roku [Bq/m<sup>2</sup>]

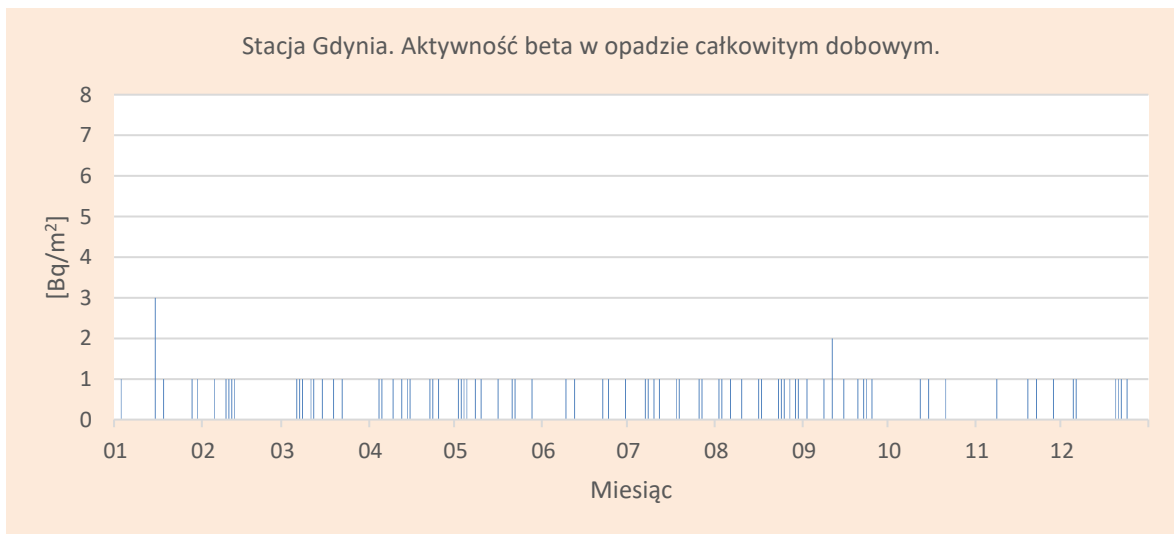
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,9	0,2	1,1	0,6	0,6	1,0	1,0	0,8	0,9	0,8
Luty	1,0	0,2	1,0	0,6	0,4	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8
Marzec	1,0	0,3	1,0	1,0	0,5	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8
Kwiecień	1,0	0,3	1,2	0,9	0,3	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8
Maj	1,1	0,3	1,4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

Tabela 9a. Roczna wartość stężenia izotopów beta uzyskana jako suma wszystkich wartości dobowych opadu całkowitego w roku 2021 [Bq/m<sup>2</sup>]

Stacja	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Śr. suma roczna
Suma roczna	372	86	450	279	177	366	379	376	364	317



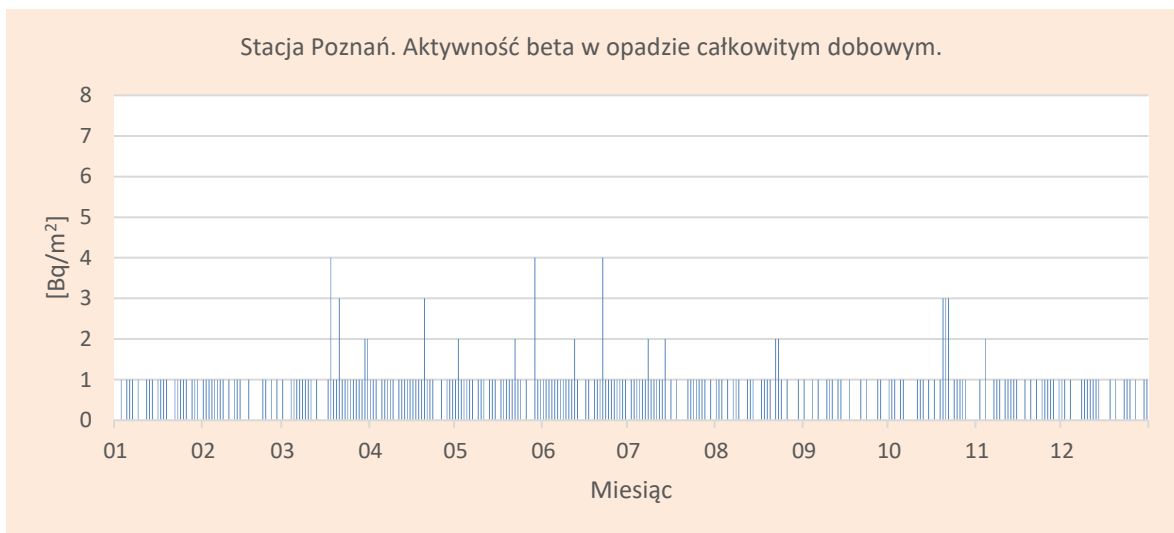
Rys.33. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Warszawa w 2021 roku



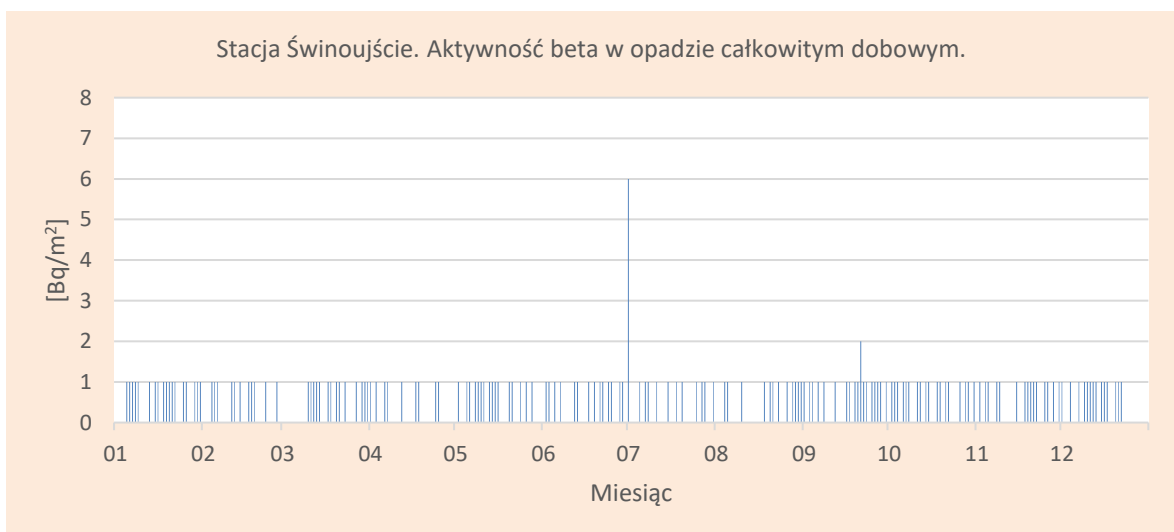
Rys.34. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Gdynia w 2021 roku



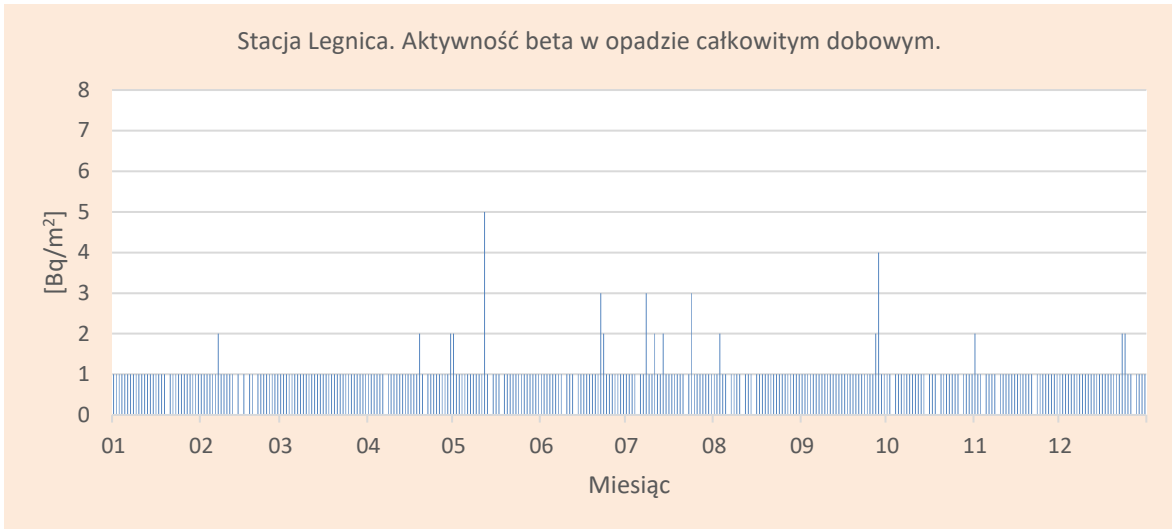
Rys.35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Mikołajki w 2021 roku



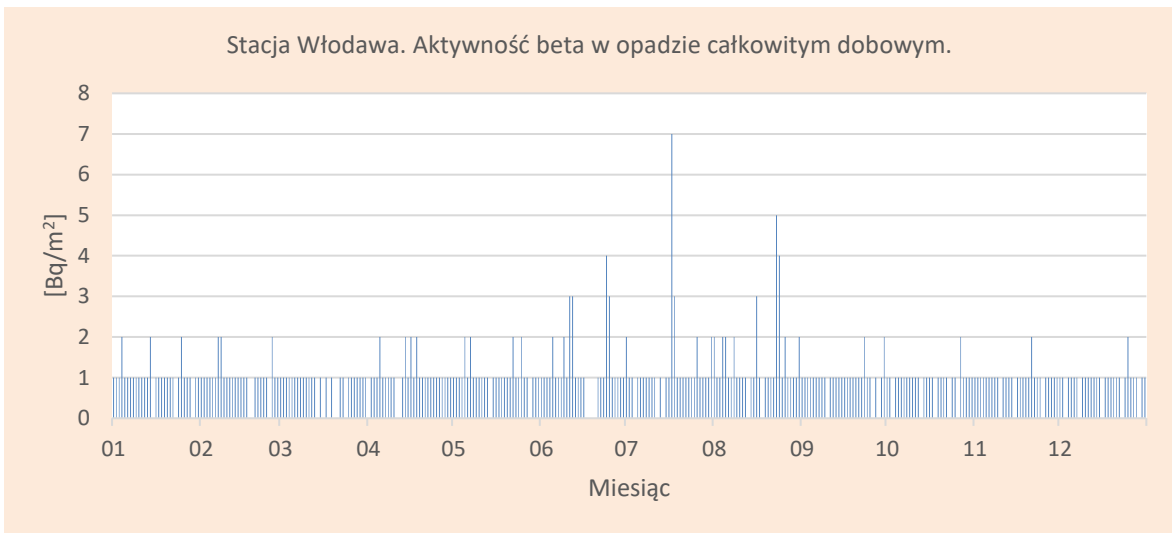
Rys.36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Poznań w 2021 roku.



