

**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 I
RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI i ANALIZY
ZA ROK 2020**



Dofinansowano 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 Andrzej Czuryłowski

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 2021

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 2020 roku w odniesieniu do okresu 2000-2019
 - 3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu
 - 3.2. Radioaktywność próbek aerozoli w powietrzu
 - 3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa
 - 3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa
 - 3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta
 - 3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego
 - 3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego
 - 3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej
 - 3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.4. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.5. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
 - 3.6. Stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac , ^{40}K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego
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 2020-2025¹.

Państwowy Monitoring Środowiska - art. 23 ust. 2 ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. z 2020 r. poz. 995), 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 Środowiska².

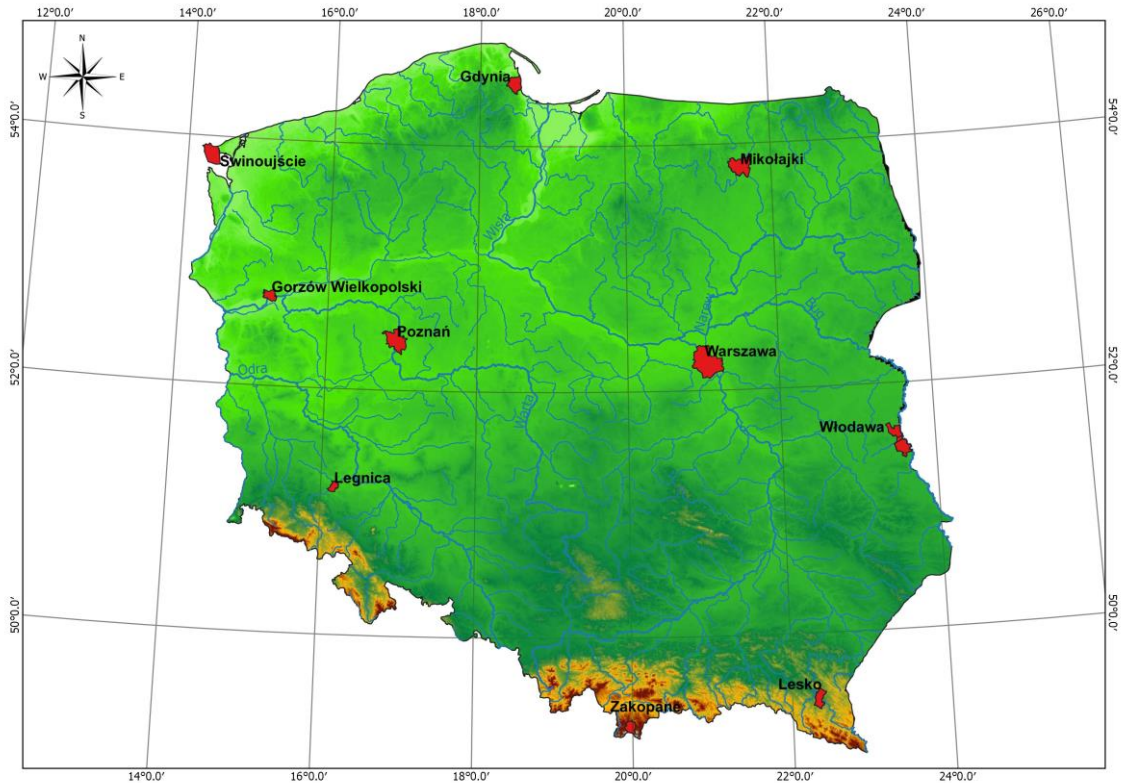
Dnia 8 września 2020 roku podpisana została umowa nr DMS/139/2020/F między IMGW-PIB a Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska na wykonanie pracy pt.: „**Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2020 – 2022. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów 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 2020 do 30 września 2020 r., wykonanych w ramach umowy 8/2018/F z dnia 30.05.2018 r. „**Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2018 – 2020. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych**” oraz wyniki pomiarów prowadzonych od 1 października 2020 do 31 grudnia 2020 r., wykonanych w ramach umowy DMS/139/2020/F z dnia 08.09.2020 r. „**Monitoring promieniowania jonizującego realizowany w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w latach 2020 – 2022. Zadanie 1: Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych**”.

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

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

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



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

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 wyznaczonej aktywności sztucznych emiterów beta promieniotwórczych.
- c) Pomiary globalnej aktywności beta próbek dobowego opadu całkowitego oraz próbek miesięcznego opadu całkowitego na 9 stacjach pomiarowych (w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Poznaniu, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach).
- d) Spektrometryczne pomiary aktywności ^{137}Cs i wybranych naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.
- e) Radiochemiczne oznaczanie ^{90}Sr w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki uzyskane w roku 2020 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. Pobieranie i przygotowanie próbek

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

- a) Pobór próbek całkowitego opadu dobowego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do kuwety o powierzchni 1500 cm² napełnionej warstwą wody o grubości 1 cm eksponowanej przez okres 24 godzin, od godziny 6 UTC. Po zakończeniu ekspozycji próbki odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę spopiela się następnie w piecu mufowym w temperaturze 450°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 mg/cm³, co pozwala na zaniedbanie samoabsorpcji.
- b) Pobór próbek całkowitego opadu miesięcznego polegający na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do trzech kuwet o łącznej powierzchni 4500 cm² eksponowanych przez okres jednego miesiąca od każdego pierwszego dnia danego miesiąca. Przyjęto, że próbce opadu całkowitego przypisuje się datę dnia, w którym rozpoczęto jej ekspozycję. Po zakończeniu ekspozycji próbki, zebraną wodę odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę spopiela się następnie w piecu mufowym w temperaturze 450°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 mg/cm³, co pozwala na zaniedbanie samoabsorpcji.
- c) Pobór próbek aerozoli powietrza odbywający się poprzez wymuszony przepływ powietrza przez odpowiednie filtry w cyklach półgodzinnych. Próbki 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 ok. 1 metr nad powierzchnią ziemi, dokonująca równoczesnego i niezależnego pomiaru:

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

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

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

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

W sondzie TDSG zastosowano następujące detektory wartości fizycznych:

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

Rejestracja danych pomiarowych

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

1. Zadawanie parametrów pracy (HV, wzmocnienia zgrubnego i precyzyjnego, parametrów układu stabilizacji widma, czasu pojedynczego pomiaru, współczynników kalibracyjnych),
2. Zapis i odczyt danych pomiarowych (bieżących i archiwalnych) – mocy dawki, spektrum, czasu pomiaru, ilości impulsów, temperatury, wilgotności,
3. Prezentacja na monitorze komputera danych pomiarowych (bieżących i archiwalnych) w postaci cyfrowej i wykresów,
4. Analiza danych pomiarowych w oparciu o zadane algorytmy w celu wykrycia obecności w powietrzu i rozróżnienia sztucznych i naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych, odpowiedzialnych za wzrost mocy dawki,

5. Algorytm rozpoznawania izotopów w sposób ręczny lub automatyczny,
6. Zapis wszystkich danych pomiarowych bieżących i archiwalnych do plików tekstowych i XML,
7. Współpraca oprogramowania z sondą TDSG z komputera lokalnego (przez port szeregowy, jak i LAN) oraz z komputerów zdalnych (przez intranet),
8. Przeprowadzanie wstępnej autokalibracji,
9. Autodiagnostyka prawidłowości pracy i zbieranych wyników pomiarowych,
10. Tworzenie raportów zawierających wyniki pomiarów oraz wykresy (w formacie txt oraz PDF) za dowolny okres,
11. Funkcja statystyki danych pomiarowych tj. określanie wyników każdego pomiaru w postaci średnich godzinnych oraz średnich, maksymalnych i minimalnych za dobę oraz inny dowolny okres, obliczanie odchylenia standardowego dla dowolnej serii danych pomiarowych i zapis obliczeń w plikach txt oraz możliwość dołączenia ich do raportu.

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

Monitor LB 9128-MAXI składa się z następujących bloków:

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

- Detektor Beta lub odpowiednio Alfa/Beta mierzy bezpośrednio na powierzchni gromadzenia pyłu, aby nie występowało żadne opóźnienie oceny. 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 mm². Zarówno dla sygnałów Beta, jak i Alfa dostępna jest kompensacja wpływu produktów rozpadu radonu metodą pseudo koincydencji. Oddzielny próg wysokiej energii cząstek Alfa (nastawiany w zakresie od 6 do 10 MeV) może być używany do oddzielnej oceny zawartości toronu (produkt rozpadu Rn-220) w powietrzu, na podstawie rozpadu Po-212 (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°C i przeznaczony do wytwarzania przepływu próbki, wynoszącego 8 m³/godz., wyposażony w czujnik przepływu lub opcjonalnie w przepływomierz (o zasadzie pomiaru typu Vortex lub kalorymetrycznej).
- Elektronika oceny pomiaru oparta jest na rejestratorze LB 9000. Sercem rejestratora jest komputer PC z systemem operacyjnym Windows XP. Detektory i czujniki firmy Berthold łączą się z komputerem przez interfejsy, oparte na inteligentnych modułach peryferyjnych i komunikują się z panelem PC przy użyciu szyny danych CAN. W tej koncepcji elementy detektora Gamma komunikują się przy użyciu jednego z interfejsów USB komputera PC. Możliwość wielozadaniowości, właściwe systemowi Windows XP, pozwalają na jednoczesne uruchomienie 2 programów (LB9000 - GammaVision).

Kompensacja produktów rozpadu radonu

Aby móc wykrywać najniższe poziomy sztucznej radioaktywności w obecności naturalnego promieniowania (produkty rozpadu radonu lub toronu), które mogą wahać się od 1 do kilkuset Bq/m³, zależnie od miejsca, pory roku, pory dnia lub nocy, warunków pogodowych - wymagana jest pełna dyskryminacja naturalnej aktywności. W monitorze cząstek Beta może być to uzyskane przy użyciu kompensacji metodą stosunku Beta/Alfa, a w monitorze Alfa/Beta metodą kompensacji ABPD.

Kompensacja metodą stosunku Beta/Alfa

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

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

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

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

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

Każdy z torów zawiera:

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

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

We wspólnej obudowie TDSPI zainstalowane są:

1. Dwutorowy spektrometr TDSPI zawierający dwa niezależne tory spektrometryczne przystosowane do współpracy z sondami scyntylacyjnymi beta i/lub gamma (tor pierwszy z SSU-TD-BETA lub SSU-70, tor z CANBERRA). Każdy z nich zawiera:
 - a. zasilacz wysokiego napięcia (500-1500 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 miejsca 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

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

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

$$K = \frac{A_w}{((N_{wt} - N_t) * S)} \left[\frac{Bq}{\frac{imp}{min} m^2} \right]$$

2. Aktywność próbek

$$A = K * (N_{pt} - N_t) \left[\frac{Bq}{m^2} \right]$$

3. Błąd statystyczny

a. dla pomiaru próbki

$$\Delta = T * \sqrt{\left(\frac{N_{pt}}{t_p} + \frac{N_t}{t_0}\right)}$$

b. dla pomiaru kalibracji

$$\Delta = T * \sqrt{\left(\frac{N_{wt}}{t_w} + \frac{N_t}{t_0}\right)}$$

4. Błąd statystyczny względny

$$a = \frac{\Delta}{N_{pt} - N_t} * 100\%$$

$$b = \frac{\Delta}{N_{pt} - N_t} * 100\%$$

5. Współczynnik dobroci

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

Oznaczenia:

- A_w – aktywność wzorca na dzień pomiaru [Bq],
- S – powierzchnia kuwety [m²],
- 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/MIX/14/16 i 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⁻³, zbliżonej do gęstości wzorców, próbki są prasowane specjalnym przyrządem, który jednocześnie pozwala wyznaczyć grubość warstwy popiołu.

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

Kod wzorca			BW/MIX/14/16					
Data referencyjna			1.01.2017					
Grubość warstwy			1mm	3mm	5mm	7mm	10mm	15mm
Izotop	Okres półrozpadu	Energia (MeV)	Aktywność na 12.04.2018 (Bq)					
²⁴¹ Am	432,6 ± 0,6 lat	0,026 0,060	54,16 ± 0,65	158,33 ± 1,89	257,71 ± 3,07	251,32±2,99	251,29±2,99	248,64±2,96
¹⁰⁹ Cd	461,4 ± 1,2 dni	0,088	104,63 ± 2,21	305,88 ± 6,46	497,85 ± 10,51	485,50±10,25	485,44±10,25	480,34±10,14
⁵⁷ Co	271,80 ± 0,05 dni	0,014	2,85 ± 0,02	8,32 ± 0,07	13,54 ± 0,11	13,21±1,11	13,20±0,11	13,06±0,11
		0,122						
		0,136						
¹¹³ Sn	115,09 ± 0,03 dni	0,255	2,18 ± 0,04	6,37 ± 0,13	10,36 ± 0,21	10,11±0,20	10,10±0,20	10,00±0,20
		0,392						
⁸⁵ Sr	64,850 ± 0,007 dni	0,514	0,252 ± 0,003	0,736 ± 0,009	1,199 ± 0,014	1,17±0,01	1,17±0,01	1,16±0,01
¹³⁷ Cs	30,05 ± 0,08 lat	0,662	43,39 ± 0,65	126,84 ± 1,90	206,45 ± 3,09	201,33±3,01	201,31±3,01	199,19±2,98
⁵⁴ Mn	312,13 ± 0,03 dni	0,835	24,78 ± 0,37	72,45 ± 1,09	117,92 ± 1,77	115,00±1,73	114,98±1,73	113,78±1,71
⁶⁵ Zn	244,01 ± 0,09 dni	1,116	28,46 ± 0,34	83,19 ± 0,99	135,41 ± 1,61	132,05±1,57	132,03±1,57	130,64±1,55
⁶⁰ Co	5,2710 ± 0,0008 lat	1,173	47,20 ± 0,39	137,84 ± 1,13	224,36 ± 1,83	218,79±1,79	218,76±1,79	216,46±1,77
		1,332						

Kod wzorca			16BW/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)					
²⁴¹ 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
¹⁰⁹ 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
⁵⁷ Co	271,80 ± 0,05 dni	0,014 0,122 0,136	6,78 ± 0,06	20,56 ± 0,17	33,5 ± 0,28	33,53 ± 0,28	32,86 ± 0,27	33,42 ± 0,28
¹¹³ 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
⁸⁵ 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
¹³⁷ 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
⁵⁴ 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
⁶⁵ 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
⁶⁰ 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.

σ – odchylenie standardowe tła w badanym pikcie.

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

Aktywność właściwą poszczególnych radionuklidów wyznaczano na podstawie zależności:

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

gdzie:

A_i – aktywność i -tego izotopu w próbce,

λ_i – stała rozpadu,

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

b – część masy próbki zbiorczej wziętej do analizy,

S – powierzchnia naczynia do zbierania opadu całkowitego (1500 cm²),

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

Radiochemiczne oznaczanie ^{90}Sr w miesięcznym opadzie całkowitym

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

ETAP I – Chemiczne oczyszczanie próbki

1. Przeprowadzenie izotopu ^{90}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_3 (1:1). Próbkę odparowuje się w ciągu 8 godzin, mieszając od czasu do czasu. Pozostałość w zlewce przesącza się przez twardy sączek. Osad jest odrzucany, przesącz uzupełniony wodą destylowaną do uzyskania 150 ml objętości.

2. Wytrącanie szczawianów.

- Do 150 ml przesączu dodaje się 100 ml 8% kwasu szczawowego, 1 ml nośnika strontu, kilka kropli zieleni bromkrezolowej 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_3 (na początku dodajemy kilka mililitrów kwasu, następnie dozujemy kwas kroplami aż do całkowitego rozpuszczenia osadu).

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

3. Spopielenie osadu.

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

4. Rozpuszczanie popiołu.

Osad w tyglu zwilża się wodą destylowaną, dodaje kilka mililitrów HNO_3 (1:1) aż do całkowitego rozpuszczenia osadu. Roztwór z tygla przenosi się ilościowo do zlewki i uzupełnia wodą destylowaną do uzyskania objętości ok. 70 ml.

5. Wytrącanie chromianu baru.

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

6. Wytrącanie wodorotlenku itru.

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

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

7. Wytrącanie wodorotlenku itru.

Po 18 dniach roztwór z butelki przenosi się do zlewki i zagęszcza przez odparowanie do objętości ok. 50 ml. Następnie dodaje się stężony amoniak do uzyskania pH 8 i podgrzewa do wytrącenia wodorotlenku itru. Osad oddziela się od roztworu przez sączenie. Roztwór zlewa się do butelki, jego pH doprowadza się, za pomocą HNO_3 , do wartości 2-3 oraz dodaje 1 ml nośnika itru. Tak przygotowany roztwór, pozostawiony na 18 dni, umożliwia powtórne przeprowadzenie analizy oraz kontrolę poprawności oznaczeń.

8. Wytrącanie szczawianów itru.

Osad wodorotlenku itru rozpuszcza się w kilku mililitrach HNO_3 (1:1). Następnie dodajemy ok. 25 ml wody destylowanej, 15-20 kropli nasyconego roztworu kwasu szczawowego oraz amoniak do uzyskania pH 5,5, by wytrąciły się szczawiany. Roztwór ogrzewa się do temp. 60°C , do całkowitego wytrącenia szczawianów.

9. Przygotowanie próbki do pomiarów.

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

ETAP III – Pomiar aktywności

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

Pomiary aktywności prowadzone są z zastosowaniem niskotłowego licznika przepływowego LB 4200, który umożliwia równoległy pomiar 6 prób. Czas pomiaru próbek minimum 2 godz. Przed każdym pomiarem mierzone jest tło, które nie przekracza wartości 0,6 imp/min. Kalibrację aparatury pomiarowej przeprowadza się z użyciem preparatu wzorcowego ^{90}Y o znanej aktywności i geometrii identycznej z geometrią próbek.

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

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

gdzie:

A – aktywność [Bq/m^2]

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

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

S – powierzchnia zbierająca [m^2]

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

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

gdzie:

t_0 – godzina oddzielenia osadu od roztworu

t_1 – godzina odpowiadająca połowie czasu pomiaru próbki

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

Błąd pomiaru:

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

σ - błąd pomiaru [Bq/m^2], t_p – czas pomiaru próby [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 2020 roku w odniesieniu do okresu 2000-2019

3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu

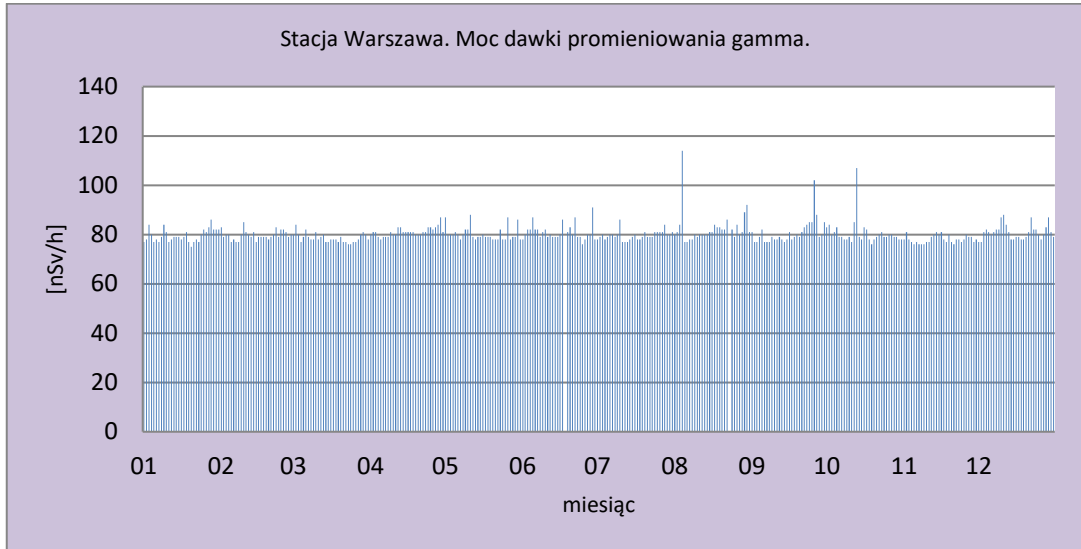
Moc dawki promieniowania gamma definiujemy jako ilość energii promieniowania jonizującego przekazaną jednostce masy w jednostce czasu, a jednostką dawki skutecznej w układzie SI jest siwert (Sv).

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

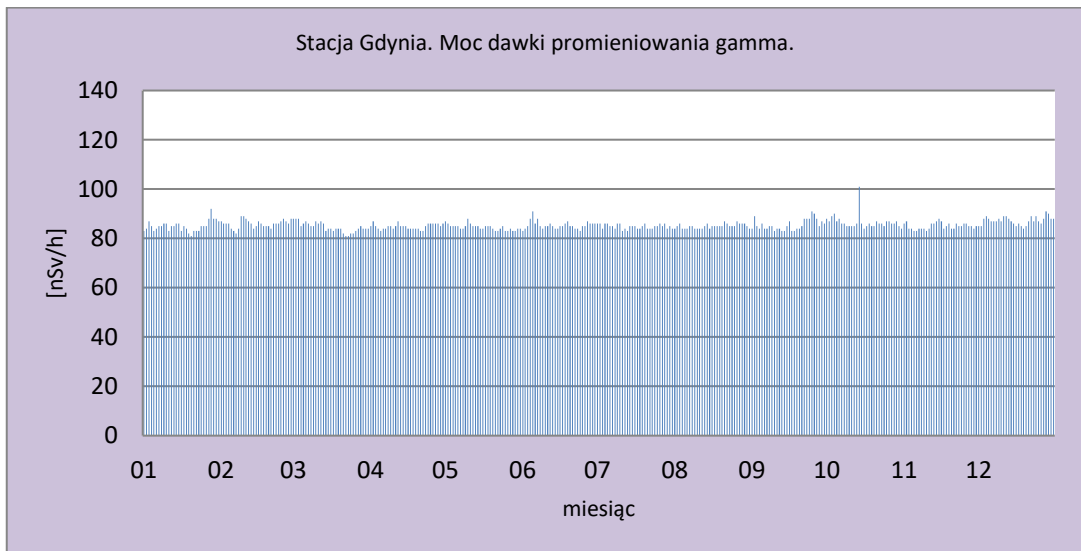
W 2020 roku wartości mocy dawki promieniowania gamma w atmosferze mierzone były w reżimie dobowym na 9 stacjach IMGW-PIB: Warszawa, Gdynia, Mikołajki, Gorzów Wielkopolski, Świnoujście, Legnica, Włodawa, Zakopane, Lesko. Pomiaru były prowadzone z wykorzystaniem sondy TDSG, poza stacją w Gorzowie Wielkopolskim, gdzie po awarii sondy TDSG, od lipca pomiary były prowadzone zapasową sondą FHZ621GL. Otrzymane wartości mocy dawki zmieniały się w szerokim zakresie (Rys. 2-10). Analizując dane z sondy TDSG, najniższe średnie miesięczne wartości: 76,6 nSv/h uzyskano w miesiącach: marzec, lipiec i listopad na stacji Świnoujście a maksymalną wartość mocy dawki zarejestrowano w sierpniu w Zakopanem – 118,6 nSv/h (Tabela 1). Uwzględniając zapasową sondę FHZ621GL, najniższa średnia miesięczna wartość, zarejestrowana w listopadzie na stacji w Gorzowie Wlkp. wynosi 66,1 nSv/h. Najniższa średnia roczna moc dawki promieniowania gamma uzyskana z wartości dobowych – 76,5 nSv/h charakteryzowała stację w Gorzowie Wielkopolskim (uwzględniono dane z obu sond), Świnoujściu (77,5 nSv/h) oraz Włodawie (79,7 nSv/h). Zbliżone wyniki odnotowano odpowiednio na stacjach: Warszawa, Gdynia, Legnica (między 80 a 100 nSv/h) oraz Mikołajki, Lesko, Zakopane (>100 nSv/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 90,8 nSv/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 2020 roku [nSv/h]