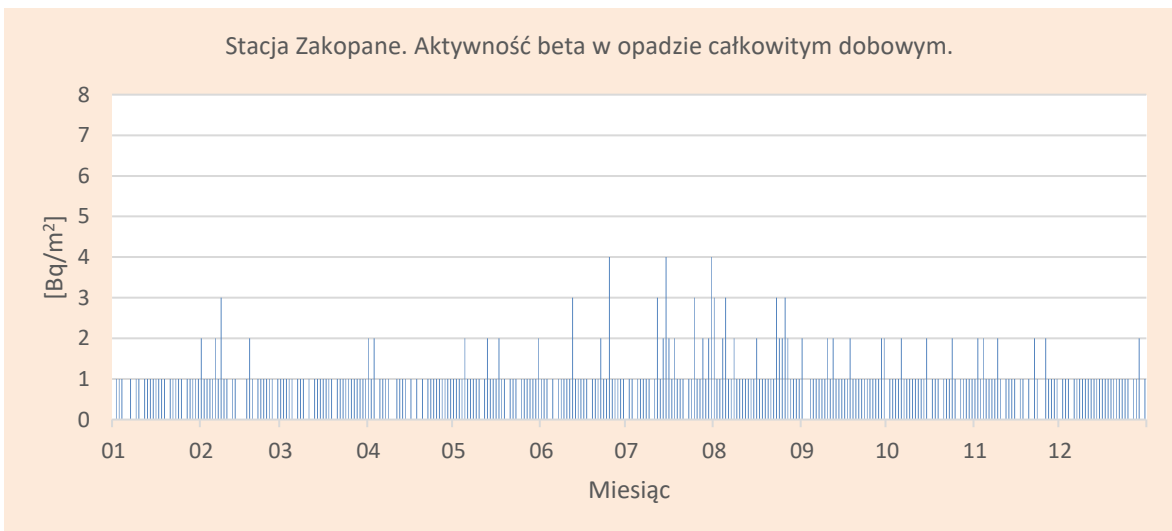
Rys.37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Świnoujście 2021 roku



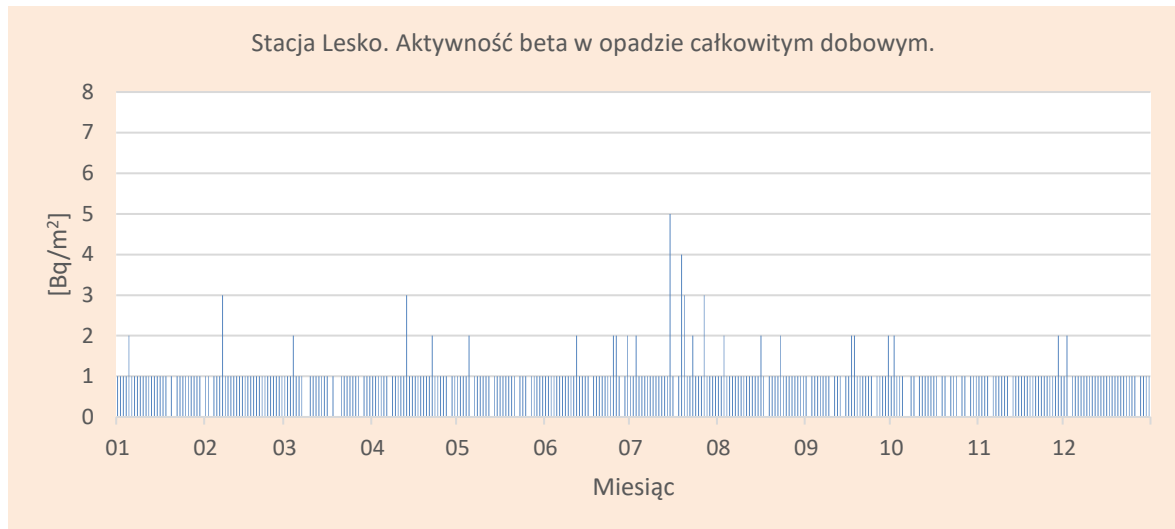
Rys.38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Legnica w 2021 roku



Rys.39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys.40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Zakopane w 2021 roku



Rys.41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Lesko w 2021 roku

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Sumaryczna aktywność beta dla całego obszaru Polski, opisująca dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta do powierzchni Ziemi, obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2021 roku (0,32 kBq/m<sup>2</sup>/rok) była taka sama jak w latach: 2003, 2005, 2012, 2014. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2021 utrzymuje się na poziomie 0,32 kBq/m<sup>2</sup>/rok (Tabela 10).

Tabela 10. Średnia sumaryczna aktywność beta całkowitego opadu dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2021 [kBq/m<sup>2</sup>/rok]

Rok	Sumaryczna aktywność beta	Rok	Sumaryczna aktywność beta
2000	0,33	2011	0,33
2001	0,34	2012	0,32
2002	0,34	2013	0,31
2003	0,32	2014	0,32
2004	0,34	2015	0,31
2005	0,32	2016	0,31
2006	0,31	2017	0,33
2007	0,31	2018	0,33
2008	0,30	2019	0,31
2009	0,33	2020	0,31
2010	0,33	<b>2021</b>	<b>0,32</b>
		<b>Średnia</b>	<b>0,32</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>0,34</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>0,30</b>

### 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej

Globalną aktywność beta wody opadowej określa się jako aktywność izotopów emitujących promieniowanie beta w całkowitym opadzie dziennym 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 2021

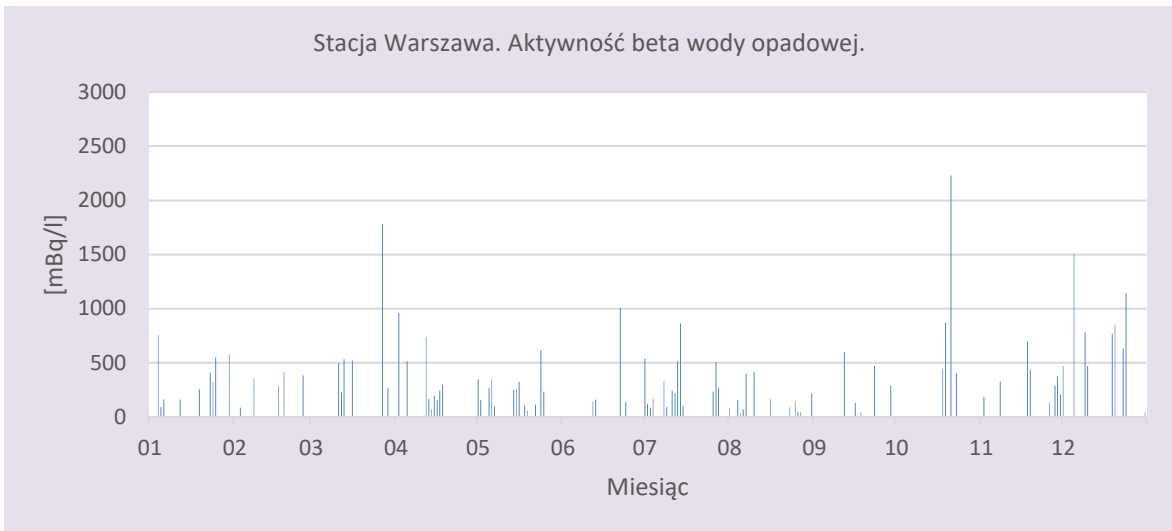
Na trzech spośród wszystkich stacji pomiarowych, zarejestrowane maksymalne wartości dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej w 2021 roku nie przekraczały 1000 mBq/l odpowiednio w Gdyni – 583,0 mBq/l, Świnoujściu – 815,0 mBq/l oraz Legnicy – 950,0 mBq/l (Tabela 11, Rys. 42-50). Najwyższa maksymalna dobową wartość wynosząca 2537,0 mBq/l charakteryzowała okolice Gorzowa Wielkopolskiego. Dla porównania w ubiegłym roku maksymalną wartość odnotowano na stacji Włodawa (3979,0 mBq/l). Minimalne dobowe wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od 0 mBq/l w Świnoujściu do 72 mBq/l w Legnicy.

Maksymalne średnie miesięczne wartości dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej mieściły się w granicy od 309,0 mBq/l w lipcu na stacji Świnoujście do 987,5 mBq/l w październiku w Warszawie. Minimalne średnie miesięczne wartości zmieniały się od 86,2 mBq/l w sierpniu w Gdyni do 352,4 mBq/l w listopadzie w Mikołajkach. Średnia roczna aktywność mieściła się w przedziale od 145,0 mBq/l (Gdynia) do 481,2 mBq/l (Mikołajki).

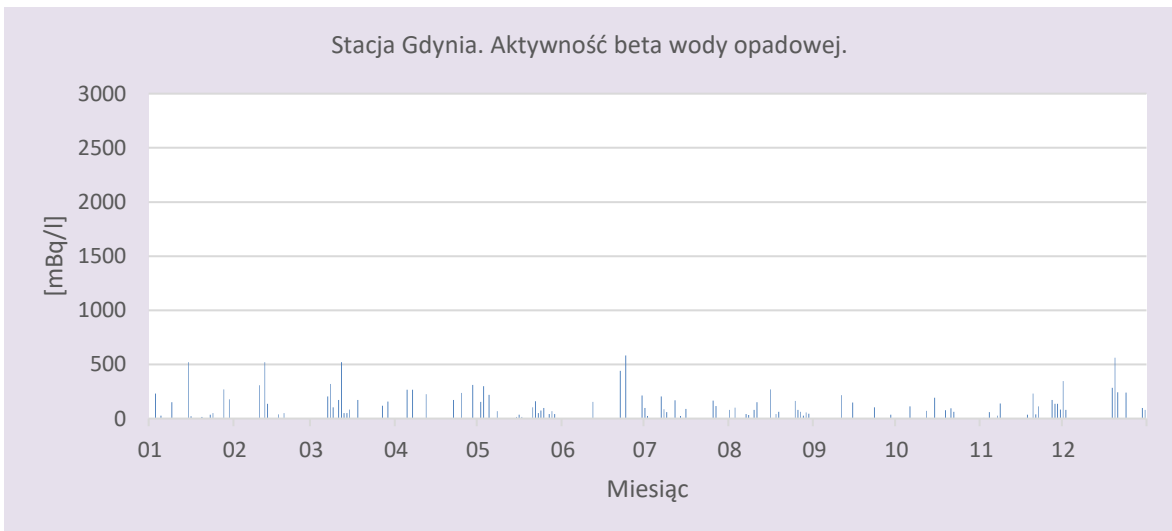
Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2021 roku [mBq/l]

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	365,7	150,1	547,8	278,3	219,3	392,5	537,6	294,1	349,3	348,3
Luty	305,8	210,8	426,5	219,3	153,6	477,5	745,2	385,6	351,1	363,9
Marzec	637,3	177,6	435,2	483,3	181,4	466,8	383,2	373,1	311,2	383,2
Kwiecień	371,4	246,5	697,9	540,4	218,3	330,5	402,7	280,4	301,9	376,7
Maj	244,8	96,3	417,4	475,7	136,4	255,9	395,1	213,8	429,9	296,2
Czerwiec	362,0	347,3	353,5	320,3	242,3	372,7	213,5	332,2	354,4	322,0
Lipiec	306,6	103,6	447,9	330,3	309,0	265,2	418,1	303,5	376,3	317,8
Sierpień	154,3	86,2	416,8	150,0	176,0	265,8	344,1	326,0	255,6	241,6
Wrzesień	225,3	337,8	398,9	247,8	226,5	338,4	301,5	310,8	403,7	310,1
Październik	987,5	101,8	761,8	654,2	243,2	441,3		258,3		492,6
Listopad	331,6	97,7	352,4	201,4	141,2	457,9	470,8	325,4	465,8	316,0
Grudzień	740,4	241,4	396,5	218,1	126,9	495,8	346,9	311,2	393,5	363,4
Minimalna średnia miesięczna	154,3	86,2	352,4	150,0	126,9	255,9	213,5	213,8	255,6	201,0
Maksymalna średnia miesięczna	987,5	347,3	761,8	654,2	309,0	495,8	745,2	385,6	465,8	572,4
Minimalna wartość dobową	33	6	60	40	0	72	34	27	41	34,8
Maksymalna wartość dobową	2229	583	2481	2537	815	950	1430	1115	1249	1487,7
Średnia roczna	383,2	145,0	481,2	344,8	192,3	367,7	416,8	303,5	359,4	328,9

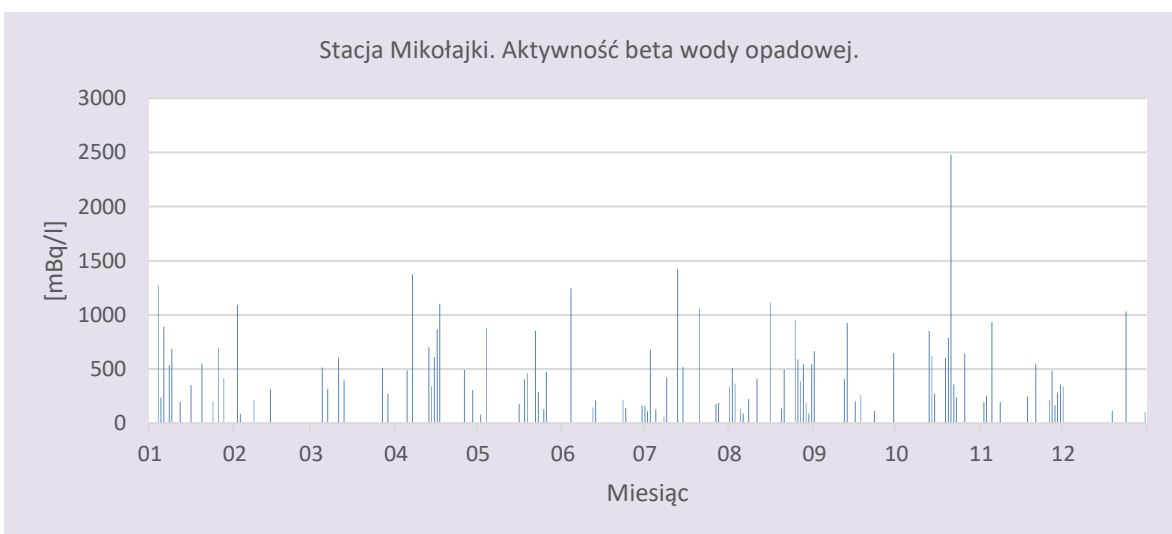




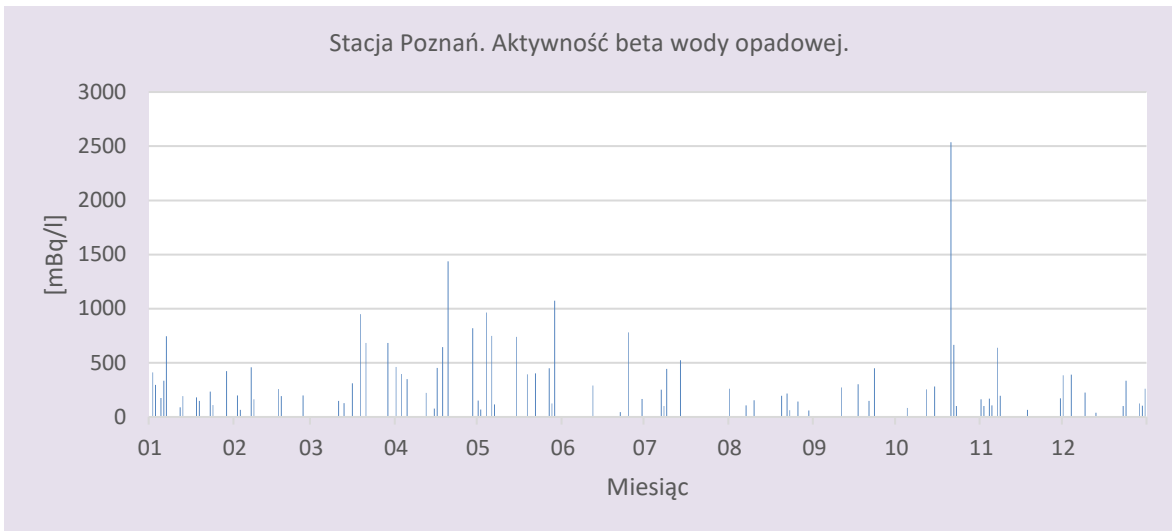
Rys.42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2021 roku



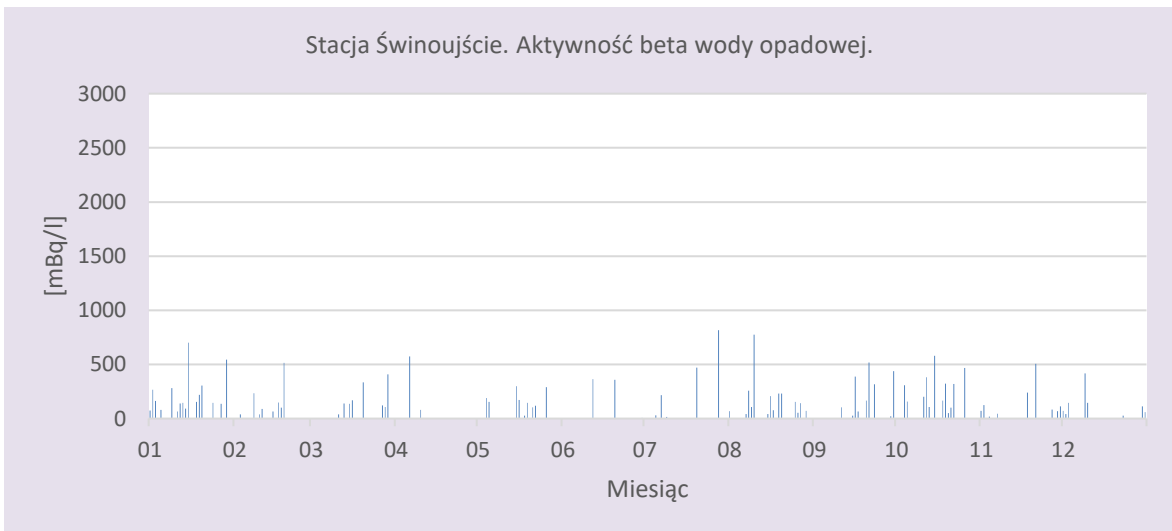
Rys.43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2021 roku



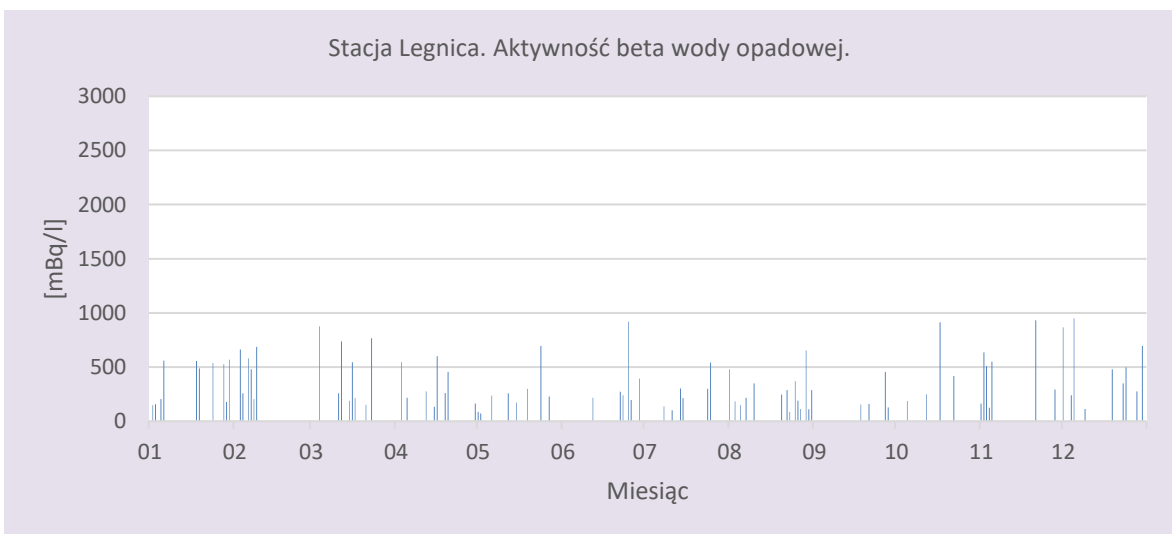
Rys.44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2021 roku



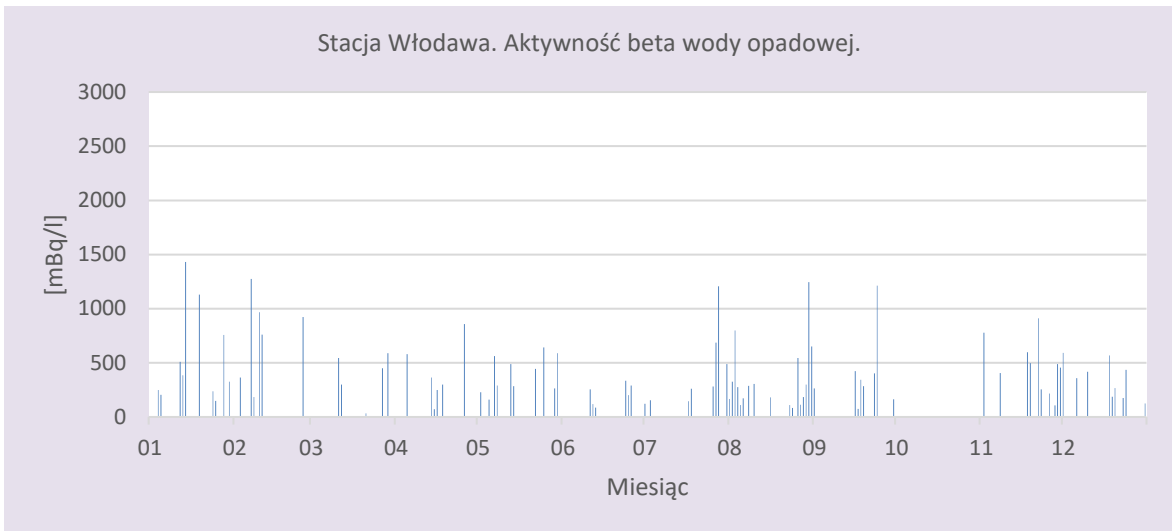
Rys.45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2021 roku



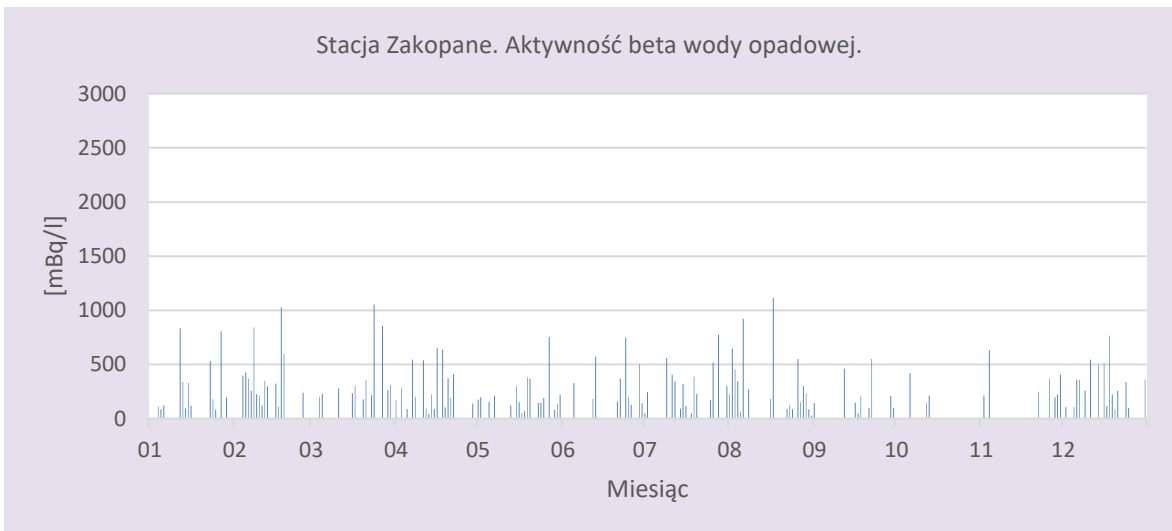
Rys.46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2021 roku



Rys.47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2021 roku



Rys.48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys.49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2021 roku



Rys.50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2021 roku

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej w 2021 roku wyniosła 328,9 mBq/l (Tabela 12). Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie 2000-2021, przypada na rok 2003 (376 mBq/l). Średnia aktywność beta wody opadowej w omawianym okresie utrzymuje się na poziomie 338 mBq/l.