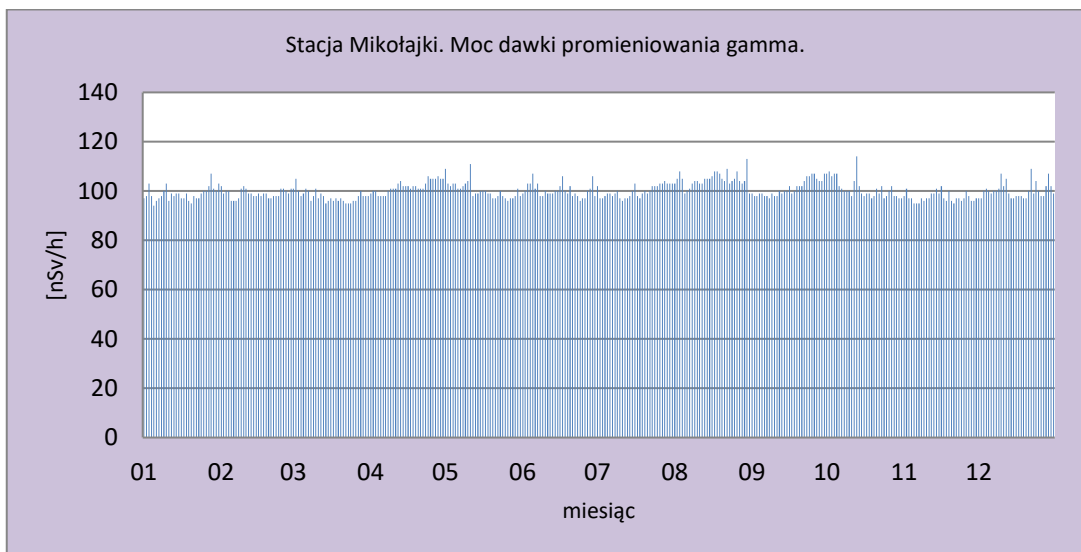
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	79,6	85,0	98,8	85,3	77,6	96,0	79,0	90,3	104,7	90,2
Luty	79,8	85,9	98,9	85,5	77,8	95,1	79,2	90,2	106,2	90,4
Marzec	78,6	84,6	97,8	84,6	76,6	94,5	78,2	106,7	106,8	92,2
Kwiecień	81,1	84,8	101,8	85,7	77,7	100,7	80,3	116,1	110,1	96,1
Maj	80,3	84,5	100,3	86,4	77,4	99,6	80,3	115,8	108,5	95,5
Czerwiec	81,0	85,4	100,3	87,3	77,7	98,6	80,4	116,0	108,4	95,5
Lipiec	79,6	84,8	99,8	66,7	76,6	100,6	79,1	114,5	107,9	92,2
Sierpień	82,6	85,0	104,6	67,7	77,4	103,1	81,1	118,6	112,3	95,0
Wrzesień	80,8	85,5	101,2	66,6	77,1	101,3	80,1	117,3	112,0	93,7
Październik	80,6	86,6	101,1	67,6	77,9	96,0	80,1	116,0	109,7	92,6
Listopad	78,1	85,0	97,4	66,1	76,6	93,4	78,1	112,5	106,0	90,0
Grudzień	81,0	87,3	100,3	69,3	79,8	96,7	80,9	114,2	109,1	92,9
Minimalna średnia dawka miesięczna	78,1	84,5	97,4	66,1	76,6	93,4	78,1	90,2	104,7	90,0
Maksymalna średnia dawka miesięczna	82,6	87,3	104,6	87,3	79,8	103,1	81,1	118,6	112,3	96,1
Średnia roczna	80,2	85,4	100,2	76,5	77,5	98,0	79,7	110,8	108,5	90,8



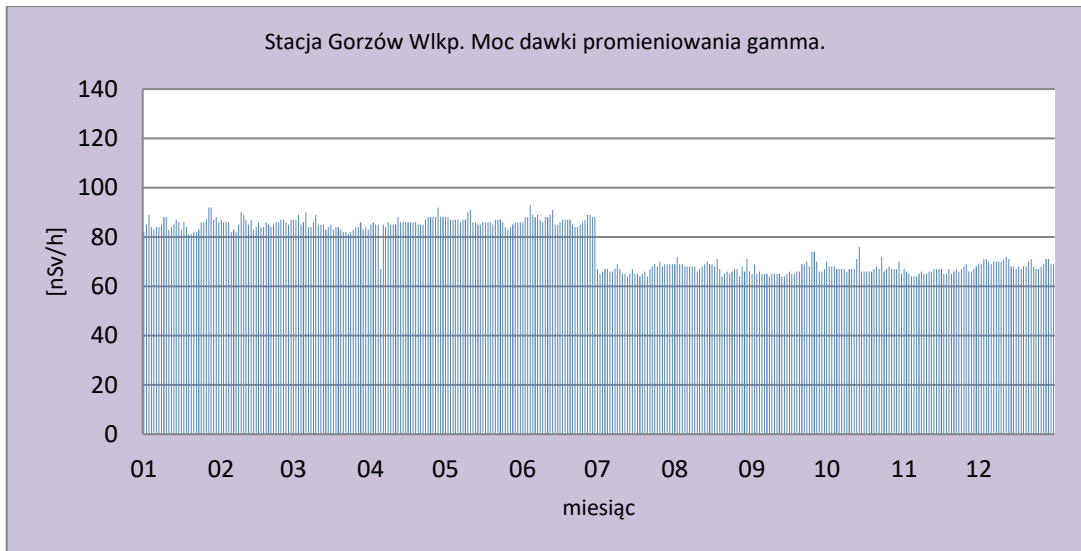
Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w 2020 roku



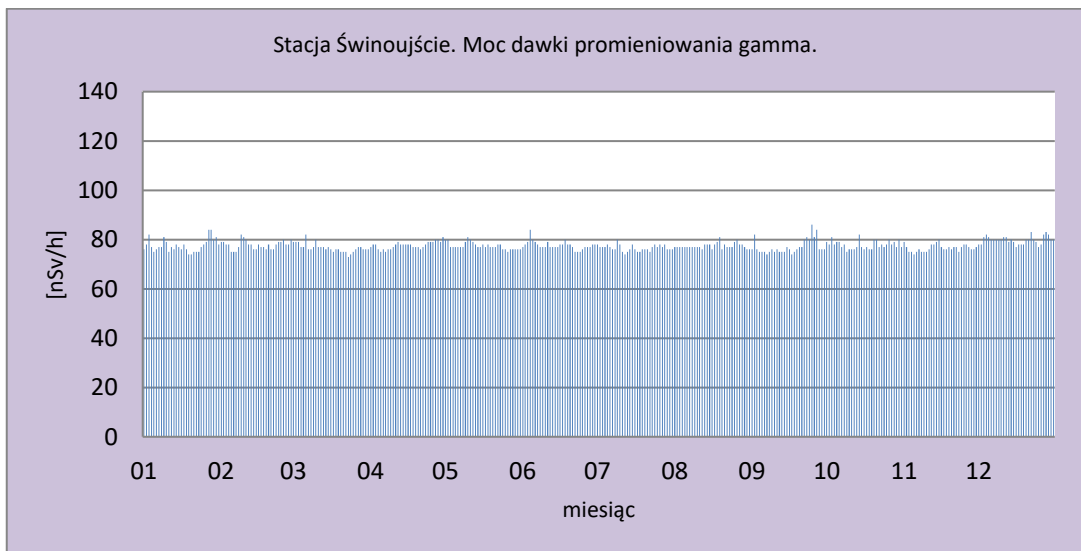
Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w 2020 roku



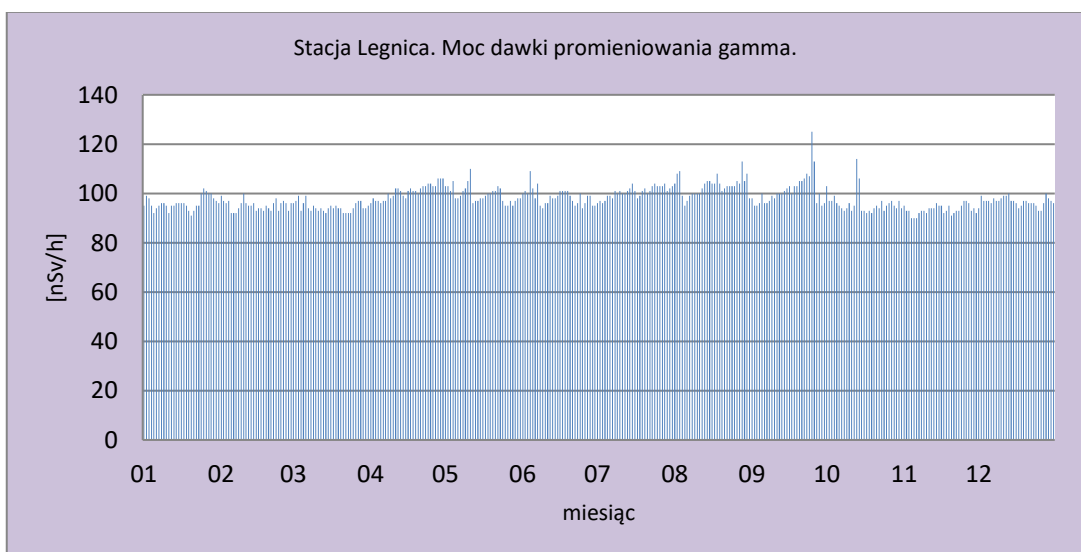
Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w 2020 roku



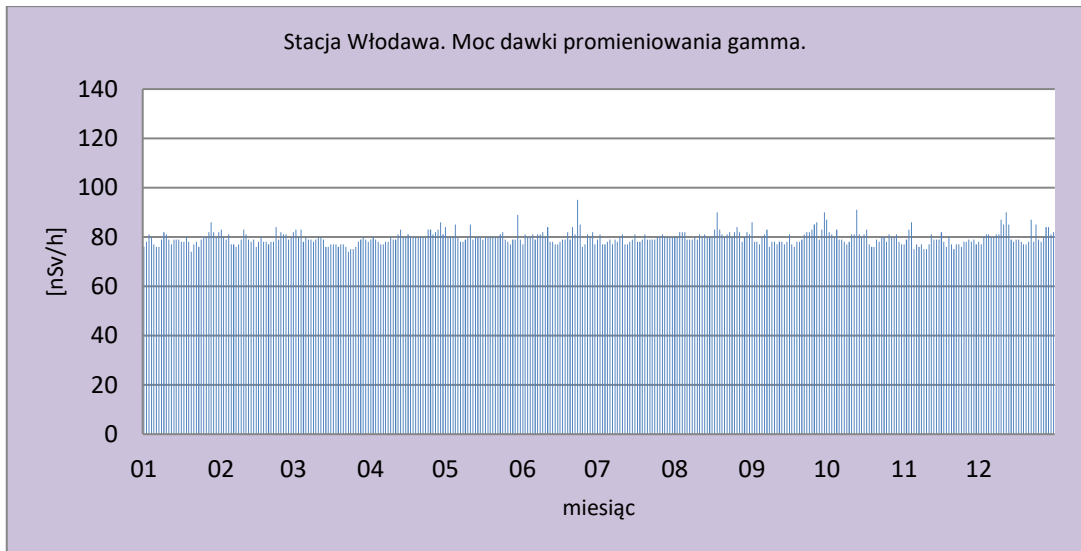
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w 2020 roku