Tabela 12. Średnie aktywności beta wody opadowej w latach 2000 – 2021 [mBq/l]

Rok	Aktywność beta	Rok	Aktywność beta
2000	352	2011	352
2001	371	2012	342
2002	348	2013	315
2003	376	2014	311
2004	374	2015	350
2005	358	2016	324
2006	346	2017	316
2007	333	2018	335
2008	338	2019	298
2009	345	2020	288
2010	328	<b>2021</b>	<b>328,9</b>
		<b>Średnia</b>	<b>338</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>288</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>376</b>

### 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 2021

Średnia aktywność promieniowania beta w Polsce w próbkach opadu całkowitego wynosiła 8,0 Bq/m<sup>2</sup> i oscylowała w szerokim zakresie (2-21 Bq/m<sup>2</sup>) (Tab. 13). Najniższe średnie aktywności promieniowania beta w opadzie całkowitym odnotowano na stacjach w Świnoujściu (5,1 Bq/m<sup>2</sup>) i w Legnicy (5,9 Bq/m<sup>2</sup>) i były one odpowiednio o 36,3% i 26,3% niższe od średniej ze wszystkich stacji (Rys. 51-59). Na pozostałych stacjach średnia aktywność promieniowania beta zmieniała się w przedziale od 6,8 Bq/m<sup>2</sup> na stacji w Gdyni do 11,2 Bq/m<sup>2</sup> w Warszawie. Za wysoką średnioroczną aktywność promieniowania beta w opadzie atmosferycznym w Warszawie odpowiada dość wysoka aktywność w lipcu (16 Bq/m<sup>2</sup>) oraz czerwcu i październiku (15 Bq/m<sup>2</sup>), w pozostałych miesiącach aktywność wahała się w przedziale od 7 Bq/m<sup>2</sup> do 13 Bq/m<sup>2</sup>. Również na stacjach we Włodawie oraz Zakopanem obserwowano wysokie aktywności w próbce opadu całkowitego, które wynosiły odpowiednio 20 Bq/m<sup>2</sup> i 21 Bq/m<sup>2</sup>.

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2021 [Bq/m<sup>2</sup>]

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	7	7	6	5	5	6	6	6	6
Luty	12	9	3	6	3	4	4	10	7
Marzec	8	8	4	6	3	4	4	5	6
Kwiecień	13	8	11	8	2	6	7	13	9
Maj	12	9	8	16	10	6	8	9	15
Czerwiec	15	7	10	10	8	7	18	8	17
Lipiec	16	9	15	14	5	9	20	21	18
Sierpień	11	7	13	8	4	7	11	12	16
Wrzesień	7	8	9	8	8	7	8	12	6
Październik	15	4	6	8	8	4	5	8	5
Listopad	8	3	4	5	3	5	3	4	4
Grudzień	10	3	5	5	2	6	5	3	4
Średnia	11,2	6,8	7,8	8,3	5,1	5,9	8,3	9,3	9,4
Maksymalna	16	9	15	16	10	9	20	21	18
Minimalna	7	3	3	5	2	4	3	3	4
Wartość średnia	8,0								
Wartość maksymalna	21								
Wartość minimalna	2								



Rys.51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2021 roku



Rys.52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2021 roku



Rys.53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2021 roku



Rys.54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2021 roku



Rys.55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2021 roku



Rys.56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2021 roku



Rys.57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2021 roku



Rys.58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2021 roku



Rys.59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2021 roku

### Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w roku 2021 wynosiła 8,0 Bq/m<sup>2</sup> i była o 0,8 Bq/m<sup>2</sup> wyższa od średniorocznej aktywności z zeszłego roku. W latach 2000 – 2021 najniższą wartość uzyskano w roku 2005 (6,0 Bq/m<sup>2</sup>), najwyższą zaś przypada na rok 2017 (8,7 Bq/m<sup>2</sup>). Średnia aktywność tego promieniowania w całkowitym opadzie miesięcznym w omawianym okresie wynosiła 7,3 Bq/m<sup>2</sup> (Tab. 14).



Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2020 [Bq/m<sup>2</sup>]

Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego	Rok	Średnia radioaktywność beta opadu miesięcznego
2000	6,1	2011	8,0
2001	7,1	2012	7,3
2002	6,7	2013	7,3
2003	6,6	2014	8,0
2004	6,4	2015	7,5
2005	6,0	2016	7,8
2006	6,2	2017	8,7
2007	6,5	2018	8,4
2008	6,4	2019	7,4
2009	7,8	2020	7,2
2010	8,2	<b>2021</b>	<b>8,0</b>
		<b>Średnia</b>	<b>7,3</b>
		<b>Minimalna</b>	<b>6,0</b>
		<b>Maksymalna</b>	<b>8,7</b>

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

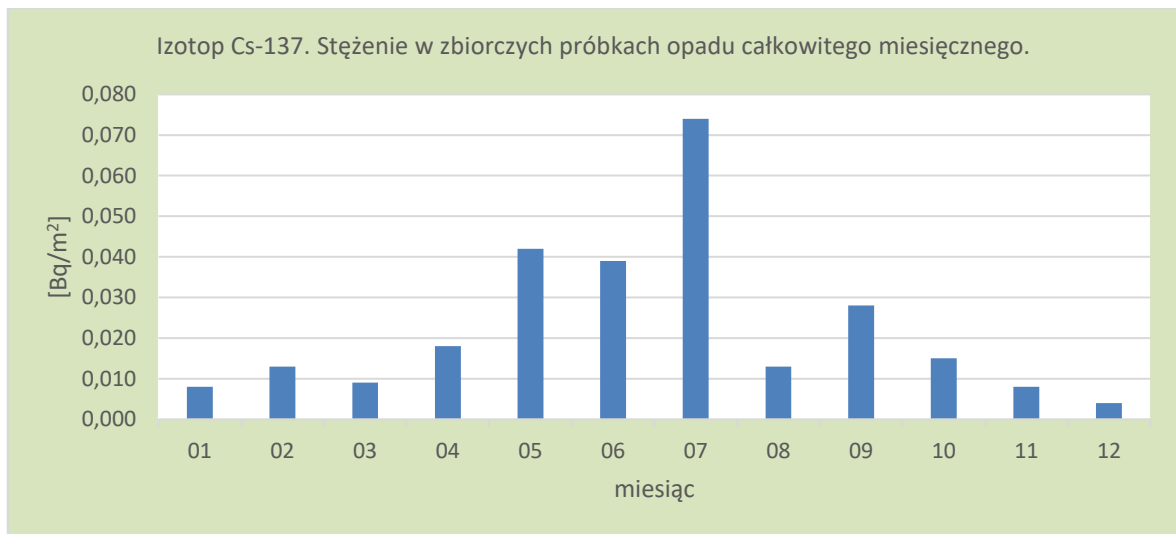
Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego o stosunkowo długim okresie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku <sup>137</sup>Cs i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku <sup>134</sup>Cs. Ich stężenia promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) oznaczane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

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

Średni ładunek <sup>137</sup>Cs wraz z opadem atmosferycznym wyniósł 0,023 Bq/m<sup>2</sup>, w przypadku <sup>134</sup>Cs stężenia tego izotopu były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe ładunki <sup>137</sup>Cs notowane były w grudniu (0,004 Bq/m<sup>2</sup>) oraz styczniu i listopadzie (0,008 Bq/m<sup>2</sup>), najwyższe zaś w okresie maj - lipiec i wynosiły odpowiednio 0,042 Bq/m<sup>2</sup>, 0,039 Bq/m<sup>2</sup>, 0,074 Bq/m<sup>2</sup>. Taki rozkład stężeń był związany z intensywnymi opadami oraz łatwiejszym wypłukiwaniem izotopów z atmosfery (Tab. 15, Rys. 60).

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2021 r. [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ]

Miesiąc	Aktywność Cs-137		Aktywność Cs-134
	Aktywność	Błąd pomiarowy	
Styczeń	0,008	0,002	< 0,003
Luty	0,013	0,002	< 0,003
Marzec	0,009	0,001	< 0,003
Kwiecień	0,018	0,002	< 0,003
Maj	0,042	0,011	< 0,004
Czerwiec	0,039	0,002	< 0,004
Lipiec	0,074	0,003	< 0,004
Sierpień	0,013	0,002	< 0,003
Wrzesień	0,028	0,002	< 0,006
Październik	0,015	0,002	< 0,004
Listopad	0,008	0,002	< 0,003
Grudzień	0,004	0,001	< 0,003
<b>Suma roczna</b>	<b>0,271</b>		
Średnia	0,023		
Maksymalna	0,074		
Minimalna	0,004		



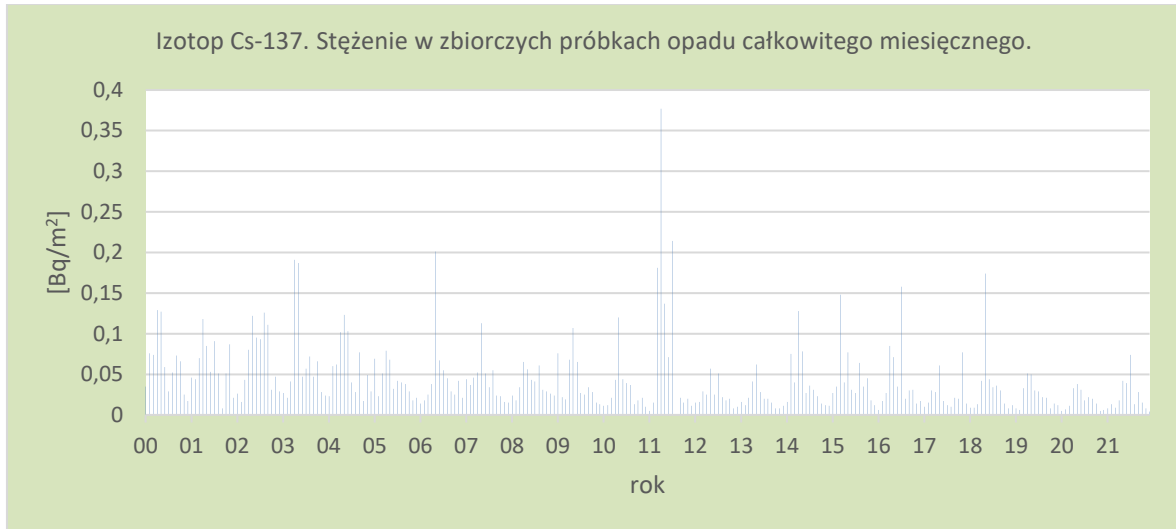
Rys.60. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w roku 2021

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

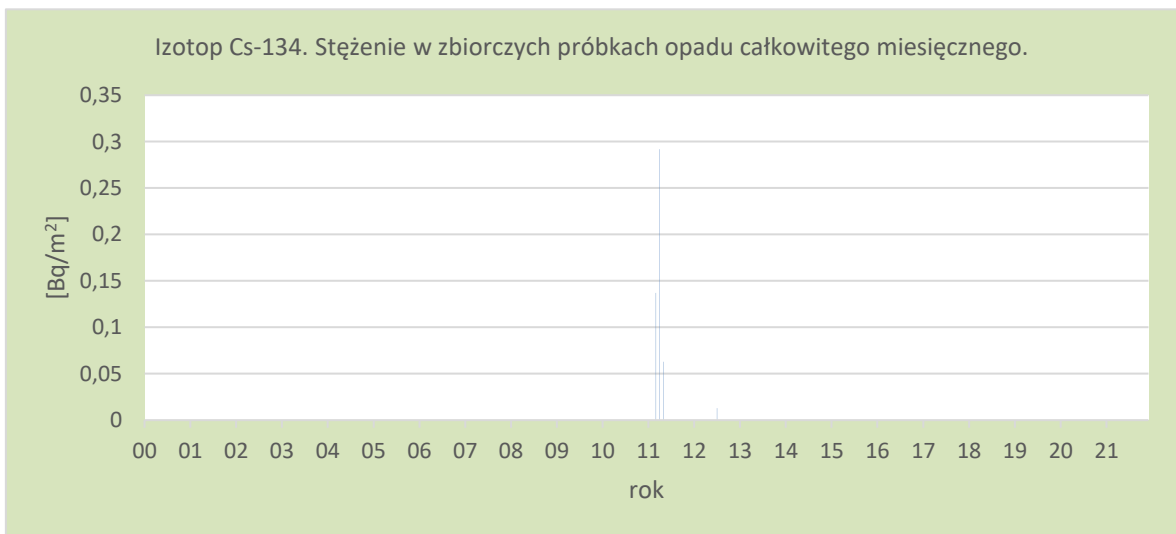
Izotop  $^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się niską prędkością opadania (0,05 – 0,5 cm/s), dlatego ładunek tego izotopu docierający do powierzchni Ziemi wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wypłukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym najczęściej największy dopływ  $^{137}\text{Cs}$  do powierzchni Ziemi występuje w okresie wiosenno-letnim, kiedy miesięczne sumy opadów są największe (Rys. 61). Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w 2021 roku wynosiła 0,271  $\text{Bq}/\text{m}^2$  i była o 0,061 wyższa od wartości z 2020 (0,210  $\text{Bq}/\text{m}^2$ ), a jednocześnie około 4 razy mniejsza od wartości uzyskanej 2011 (1,067  $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) kiedy odnotowano podwyższoną depozycję na skutek awarii elektrowni

atomowej w Fukushima (Tabela 16, Rys. 63). Sumaryczny dopływ  $^{137}\text{Cs}$  w 2021 roku jest jednym z najniższych spośród wszystkich wyników otrzymanych w badanych latach. Średnia suma rocznych dopływów  $^{137}\text{Cs}$  dla okresu 2000-2021 wynosiła  $0,521 \text{ Bq/m}^2$  (Tabela 16).

W przypadku izotopu  $^{134}\text{Cs}$  tylko w latach 2011 i 2012 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej (Rys.62). Od 2000 roku oprócz incydentu w Fukushima nie zanotowano obecności  $^{134}\text{Cs}$  w powietrzu.



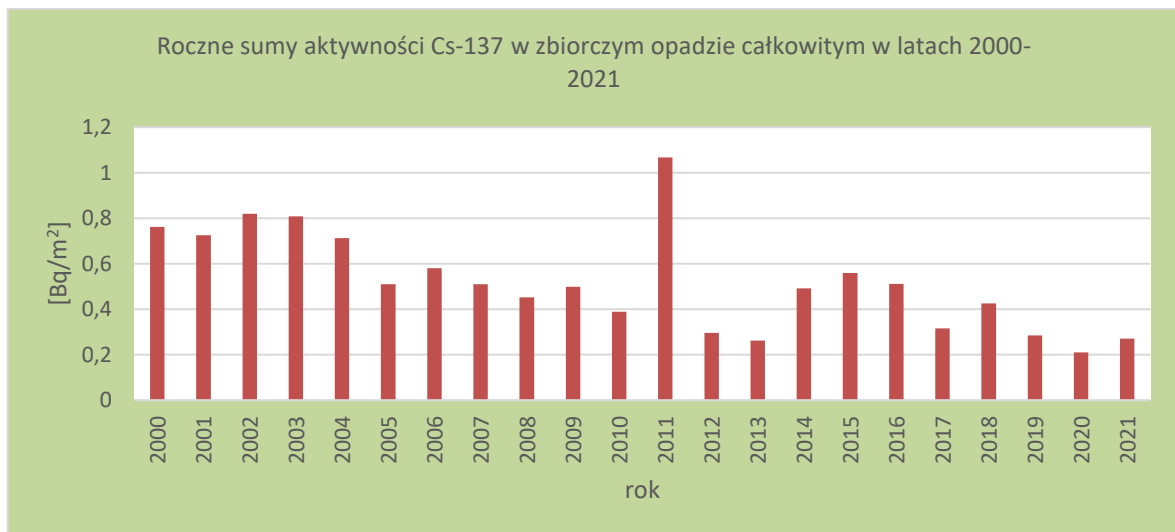
Rys.61. Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2021



Rys.62. Stężenie promieniotwórcze  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2021

Tabela 16. Roczna suma dopływu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2021 [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ]

Rok	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	Rok	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$
2000	0,762		2011	1,067	0,492
2001	0,725		2012	0,296	0,013
2002	0,819		2013	0,262	
2003	0,808		2014	0,491	
2004	0,713		2015	0,559	
2005	0,510		2016	0,511	
2006	0,580		2017	0,315	
2007	0,510		2018	0,425	
2008	0,452		2019	0,284	
2009	0,499		2020	0,210	
2010	0,389		<b>2021</b>	<b>0,271</b>	
			Średnia	0,521	
			Minimalna	0,210	
			Maksymalna	1,067	



Rys.63. Roczne sumy dopływu  $^{137}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2021

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

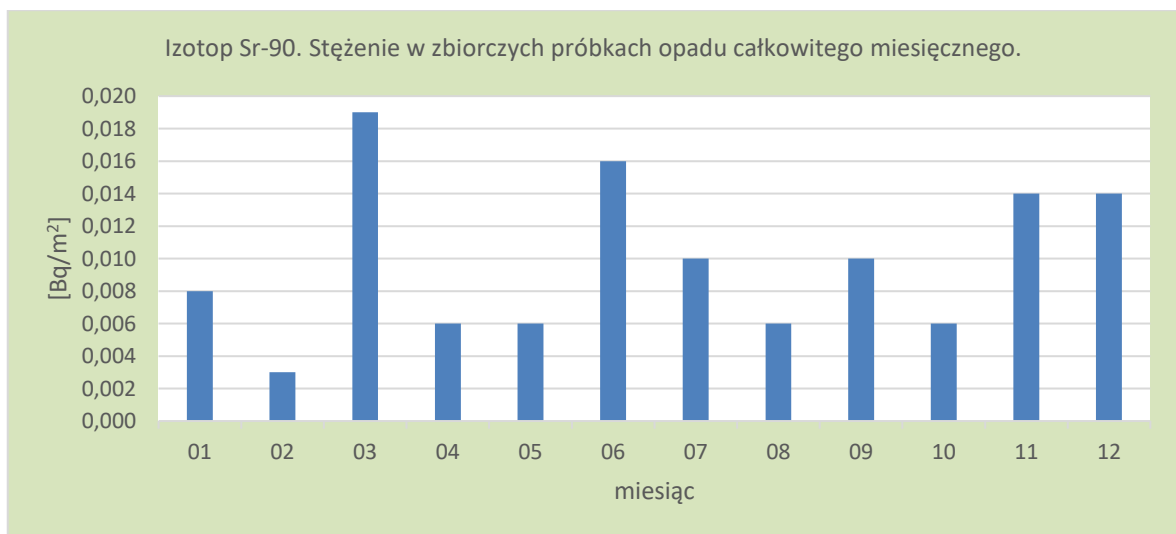
W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  przeprowadzono w 2021 roku pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu –  $^{90}\text{Sr}$ , który podobnie jak  $^{137}\text{Cs}$  charakteryzuje się stosunkowo długim okresem połowicznego rozpadu (28 lat).

## Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

Najwyższe stężenie  $^{90}\text{Sr}$  zarejestrowano w marcu ( $0,019 \text{ Bq/m}^2$ ), czerwcu ( $0,016 \text{ Bq/m}^2$ ) oraz listopadzie i grudniu ( $0,014 \text{ Bq/m}^2$ ). Najniższą aktywność stwierdzono w lutym ( $0,003 \text{ Bq/m}^2$ ). Pozostałe stężenia promieniotwórcze w kolejnych miesiącach mieściły się w przedziale od  $0,006 \text{ Bq/m}^2$  do  $0,010 \text{ Bq/m}^2$ . Izotop ten charakteryzuje się 4 razy większym tempem opadania niż izotop  $^{137}\text{Cs}$  w związku z czym zarówno sucha, jak i mokra depozycja odpowiada za dopływ  $^{90}\text{Sr}$  do powierzchni Ziemi, co powoduje, że nie obserwuje się znaczących zmienności w ciągu roku (Tab. 17, Rys. 64).

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2021 r. [ $\text{Bq/m}^2$ ]

Miesiąc	Aktywność Sr-90	
	Aktywność	Błąd pomiarowy
Styczeń	0,008	0,001
Luty	0,003	0,001
Marzec	0,019	0,002
Kwiecień	0,006	0,001
Maj	0,006	0,001
Czerwiec	0,016	0,002
Lipiec	0,010	0,001
Sierpień	0,006	0,001
Wrzesień	0,010	0,001
Październik	0,006	0,001
Listopad	0,014	0,001
Grudzień	0,014	0,001
<b>Suma roczna</b>	<b>0,118</b>	
Średnia	0,010	
Maksymalna	0,019	
Minimalna	0,003	



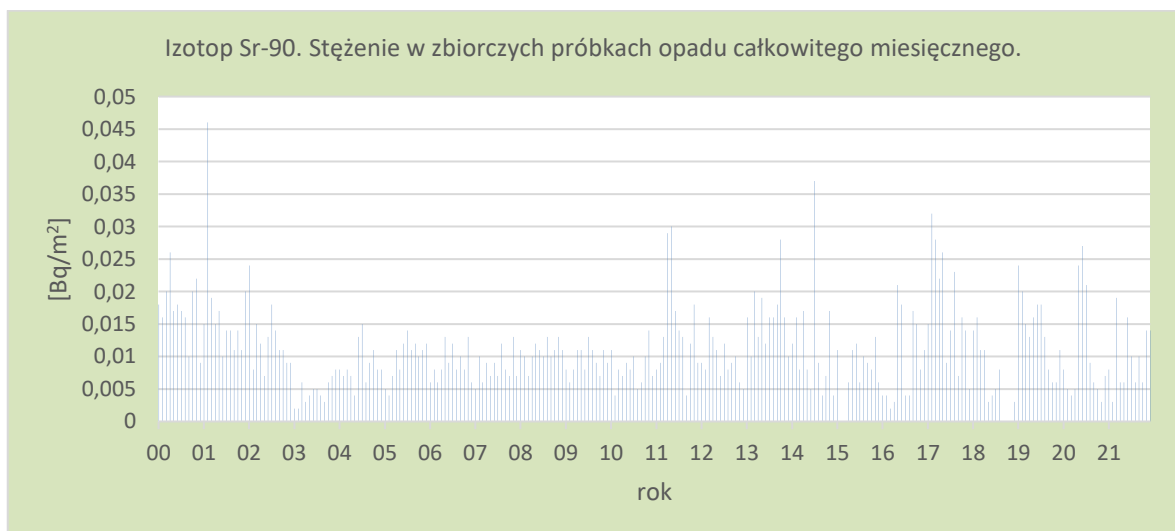
Rys.64. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2021 roku

## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

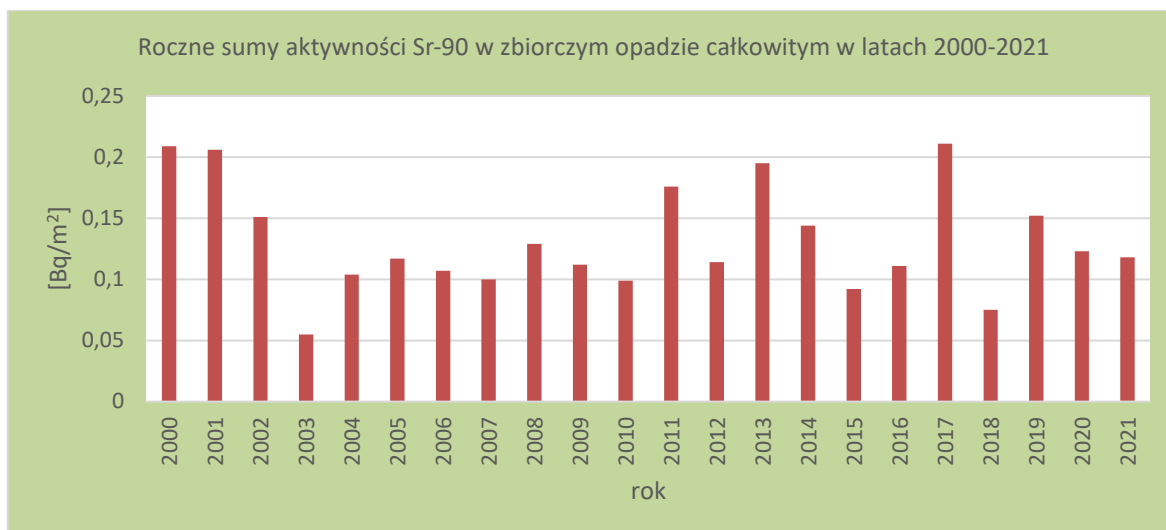
Najwyższe roczne sumy aktywności  $^{90}\text{Sr}$  w opadzie całkowitym zmierzono w latach 2000, 2001 oraz 2017 i wynosiły one odpowiednio: 0,209 Bq/m<sup>2</sup>, 0,206 Bq/m<sup>2</sup> i 0,211 Bq/m<sup>2</sup> (Tab. 18). Najniższą wartość odnotowano w roku 2003 (0,055 Bq/m<sup>2</sup>), natomiast w pozostałych latach stężenia mieściły się w przedziale od 0,075 Bq/m<sup>2</sup> do 0,195 Bq/m<sup>2</sup>. Roczny dopływ  $^{90}\text{Sr}$  wraz z opadem całkowitym w 2021 roku wyniósł 0,118 Bq/m<sup>2</sup> i był o 0,005 Bq/m<sup>2</sup> niższy niż w roku ubiegłym. Średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2021 jest na poziomie 0,132 Bq/m<sup>2</sup>.

Tabela 18. Roczna suma aktywności  $^{90}\text{S}$  w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2021 [Bq/m<sup>2</sup>]

Rok	$^{90}\text{Sr}$	Rok	$^{90}\text{Sr}$
2000	0,209	2011	0,176
2001	0,206	2012	0,114
2002	0,151	2013	0,195
2003	0,055	2014	0,144
2004	0,104	2015	0,092
2005	0,117	2016	0,111
2006	0,107	2017	0,211
2007	0,100	2018	0,075
2008	0,129	2019	0,152
2009	0,112	2020	0,123
2010	0,099	<b>2021</b>	<b>0,118</b>
		Średnia	0,132
		Minimalna	0,055
		Maksymalna	0,211



Rys.65. Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2021



Rys.66. Roczne sumy dopływu <sup>90</sup>Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2021

### 3.6 Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: <sup>226</sup>Ra, <sup>7</sup>Be, <sup>228</sup>Ac, <sup>40</sup>K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego

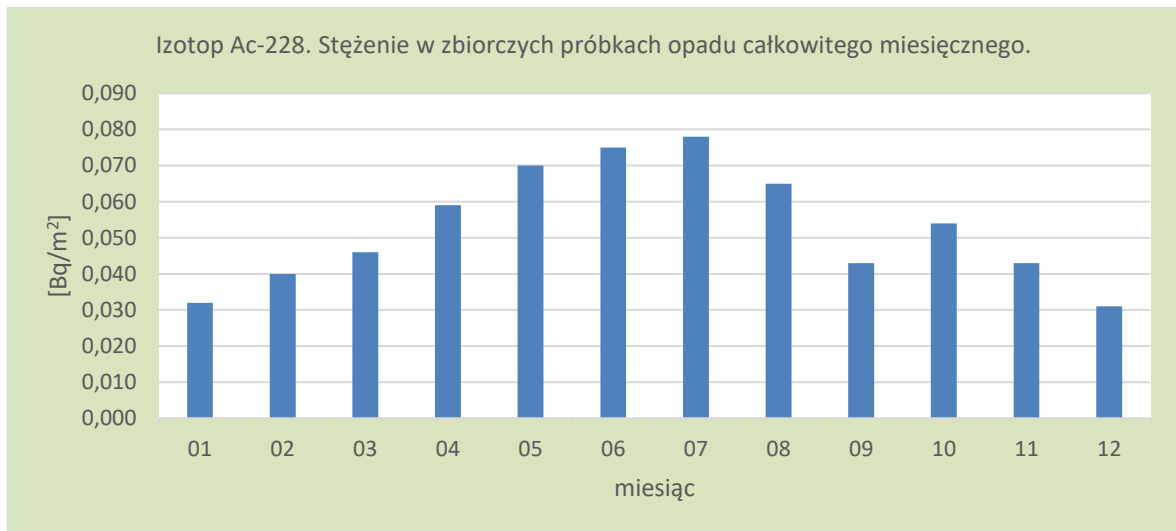
W 2021 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego: <sup>226</sup>Ra, <sup>7</sup>Be, <sup>228</sup>Ac i <sup>40</sup>K. Izotop <sup>40</sup>K jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo długim okresem połowicznego rozpadu wynoszącym  $1,251 \cdot 10^9$  lat. <sup>226</sup>Ra jest produktem rozpadu w szeregu uranowo – radowym (<sup>238</sup>U), jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1599 lat. <sup>228</sup>Ac jest produktem rozpadu w szeregu torowym (<sup>232</sup>Th) z połowicznym czasem 6,13 godziny. Źródłem <sup>7</sup>Be, którego okres połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki – 53,3 dni, jest natomiast promieniowanie kosmiczne.

#### Analiza wyników uzyskanych w roku 2021

Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się <sup>7</sup>Be. Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła 73,487 Bq/m<sup>2</sup> i wahała się w zakresie od 28,810 Bq/m<sup>2</sup> (październik) do 209,467 Bq/m<sup>2</sup> (lipiec) (Tabela 19, Rys. 67). Roczny dopływ tego izotopu był o 80 Bq/m<sup>2</sup> wyższy niż w zeszłym roku i wynosił 881,847 Bq/m<sup>2</sup> (Tabela 19). W 2021 roku aktywność <sup>40</sup>K zmieniała się w zakresie od 0,821 Bq/m<sup>2</sup> (grudzień) do 3,729 Bq/m<sup>2</sup> (lipiec), natomiast roczny dopływ był na poziomie 24,079 Bq/m<sup>2</sup> (Tabela 19, Rys. 68). W przypadku <sup>226</sup>Ra roczny dopływ tego izotopu był prawie dwa razy wyższy niż w ubiegłym roku i wynosił 1,397 Bq/m<sup>2</sup>/rok a miesięczne ładunki oscylowały w zakresie od 0,047 Bq/m<sup>2</sup> (styczeń) do 0,193 Bq/m<sup>2</sup> (lipiec) (Tabela 19, Rys. 69). Roczny dopływ <sup>228</sup>Ac wynosił 0,636 Bq/m<sup>2</sup>, a jego miesięczne ładunki mieściły się w przedziale od 0,031 Bq/m<sup>2</sup> w grudniu do 0,078 Bq/m<sup>2</sup> w lipcu (Tabela 19, Rys. 70).

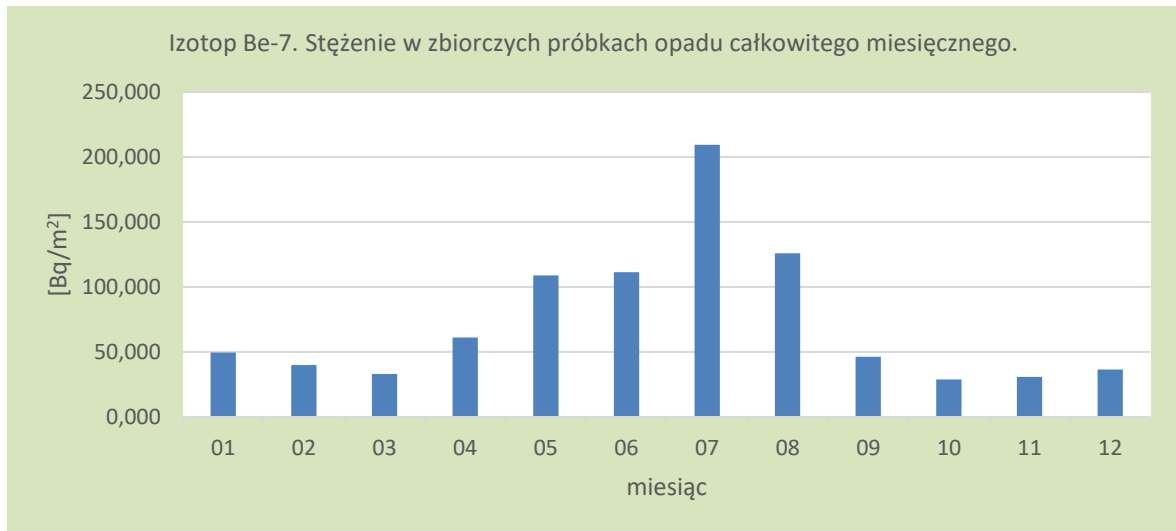
Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$  oraz  $^{226}\text{Ra}$  w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2021 r. [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ]

Miesiąc	Ac-228	Be-7	K-40	Ra-226
Styczeń	0,032	49,624	0,978	0,047
Luty	0,040	40,059	1,108	0,148
Marzec	0,046	33,065	1,446	0,083
Kwiecień	0,059	61,064	1,561	0,109
Maj	0,070	108,836	3,124	0,114
Czerwiec	0,075	111,423	2,678	0,154
Lipiec	0,078	209,467	3,729	0,193
Sierpień	0,065	125,805	2,840	0,137
Wrzesień	0,043	46,446	1,874	0,138
Październik	0,054	28,810	2,809	0,104
Listopad	0,043	30,720	1,111	0,054
Grudzień	0,031	36,528	0,821	0,116
<b>Suma roczna</b>	<b>0,636</b>	<b>881,847</b>	<b>24,079</b>	<b>1,397</b>
Średnia	0,053	73,487	2,007	0,116
Maksymalna	0,078	209,467	3,729	0,193
Minimalna	0,031	28,810	0,821	0,047