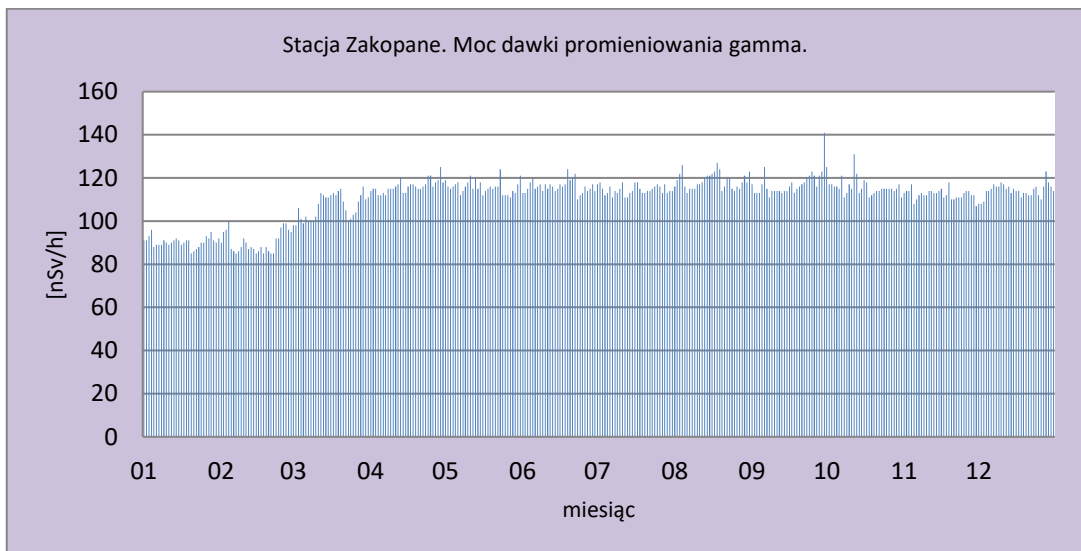
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w 2020 roku



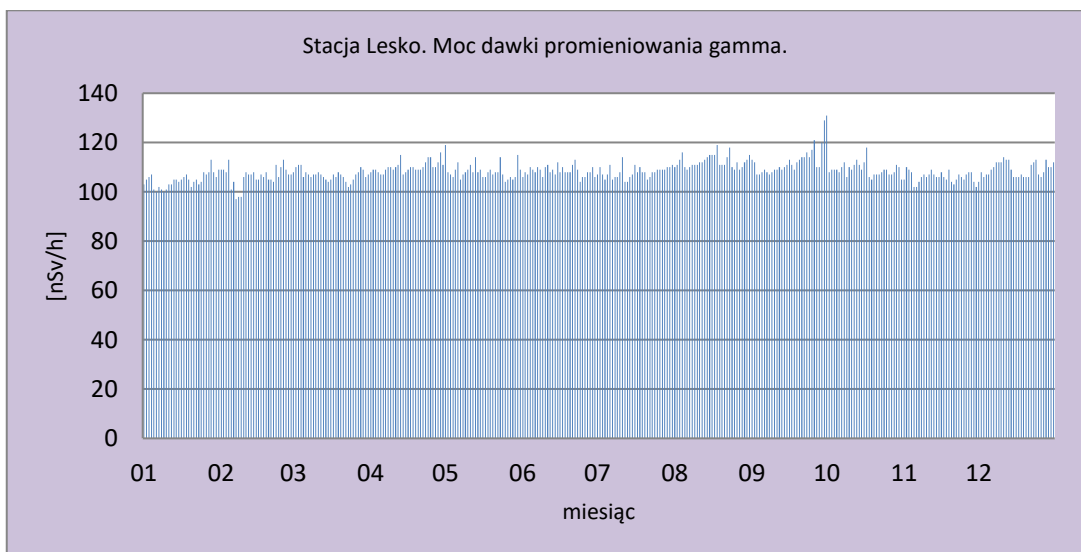
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w 2020 roku



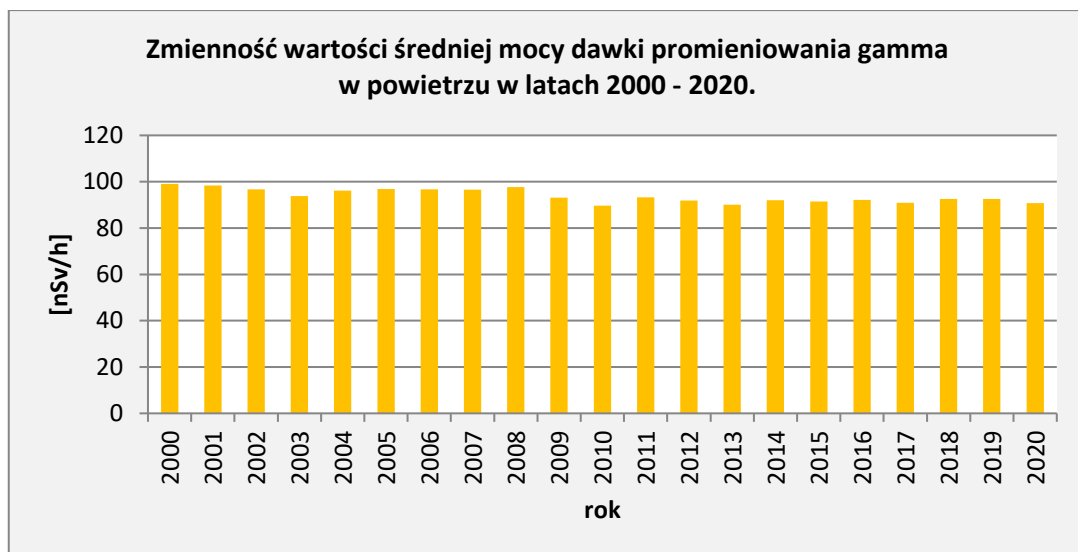
Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 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 2020 roku wyniosła 90,8 nSv/h i jest niższa od obserwowanej w roku poprzednim o 1,8 nSv/h (Tabela 2, Rys. 11). W latach 2000 - 2020 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. W omawianym okresie wartości te zmieniały się w stosunkowo wąskim przedziale od 89,6 nSv/h w 2010 roku do 99,1 nSv/h w 2000. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła 93,9 nSv/h.

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000 – 2020 [nSv/h]

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



Rys. 11. Średnia roczna moc dawki promieniowania gamma w latach 2000-2020

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 km.

Stężenie izotopów promieniotwórczych w atmosferze zależy również od warunków meteorologicznych.

W 2020 roku na 7 stacjach badawczych zostały wykonane pomiary poziomu radioaktywności w próbkach aerozoli związane z obecnością izotopów emitujących promieniowanie alfa, pochodzenia naturalnego i sztucznego, oraz z obecnością izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta.

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

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

3.2.1 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

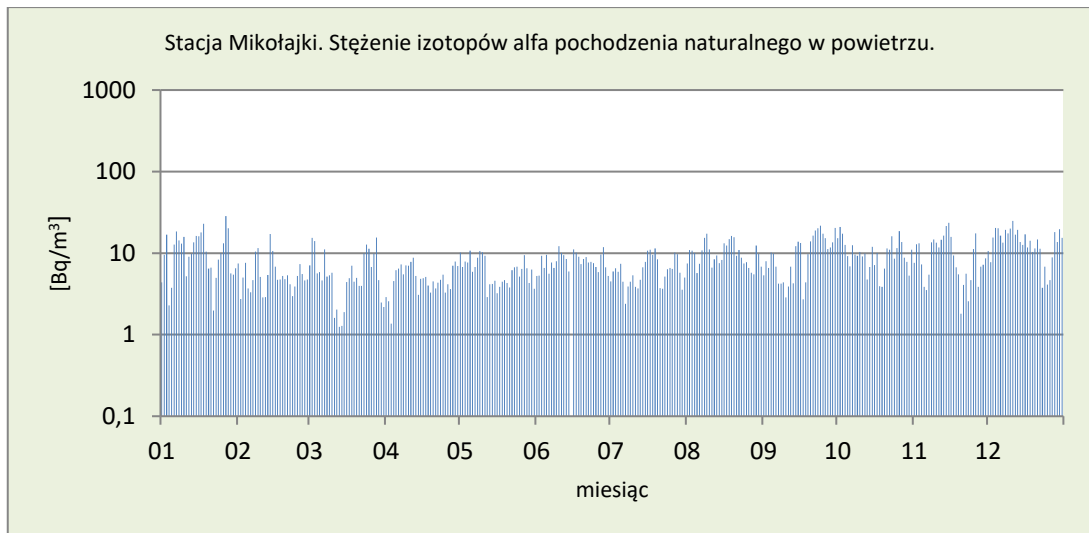
Średnie miesięczne stężenia izotopów alfa promieniotwórczych w 2020 roku zmieniały się w szerokim zakresie (Tabela 3, Rys. 12-18). Minimalną średnią miesięczną wartością 1,4 Bq/m³ charakteryzowały się aerozole zebrane w marcu na stacji Świnoujście, w pozostałych miejscowościach wartości były zbliżone i mieściły się w przedziale od 2,1 Bq/m³ (Gorzów Wielkopolski) do 5,5 Bq/m³ (Zakopane). Maksymalne średnie miesięczne stężenia izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa mieszczą się w zakresie: od najniższego zarejestrowanego w grudniu na stacji Świnoujście (8,3 Bq/m³) do najwyższego równego 38,1 Bq/m³ przypadającego na lipiec w Zakopanem. Było to stężenie ponad 4,5-krotnie wyższe niż średnia roczna wyznaczona dla całej Polski (8,4 Bq/m³). W okresie od drugiego tygodnia marca do połowy sierpnia w 2020 roku w miejscowości Świnoujście nie wykonano pomiarów z powodu awarii aparatury.

Analizując miesięczne wartości średnie obliczone na podstawie danych z 7 stacji, stwierdzono, że z wyjątkiem wartości 12,2 wyznaczonej dla lipca, najwyższe wartości notowane były w okresie jesienno-zimowym: grudzień (14,5 Bq/m³), wrzesień (10,3 Bq/m³). Najniższe charakteryzują miesiąc luty (3,8 Bq/m³) i maj (4,8 Bq/m³).

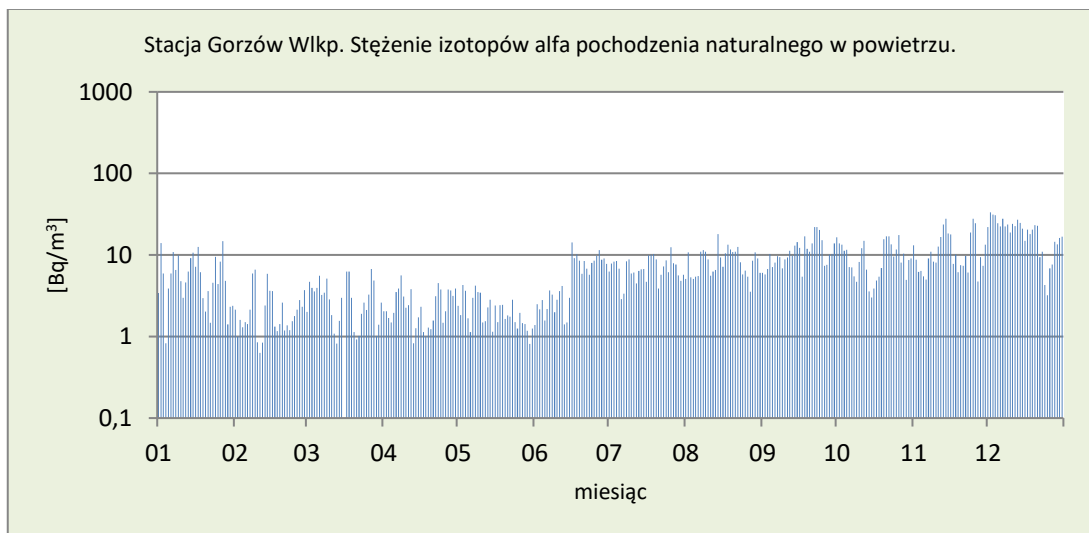
Tabela 3. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach w 2020 [Bq/m³]

Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	11,3	6,1	4,2	14,4	7,6	15,0	7,9	9,5
Luty	5,9	2,3	1,6	3,5	3,2	6,4	3,8	3,8
Marzec	6,4	3,1	1,4	8,1	3,7	8,0	5,4	5,1
Kwiecień	5,1	2,5	Awaria	13,3	3,8	8,4	6,0	6,5
Maj	6,3	2,1	Awaria	7,1	3,2	5,5	4,4	4,8
Czerwiec	8,1	5,7	Awaria	7,8	4,0	10,9	5,7	7,0
Lipiec	6,3	7,0	Awaria	10,4	4,1	38,1	7,1	12,2

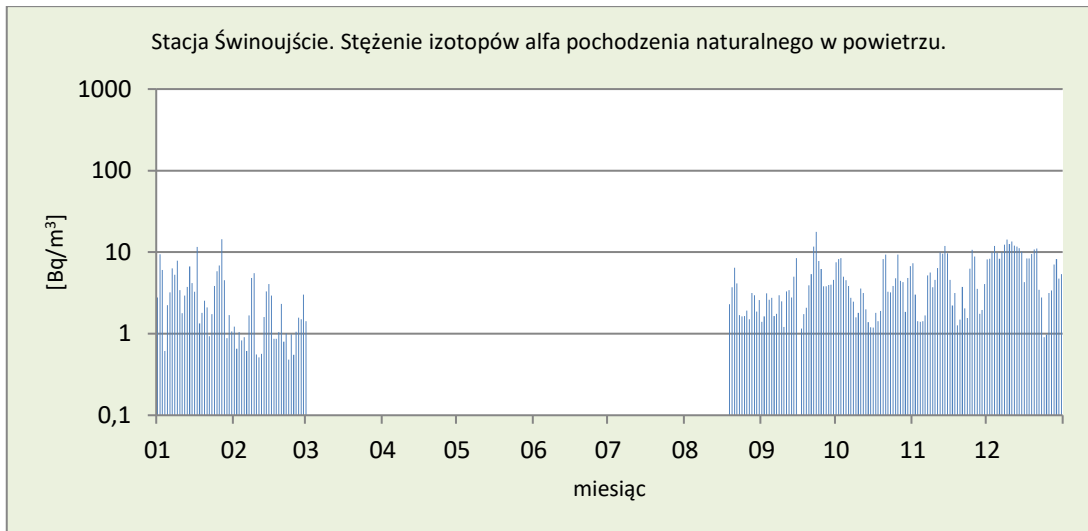
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Sierpień	10,0	8,6	2,7	13,5	6,2	14,1	10,5	9,4
Wrzesień	10,5	11,2	4,2	14,9	6,9	12,8	11,3	10,3
Październik	10,4	9,8	4,1	7,1	9,7	10,7	7,4	8,5
Listopad	9,8	12,0	4,7	10,2	8,6	16,3	8,1	10,0
Grudzień	14,0	19,3	8,3	15,9	14,4	16,8	13,0	14,5
Min. średnia miesięczna	5,1	2,1	1,4	3,5	3,2	5,5	3,8	3,5
Maks. średnia miesięczna	14,0	19,3	8,3	15,9	14,4	38,1	13,0	17,6
Średnia roczna na podstawie wartości dobowych	8,7	7,5	4,4	10,5	6,3	13,5	7,6	8,4



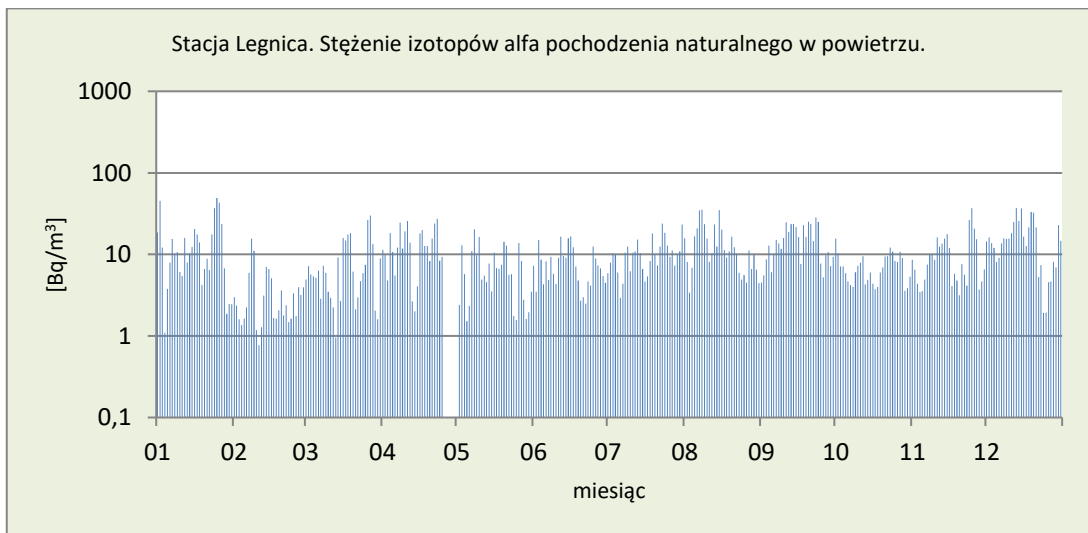
Rys. 12. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2020 roku



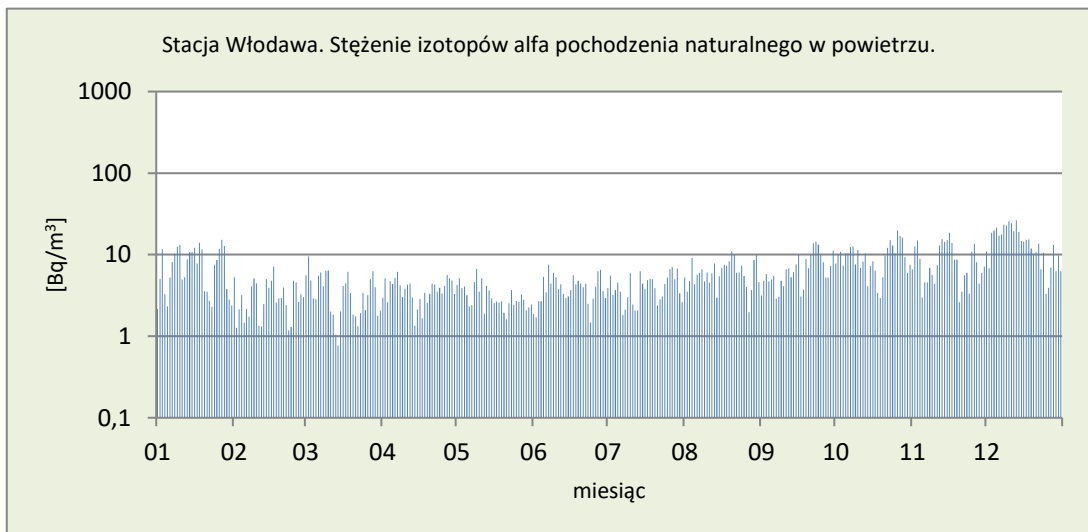
Rys. 13. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Gorzów Wlkp. w 2020 roku



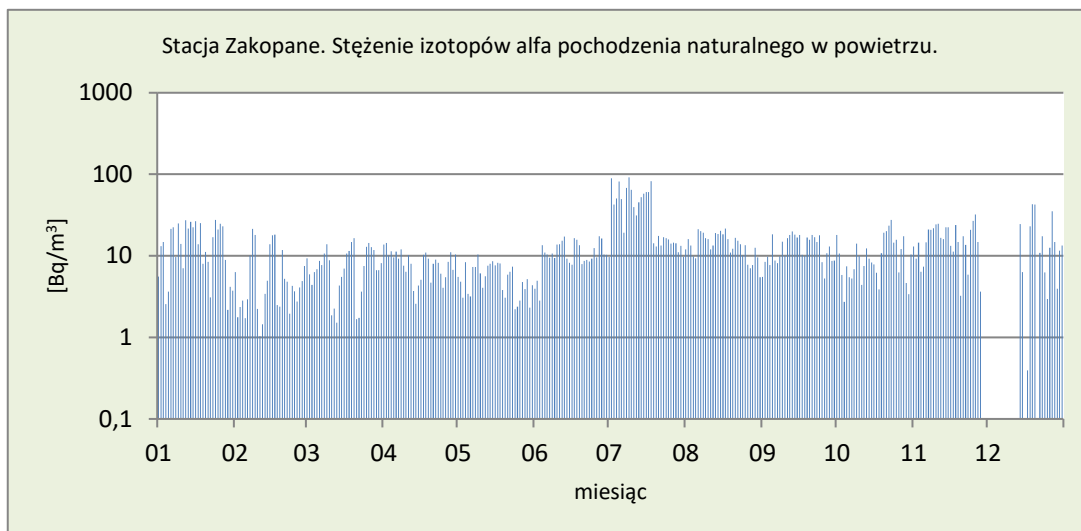
Rys. 14. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Świnoujście w 2020 roku



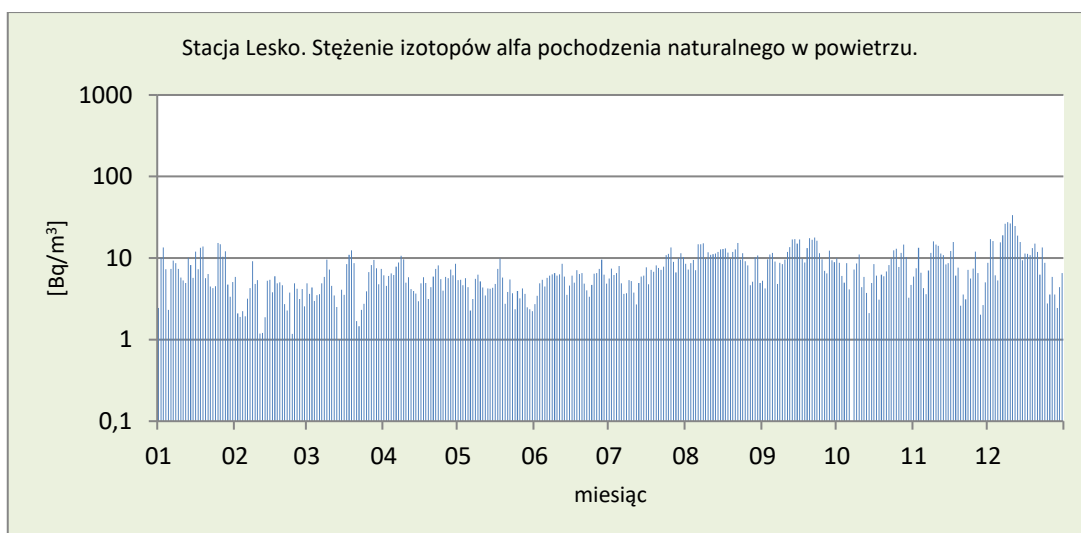
Rys. 15. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 16. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Zakopane w 2020 roku



Rys. 18. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W roku 2020 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o $0,9 \text{ Bq/m}^3$ wyższe niż w roku ubiegłym i wynosiło $8,4 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 4). Zbliżone wartości otrzymano również w latach: 2008 i 2009. W okresie ostatnich 18 lat nie obserwuje się jednoznacznych trendów zmian. Najniższe średnie stężenie ($4,9 \text{ Bq/m}^3$) charakteryzowało rok 2001, najwyższe natomiast ($8,6 \text{ Bq/m}^3$) wystąpiło w 2008 roku. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2020 wynosi $7,1 \text{ Bq/m}^3$. Zmienność stężeń promieniotwórczych izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach, jak wspomniano na początku rozdziału, wynika zarówno z czynników meteorologicznych, jak również z naturalnych procesów zachodzących w skorupie ziemskiej oraz oddziaływania promieniowania kosmicznego.

Tabela 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego emitujących promieniowanie alfa w latach 2000 – 2020 [Bq/m³]

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

3.2.2 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa

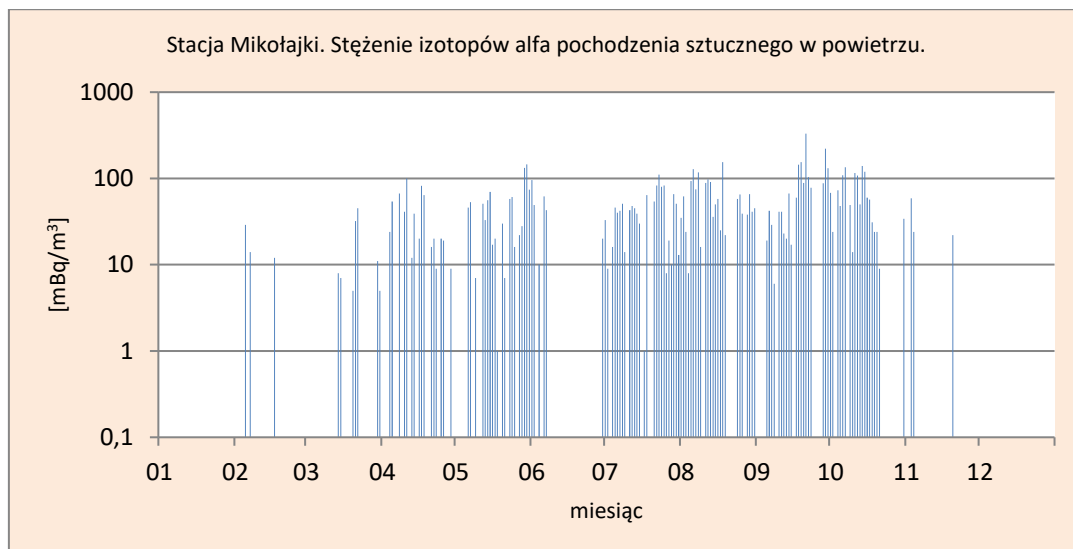
Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

Spośród wszystkich stacji badawczych, gdzie prowadzone były pomiary stężeń promieniotwórczych izotopów pochodzenia antropogenicznego emitujących promieniowanie alfa tylko w Mikołajkach i Włodawie odnotowano miesięczne wartości minimalne pozostające poniżej limitów detekcji (Tabela 5, Rys. 19-25). W przypadku pozostałych 5 miejscowości minimalne wartości średnich stężeń promieniotwórczych wyznaczonych dla okresów miesięcznych mieściły się w przedziale od 0,002 Bq/m³ do 0,039 Bq/m³. Maksymalna średnia miesięczna wartość (0,374 Bq/m³) wystąpiła na stacji Legnica, w przypadku której średnie wartości miesięczne w okresie od stycznia do czerwca oraz w październiku, listopadzie i grudniu były kilkukrotnie wyższe od średnich miesięcznych stężeń obliczonych dla poszczególnych miesięcy na pozostałych stacjach. Średnie obliczone dla danych miesięcy wyznaczone na podstawie wyników ze wszystkich stacji zmieniały się w stosunkowo wąskim zakresie od 0,037 Bq/m³ – wartości charakterystycznej dla grudnia do 0,131 Bq/m³ – wartości wyznaczonej w kwietniu. Średnia roczna dobowa, czyli średnia ze wszystkich dni, kiedy były uzyskane pomiary obliczone dla wszystkich stacji, utrzymuje się na poziomie 0,084 Bq/m³. Biorąc pod uwagę tą wartość

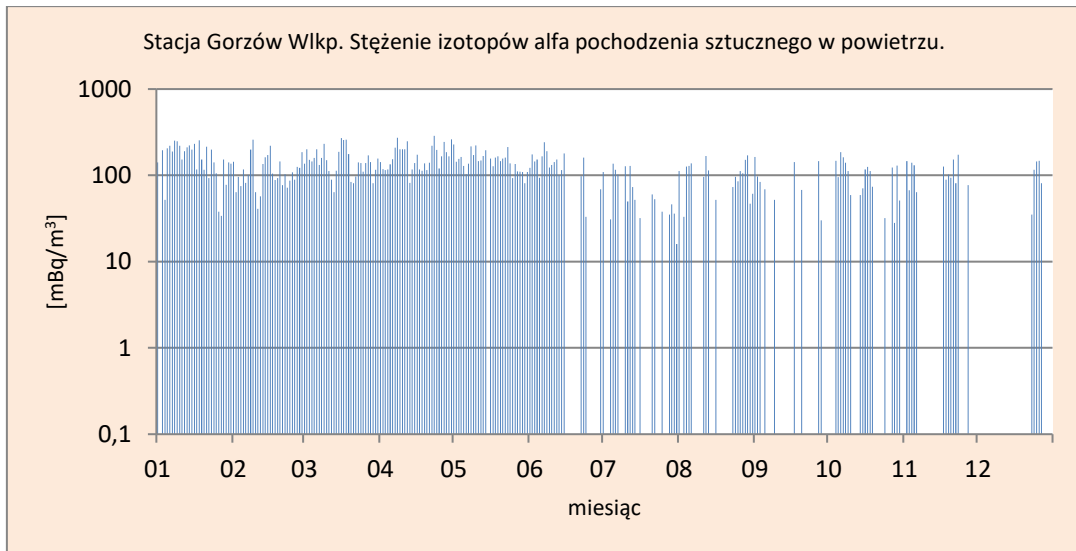
i wartość analogiczną wyznaczoną dla promieniowania alfa o podłożu naturalnym, należy stwierdzić, że udział promieniowania pochodzenia antropogenicznego jest bardzo niewielki i wynosi zaledwie 1% promieniowania pochodzenia naturalnego. W okresie od drugiego tygodnia marca do połowy sierpnia w 2020 roku w miejscowości Świnoujście nie wykonano pomiarów z powodu awarii aparatury.

Tabela 5. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w aerozolach w 2020 roku [Bq/m³]

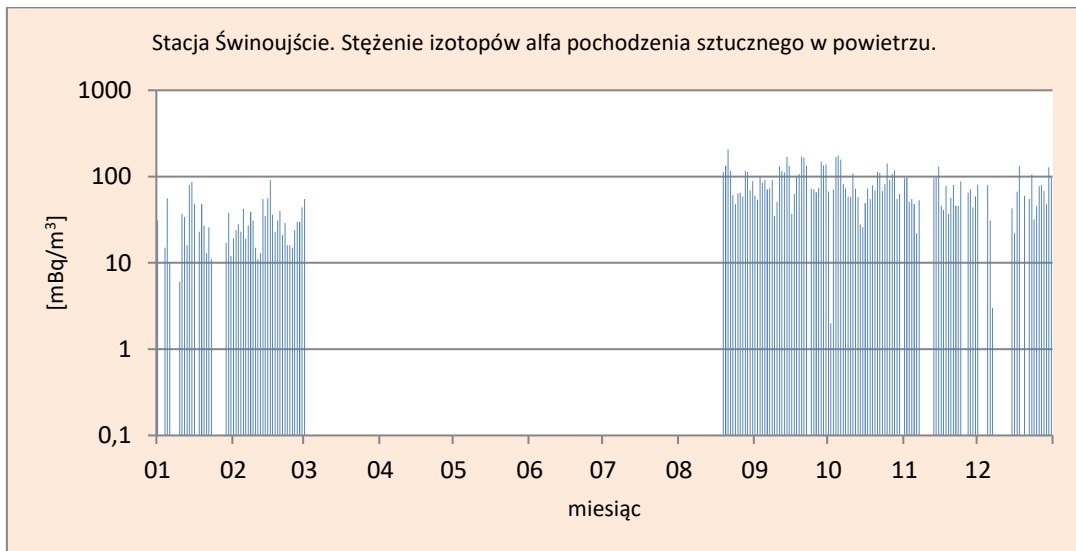
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,158	0,020	0,306	0,022	0,028	0,017	0,079
Luty	0,002	0,117	0,030	0,213	0,062	0,061	0,057	0,078
Marzec	0,004	0,150	0,028	0,266	0,053	0,042	0,047	0,084
Kwiecień	0,020	0,170	Awaria	0,345	0,094	0,098	0,062	0,131
Maj	0,030	0,145	Awaria	0,299	0,095	0,122	0,078	0,128
Czerwiec	0,009	0,086	Awaria	0,374	0,095	0,154	0,029	0,125
Lipiec	0,035	0,040	Awaria	0,039	0,116	0,079	0,037	0,058
Sierpień	0,049	0,060	0,097	0,112	0,131	0,189	0,017	0,094
Wrzesień	0,057	0,028	0,095	0,130	0,161	0,214	0,034	0,103
Październik	0,042	0,059	0,080	0,248	0,017	0,058	0,022	0,075
Listopad	0,004	0,048	0,050	0,192	0,003	0,025	0,002	0,046
Grudzień	0,000	0,017	0,041	0,115	0,000	0,064	0,024	0,037
Minimalna średnia miesięczna	0,000	0,017	0,020	0,039	0,000	0,025	0,002	0,015
Maksymalna średnia miesięczna	0,057	0,170	0,097	0,374	0,161	0,214	0,078	0,164
Średnia roczna na podstawie wartości dobowych	0,021	0,090	0,055	0,217	0,071	0,096	0,035	0,084



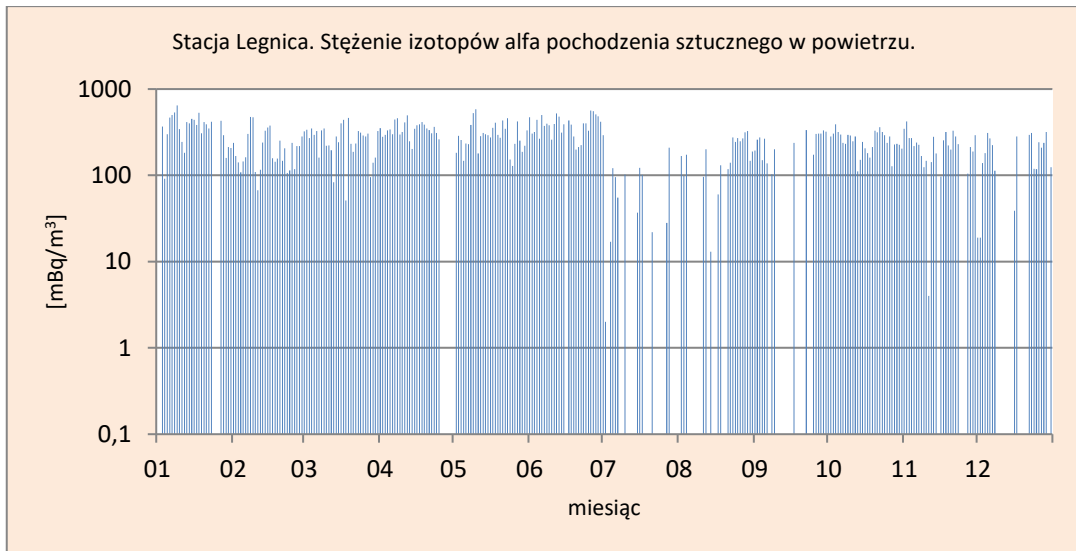
Rys. 19. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach na stacji Mikołajki w 2020 roku



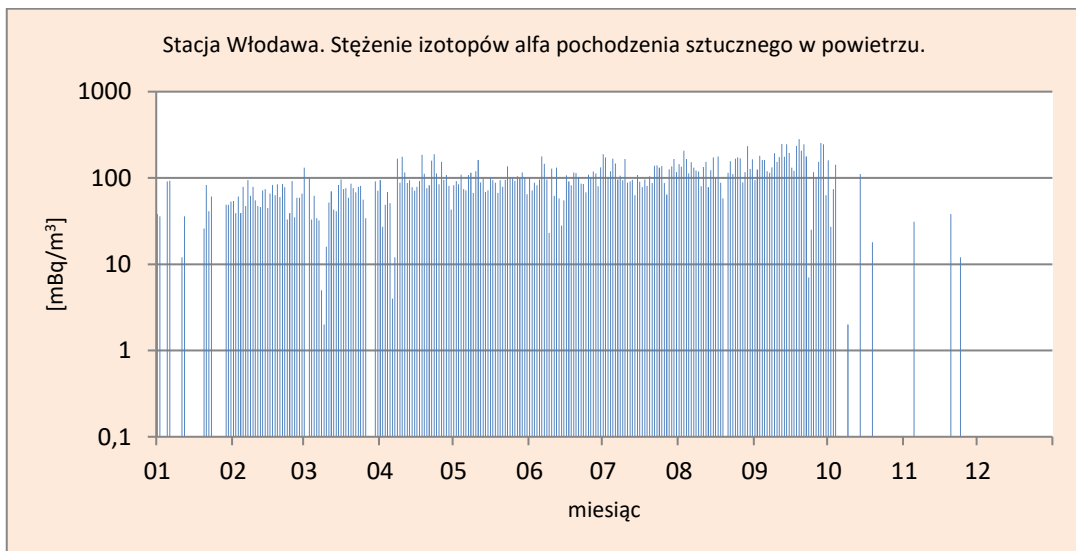
Rys. 20. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2020 roku