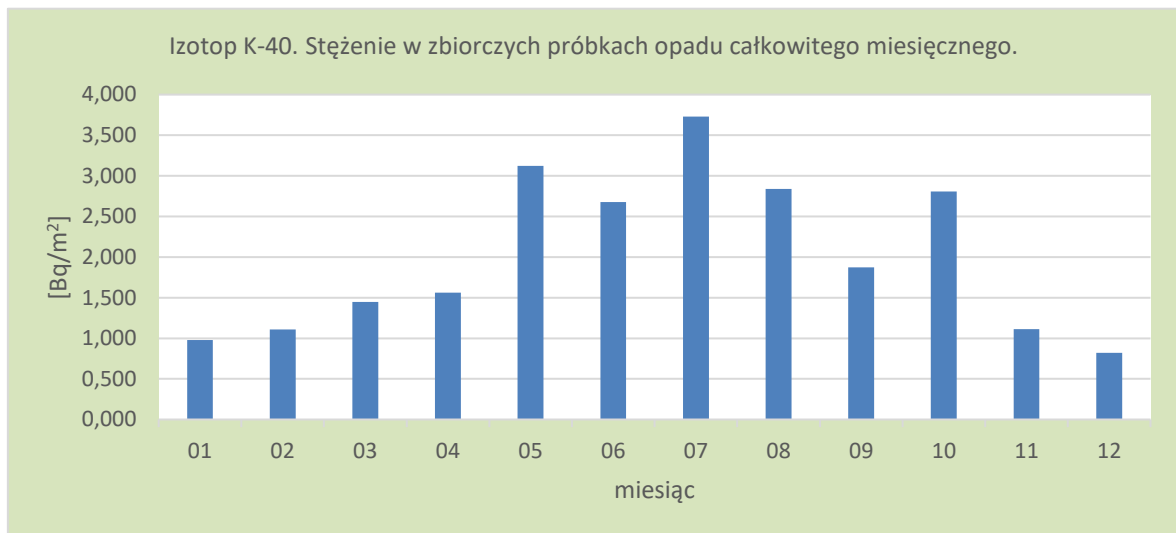


Rys. 67. Stężenie promieniotwórcze  $^{228}\text{Ac}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2021 roku

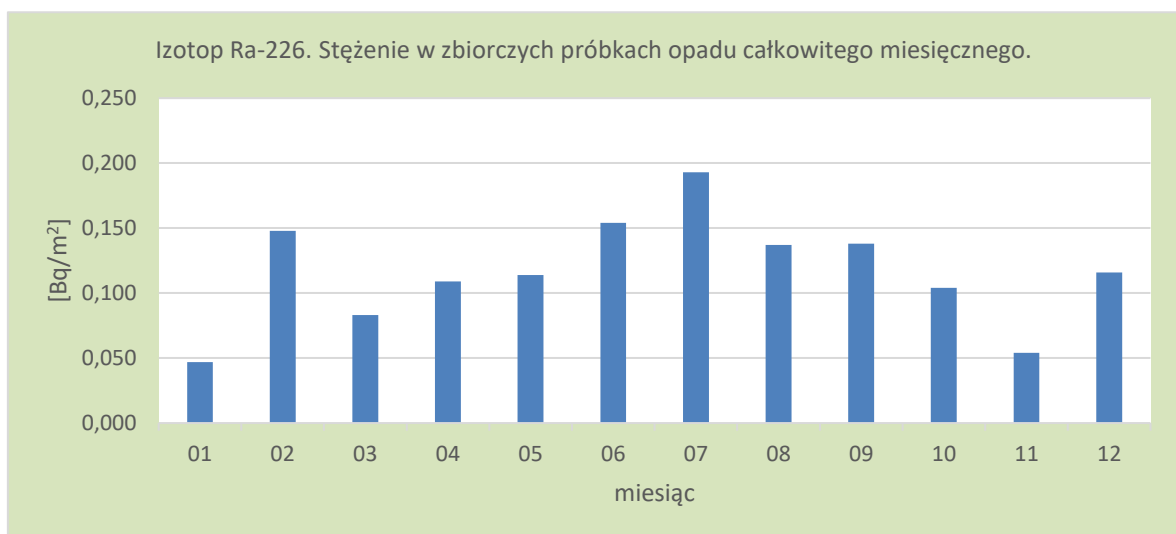




Rys.68. Stężenie promieniotwórcze <sup>7</sup>Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2021 roku



Rys.69. Stężenie promieniotwórcze <sup>40</sup>K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2021 roku



Rys.70. Stężenie promieniotwórcze <sup>226</sup>Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2021 roku

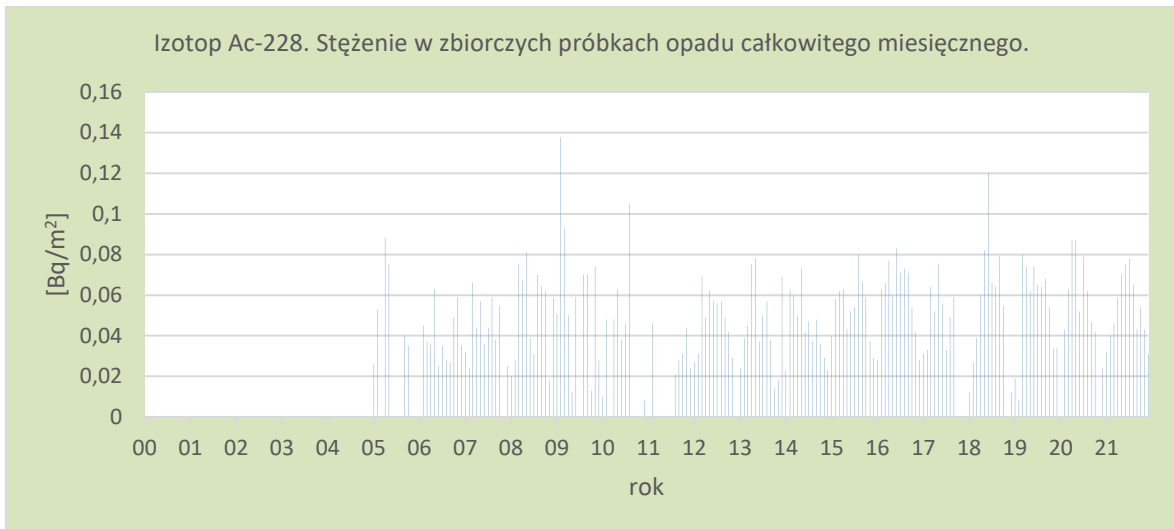
## Porównanie wyników uzyskanych w roku 2021 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W okresie od 2000 do 2021 roku (Tabela 20) spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy  $^7\text{Be}$  i  $^{40}\text{K}$  (Rys. 67-70). Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  wypłukiwaniem tych izotopów z atmosfery.

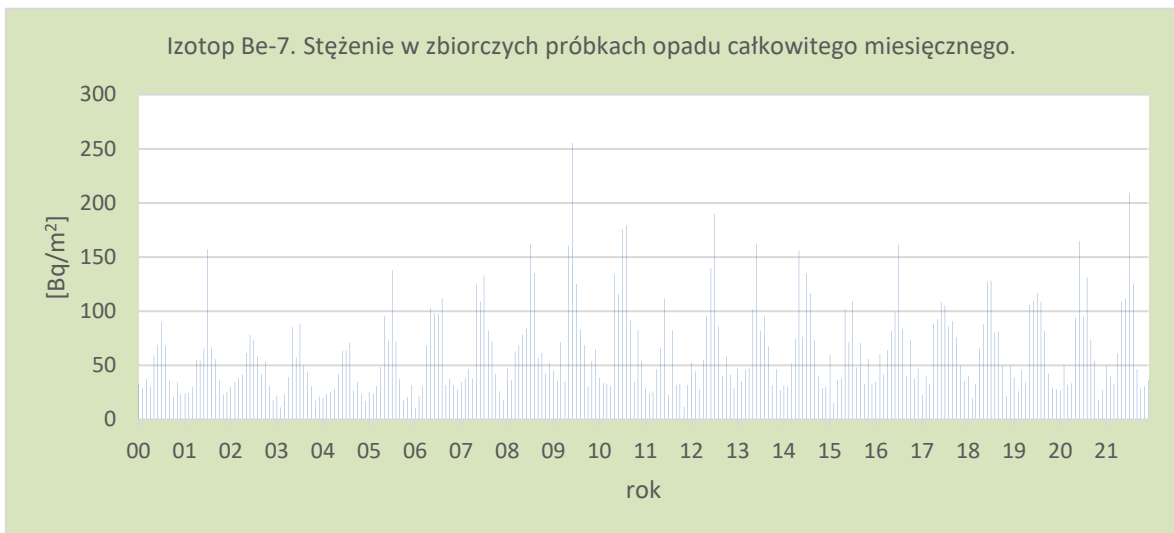
W roku 2021 średnie roczne ładunki pierwiastków:  $^7\text{Be}$ ,  $^{40}\text{K}$  i  $^{228}\text{Ac}$  były wyższe od średniej uzyskanej z lat 2000-2021, a w przypadku  $^{226}\text{Ra}$  ładunek w roku 2021 był niższy od średniej z badanego okresu (Tabela 20).

Tabela 20. Roczna suma aktywności  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{40}\text{K}$  w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2021, [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ]

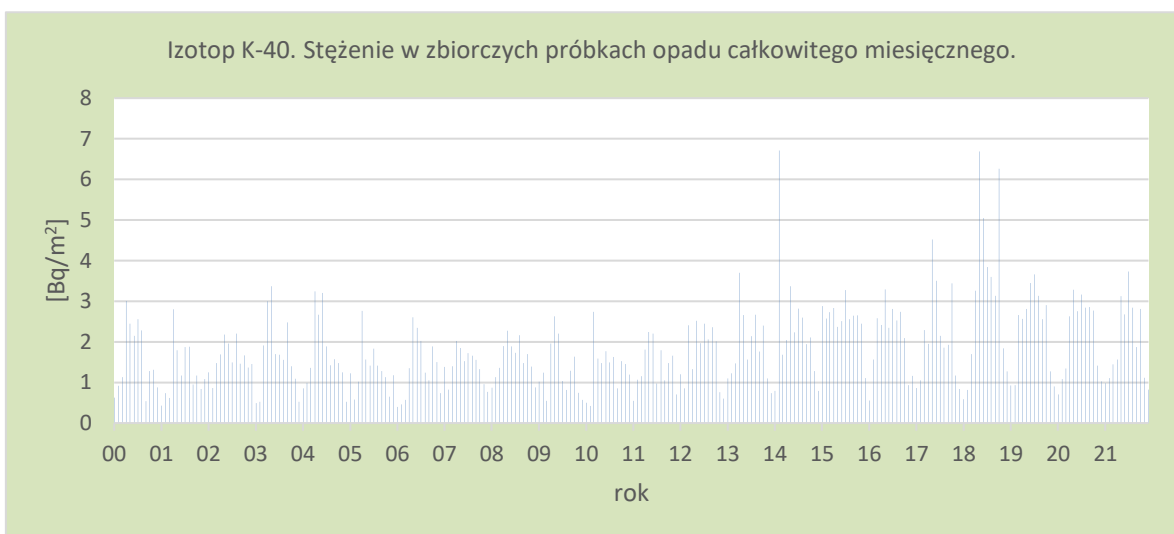
Rok	Ac-228	Be-7	K-40	Ra-226
2000	-	531,960	19,140	2,530
2001	-	618,030	15,340	2,490
2002	-	559,700	19,060	2,490
2003	-	489,520	19,720	2,330
2004	-	439,582	20,447	2,974
2005	0,402	614,147	16,064	2,584
2006	0,450	670,895	16,184	1,068
2007	0,493	764,630	16,991	1,299
2008	0,614	888,322	18,764	1,817
2009	0,676	1029,896	15,692	1,414
2010	0,366	1005,669	16,629	0,814
2011	0,194	517,800	16,686	0,659
2012	0,528	859,883	20,504	1,393
2013	0,069	790,772	22,519	0,848
2014	0,531	845,448	28,378	0,801
2015	0,643	673,615	30,566	0,804
2016	0,716	826,462	25,006	1,450
2017	0,452	827,514	25,547	1,071
2018	0,616	785,165	38,046	1,548
2019	0,636	767,437	27,769	1,192
2020	0,586	801,079	25,871	0,884
<b>2021</b>	<b>0,636</b>	<b>881,847</b>	<b>24,079</b>	<b>1,397</b>
Średnia	0,506	735,881	21,773	1,539
Maksymalna	0,716	1029,896	38,046	2,974
Minimalna	0,069	439,582	15,340	0,659