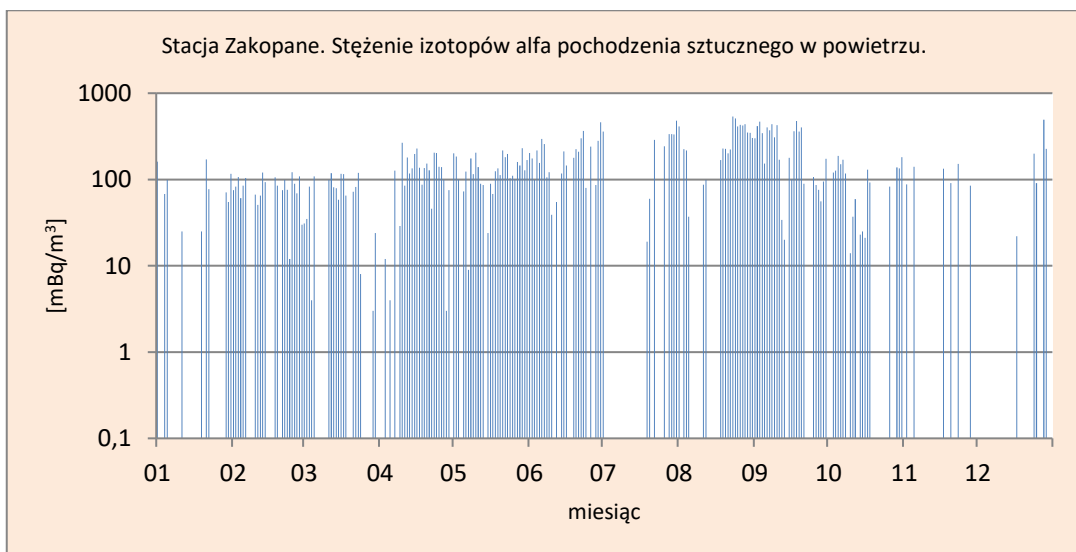
Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2020 roku



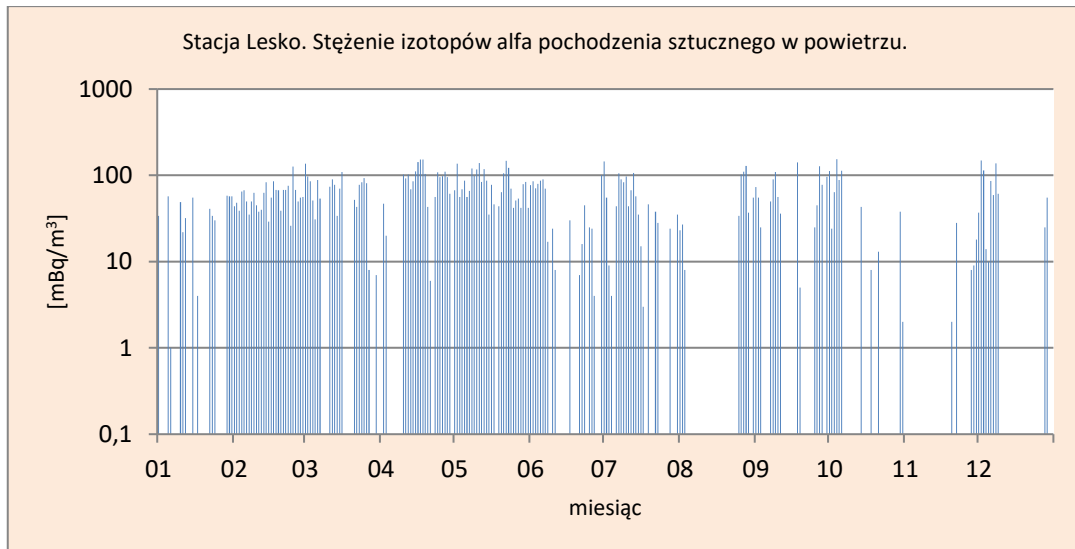
Rys. 22. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 24. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2020 roku



Rys. 25. Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2020 roku wyniosło $0,084 \text{ Bq/m}^3$ i było o $0,002 \text{ Bq/m}^3$ niższe od ubiegłorocznego średniego stężenia, będącego najwyższym wynikiem odnotowanym w latach 2000-2019. W badanym okresie najniższe średnie roczne stężenie $0,004 \text{ Bq/m}^3$ uzyskano w 2001 roku, natomiast średnia ze wszystkich lat utrzymuje się na poziomie $0,038 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 6).

Tabela 6. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa pochodzenia sztucznego w latach 2000 – 2020 [Bq/m^3]

Rok	Średnie roczne stężenie		
2000	0,023		
2001	0,004		
2002	0,005		
2003	0,015		
2004	0,016		
2005	0,019		
2006	0,029		
2007	0,025		
2008	0,034		
2009	0,040		
2010	0,039		
2011	0,039		
2012	0,029		
2013	0,033		
2014	0,030		
2015	0,074		
2016	0,065		
2017	0,055		
2018	0,044	Średnia	0,038
2019	0,086	Maksymalna	0,086
2020	0,084	Minimalna	0,004

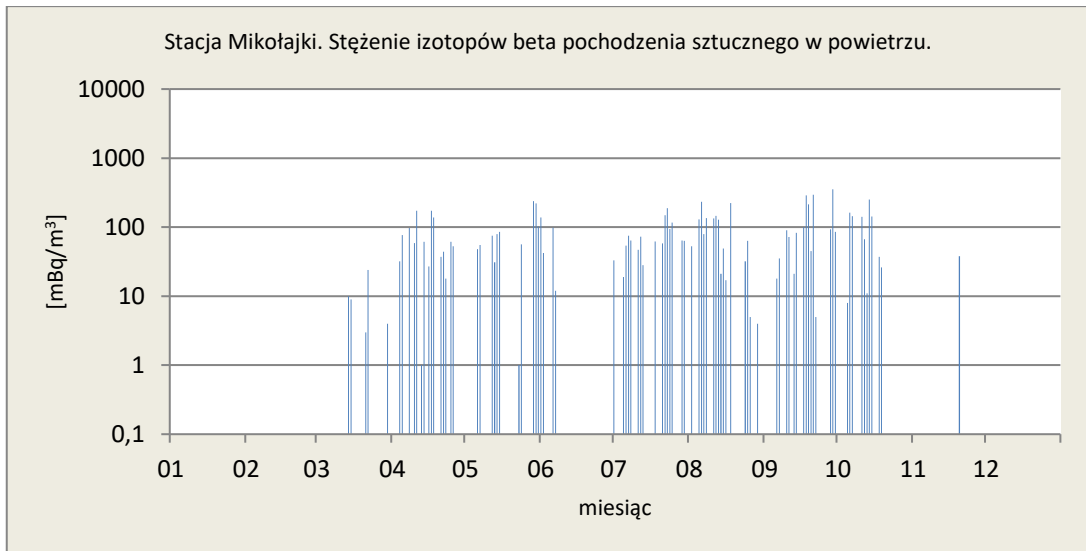
3.2.3 Stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

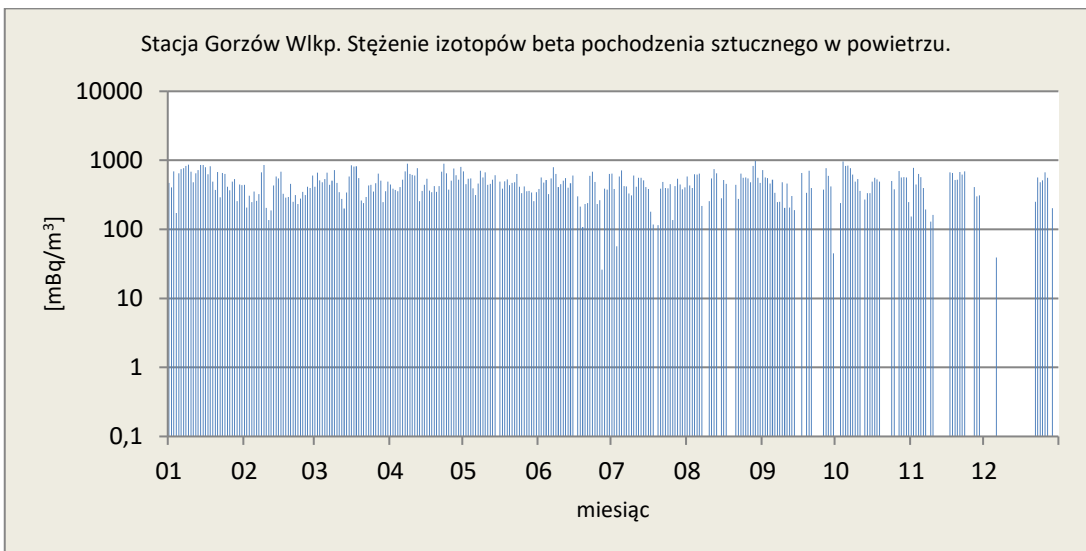
Podobnie jak w przypadku izotopów antropogenicznych emitujących promieniowanie alfa, na stacji Mikołajki w miesiącach: styczeń, luty, grudzień stężenia izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta pozostawały poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. W pozostałych miejscowościach średnie minimalne stężenia mieściły się w przedziale od 0,011 Bq/m³, wartości charakterystycznej dla Włodawy do 0,266 Bq/m³ w Legnicy (Tabela 7, Rys. 26-32). Wyniki te mają swoje odzwierciedlenie w wartościach maksymalnych średnich miesięcznych, gdzie najniższe stężenie (0,060 Bq/m³) przypisuje się stacji Mikołajki, natomiast najwyższy wynik odnotowano w czerwcu w Legnicy (0,866 Bq/m³). Analogicznie najniższą (0,021 Bq/m³) oraz najwyższą (0,602 Bq/m³) średnią roczną obliczoną ze średnich dla wszystkich miesięcy uzyskano na tych dwóch stacjach. W pozostałych przypadkach wyniki mieściły się w dość wąskim zakresie od 0,258 Bq/m³ (Lesko) do 0,471 Bq/m³ (Świnoujście). Nieznaczne zróżnicowanie charakteryzowało średnie stężenia wyznaczone dla poszczególnych miesięcy z wyników uzyskanych na 7 stacjach. Najniższe wartości na poziomie 0,201 Bq/m³ oraz 0,215 Bq/m³ odnotowano odpowiednio w grudniu i listopadzie, najwyższe zaś we wrześniu (0,416 Bq/m³), kwietniu (0,408 Bq/m³) oraz czerwcu (0,392 Bq/m³). Taki układ może sugerować zależność aktywności beta w aerozolach od sezonu, wskazując na większe stężenia w miesiącach letnich, związane z tempem wymywania aerozoli przez deszcz. W 2020 roku w miesiącach od kwietnia do lipca w miejscowości Świnoujście nie wykonano pomiarów z powodu awarii.