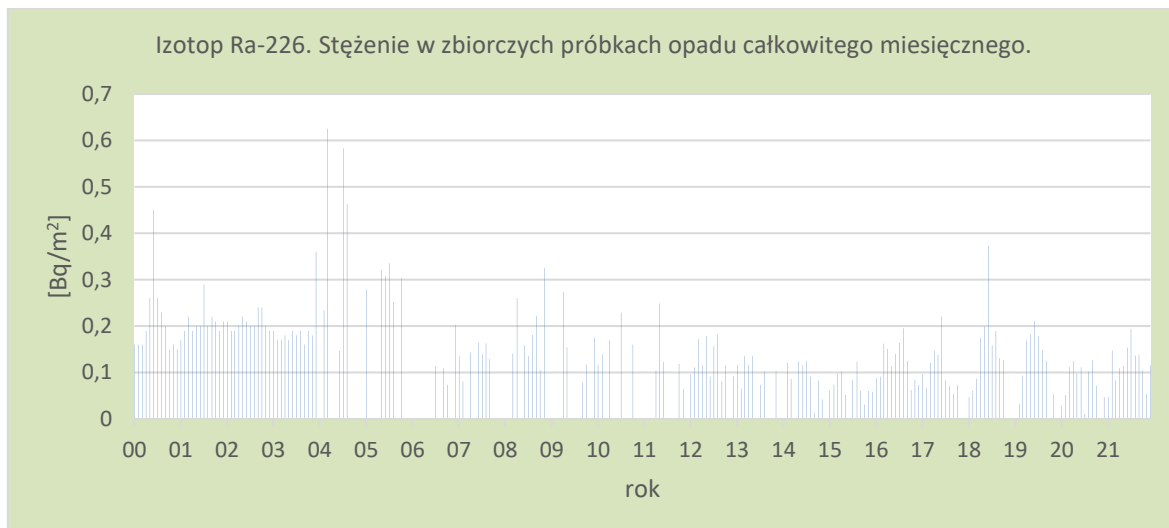
Rys.71. Stężenie promieniotwórcze <sup>228</sup>Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2021



Rys.72. Stężenie promieniotwórcze <sup>7</sup>Be w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2021



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze <sup>40</sup>K w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2021



Rys. 74. Stężenie promieniotwórcze  $^{226}\text{Ra}$  w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2021

#### 4. Podsumowanie

W 2021 roku monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy atmosfery prowadzono w ramach umowy DMŚ/139/2020/F zawartej 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., Poznaniu<sup>3</sup>, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2021 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:  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{134}\text{Cs}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
8. Pomiar spektrometryczny izotopów naturalnych w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.
9. Pomiar radiochemiczny aktywności izotopu  $^{90}\text{Sr}$  w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego.

Wyniki uzyskane w roku 2021 zestawiono w Tabeli 21.

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

Tabela 21. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2021

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna <sup>4</sup>			
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia <b>90,1 nSv/h</b> str. 17			
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia <b>8,302 Bq/m<sup>3</sup></b> str. 23			
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia <b>0,062 Bq/m<sup>3</sup></b> str. 27			
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia <b>0,272 Bq/m<sup>3</sup></b> 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 <b>0,9 Bq/m<sup>2</sup></b> str. 35	Średnia suma roczna <b>317 Bq/m<sup>2</sup></b> str. 36		
6.	Globalna aktywność beta wody opadowej <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia <b>328,9 mBq/l</b> str. 40			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia <b>8,0 Bq/m<sup>2</sup></b> str.45			
8.	Stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <i>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</i>	Wartość średnia <b>0,023 Bq/m<sup>2</sup></b> str. 50	Suma roczna <b>0,271 Bq/m<sup>2</sup></b> str.50		
9.	Stężenie promieniotwórcze <sup>134</sup> Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <i>Bardzo niskie wartości na poziomie zdolności detekcyjnych aparatury</i>	<i>Poniżej zdolności detekcji</i>		<i>Poniżej zdolności detekcji</i>	
10.	Stężenie promieniotwórcze <sup>90</sup> Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <i>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</i>	Wartość średnia <b>0,010 Bq/m<sup>2</sup></b> str. 53	Suma roczna <b>0,118 Bq/m<sup>2</sup></b> str. 53		
12.	Sumy roczne aktywności <sup>228</sup> Ac, <sup>7</sup> Be, <sup>40</sup> K, <sup>226</sup> Ra, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. [Bq/m <sup>2</sup> ] <i>Wartości na poziomie tła</i> str. 56	Ac-228	Be-7	K-40	Ra-226
<b>0,636</b>		<b>881,847</b>	<b>24,079</b>	<b>1,397</b>	

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

## 5. Wnioski

Poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery związany z obecnością izotopów promieniotwórczych sztucznych i naturalnych w 2021 roku nie odbiegał w sposób znaczący od poziomu, który obserwowano w poprzednich latach, pomimo wzmożonej aktywności wulkanicznej w Europie.

Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2021 roku wyniosła 90,1 nSy/h i jest niższa od obserwowanej w roku poprzednim o 0,7 nSy/h. W latach 2000 - 2021 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 nSy/h w 2010 roku do 99,1 nSy/h w 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła 93,7 nSy/h.

W roku 2021 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o 0,1 Bq/m<sup>3</sup> niższe niż w roku ubiegłym i wynosiło 8,3 Bq/m<sup>3</sup>. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2021 wynosi 7,2 Bq/m<sup>3</sup>.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2021 roku wyniosło 0,062 Bq/m<sup>3</sup> i było o 0,022 Bq/m<sup>3</sup> niższe od ubiegłorocznego średniego stężenia. W badanym okresie najniższe średnie roczne stężenie 0,004 Bq/m<sup>3</sup> uzyskano w 2001 roku, natomiast średnia ze wszystkich lat utrzymuje się na poziomie 0,039 Bq/m<sup>3</sup>.

Średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w 2021 roku wyniosło 0,274 Bq/m<sup>3</sup> i było niższe o 0,056 Bq/m<sup>3</sup> niż w ubiegłym roku. Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2020 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych od 2000 roku. Wartości te są ponad dziewiętnastokrotnie wyższe niż minimalne średnie stężenie przypadające na rok 2001. Aktywności te uznawane są za niskie, pozostające na poziomie tła i niestanowiące zagrożenia. Średnia aktywność badanego promieniowania w aerozolach w badanym okresie wyniosła 0,131 Bq/m<sup>3</sup>.

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 wartości, niestanowiące zagrożenia.

Globalna aktywność beta dla całego obszaru Polski, opisująca dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta do powierzchni Ziemi, obliczona jako suma wszystkich stężeń dobowych rejestrowanych na wyznaczonych stacjach w 2021 roku wyniosła 0,32 kBq/m<sup>2</sup>/rok. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2021 utrzymuje się na poziomie 0,32 kBq/m<sup>2</sup>/rok.

W 2021 roku średnia aktywność beta wody opadowej wyniosła 328,9 mBq/l. Średnia aktywność beta wody opadowej w okresie 2000-2021 utrzymuje się na poziomie 338 mBq /l.

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w roku 2021 wyniosła 8,0 Bq/m<sup>2</sup> i była o 0,8 Bq/m<sup>2</sup> wyższa od średniorocznej aktywności z zeszłego roku. W latach 2000 – 2021 najniższą wartość uzyskano w roku 2005 (6,0 Bq/m<sup>2</sup>), najwyższa zaś przypada na rok 2017 (8,7 Bq/m<sup>2</sup>). Średnia aktywność tego promieniowania w całkowitym opadzie miesięcznym w omawianym okresie utrzymuje się na poziomie 7,3 Bq/m<sup>2</sup>.

W 2021 roku średni ładunek <sup>137</sup>Cs wraz z opadem atmosferycznym wynosił 0,023 Bq/m<sup>2</sup>, w przypadku <sup>134</sup>Cs stężenia tego izotopu były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe ładunki <sup>137</sup>Cs odnotowane zostały w grudniu (0,004 Bq/m<sup>2</sup>), natomiast najwyższe w lipcu i wynosiły 0,074 Bq/m<sup>2</sup>.

Roczna suma dopływu <sup>137</sup>Cs w 2021 roku wyniosła 0,271 Bq/m<sup>2</sup> i była o 0,061 Bq/m<sup>2</sup> wyższa od wartości w 2020 (0,210 Bq/m<sup>2</sup>), a jednocześnie około 4 razy mniejsza od wartości uzyskanej 2011 (1,067 Bq/m<sup>2</sup>) kiedy odnotowano podwyższoną depozycję na skutek awarii elektrowni atomowej w Fukushima. Średnia suma rocznych dopływów <sup>137</sup>Cs dla okresu 2000-2021 wyniosła 0,521 Bq/m<sup>2</sup>.

W przypadku izotopu  $^{134}\text{Cs}$ , tylko w latach 2011 i 2012 określono jego dopływ, w pozostałych latach jego stężenia nie przekraczały limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Od 2000 roku oprócz incydentu w Fukushima nie zanotowano obecności  $^{134}\text{Cs}$  w powietrzu.

Najwyższe stężenie  $^{90}\text{Sr}$  w 2021 roku zarejestrowano w marcu ( $0,019 \text{ Bq/m}^2$ ) a najniższą aktywność stwierdzono w lutym ( $0,003 \text{ Bq/m}^2$ ). Pozostałe stężenia promieniotwórcze w kolejnych miesiącach mieściły się w przedziale od  $0,006 \text{ Bq/m}^2$  do  $0,016 \text{ Bq/m}^2$ . Roczny dopływ  $^{90}\text{Sr}$  wraz z opadem całkowitym w 2021 roku wyniósł  $0,118 \text{ Bq/m}^2$  i był o  $0,005 \text{ Bq/m}^2$  niższy niż w ubiegłym roku. Średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2021 jest na poziomie  $0,132 \text{ Bq/m}^2$ .

W okresie od 2000 do 2021 roku, spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy  $^7\text{Be}$  i  $^{40}\text{K}$ . Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  wypłukiwaniem tych izotopów z atmosfery. W roku 2021 średnie roczne ładunki pierwiastków wynosiły:  $0,636 \text{ Bq/m}^2$  -  $^{228}\text{Ac}$ ,  $881,847 \text{ Bq/m}^2$  -  $^7\text{Be}$ ,  $24,079 \text{ Bq/m}^2$  -  $^{40}\text{K}$  oraz  $1,397 \text{ Bq/m}^2$  -  $^{226}\text{R}$ .