Tabela 7. Średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach w 2020 roku [Bq/m³]

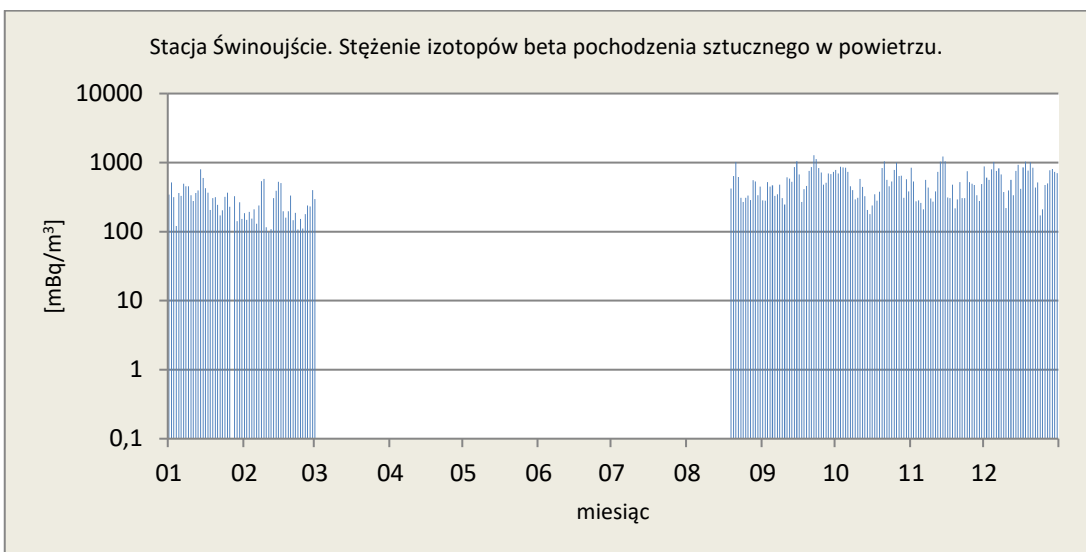
Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	0,000	0,586	0,329	0,804	0,101	0,105	0,188	0,302
Luty	0,000	0,378	0,244	0,567	0,227	0,198	0,259	0,268
Marzec	0,002	0,482	0,149	0,695	0,212	0,144	0,244	0,275
Kwiecień	0,035	0,534	Awaria	0,863	0,339	0,320	0,358	0,408
Maj	0,032	0,456	Awaria	0,721	0,324	0,408	0,356	0,383
Czerwiec	0,010	0,414	Awaria	0,866	0,352	0,405	0,304	0,392
Lipiec	0,038	0,393	Awaria	0,266	0,549	0,177	0,360	0,297
Sierpień	0,047	0,430	0,467	0,431	0,594	0,430	0,264	0,380
Wrzesień	0,060	0,327	0,594	0,439	0,606	0,494	0,394	0,416
Październik	0,032	0,393	0,547	0,735	0,108	0,217	0,192	0,318
Listopad	0,001	0,295	0,482	0,549	0,036	0,073	0,070	0,215
Grudzień	0,000	0,106	0,643	0,346	0,011	0,195	0,102	0,201
Minimalna średnia miesięczna	0,000	0,106	0,149	0,266	0,011	0,073	0,070	0,096
Maksymalna średnia miesięczna	0,060	0,586	0,643	0,866	0,606	0,494	0,394	0,521
Średnia roczna na podstawie wartości dobowych	0,021	0,400	0,471	0,602	0,288	0,267	0,258	0,330



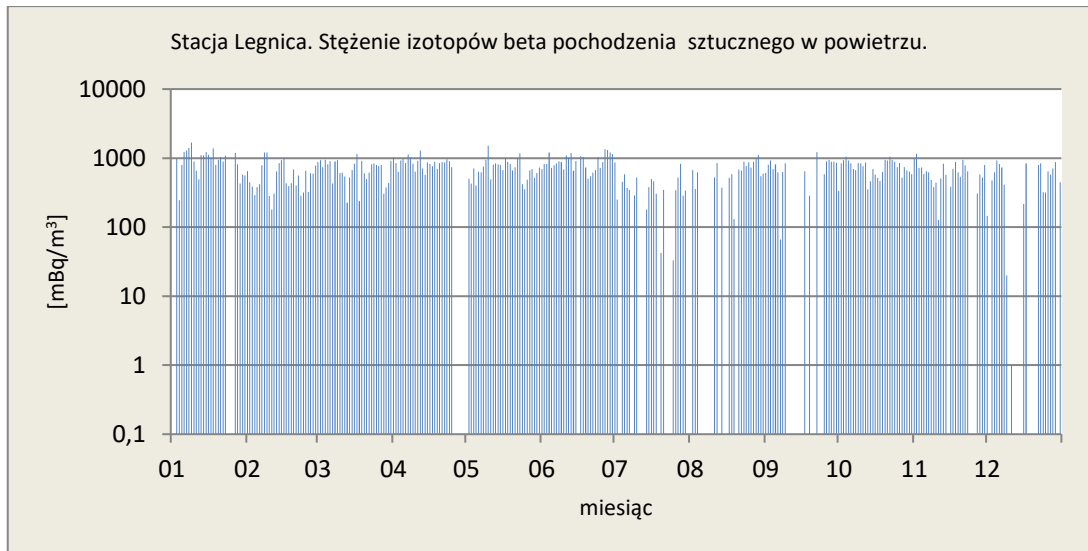
Rys. 26. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Mikołajki w 2020 roku



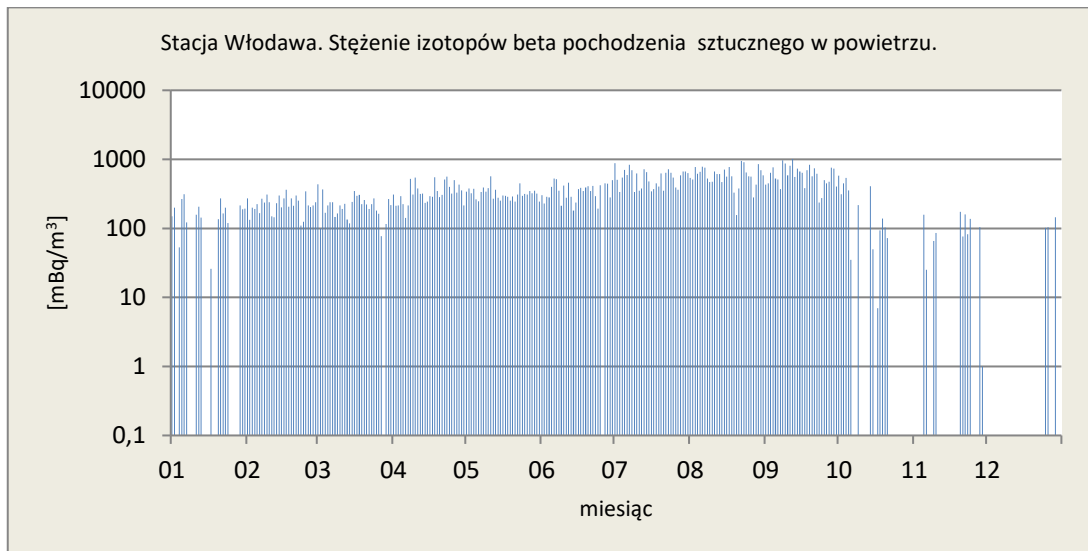
Rys. 27. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Gorzów Wlkp. w 2020 roku



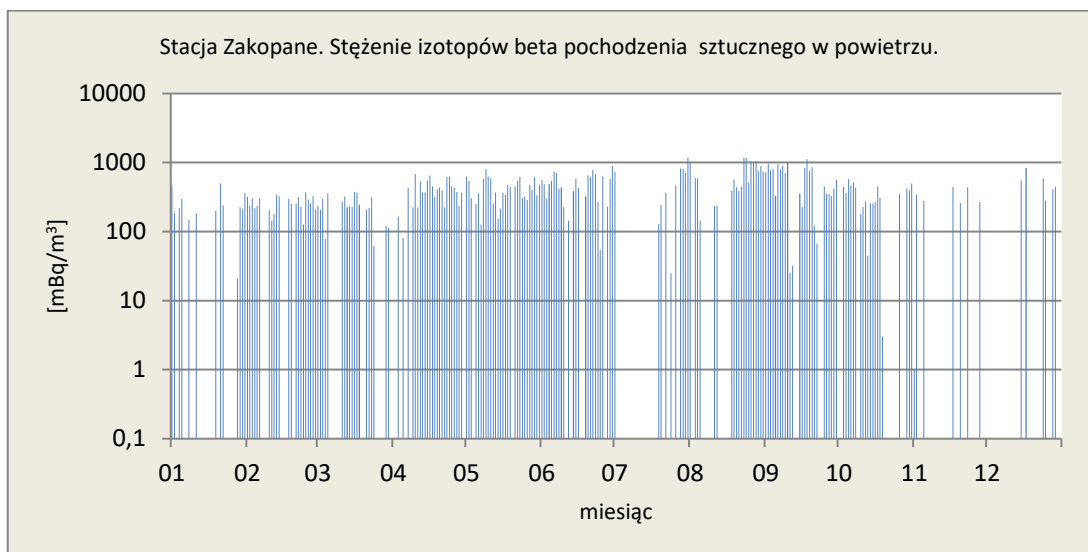
Rys. 28. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Świnoujście w 2020 roku



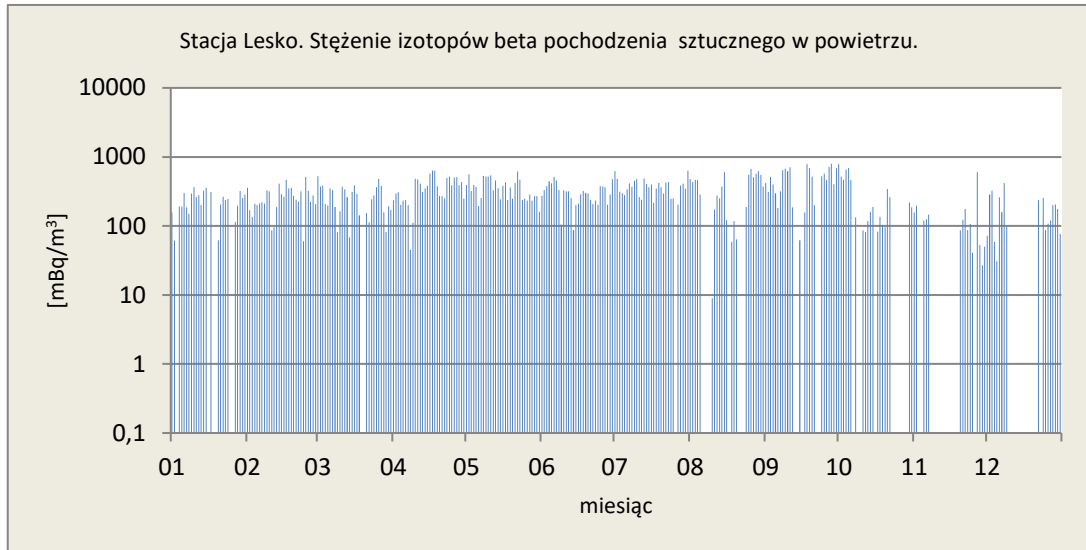
Rys. 29. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 30. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 31. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Zakopane w 2020 roku



Rys. 32. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolu na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W 2020 roku średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta wyniosło $0,330 \text{ Bq/m}^3$ i było porównywalne z wartością z poprzedniego roku - $0,337 \text{ Bq/m}^3$. Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2020 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych od 2000 roku. Wartości te są ponad dziesięciokrotnie 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 badanego promieniowania w aerozolu w badanym okresie wyniosła $0,121 \text{ Bq/m}^3$ (Tabela 8).

Tabela 8. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w latach 2000 – 2020 [Bq/m^3]

Rok	Średnie roczne stężenie	Rok	Średnie roczne stężenie
2000	0,034	2010	0,076
2001	0,017	2011	0,083
2002	0,034	2012	0,160
2003	0,040	2013	0,113
2004	0,035	2014	0,137
2005	0,056	2015	0,241
2006	0,060	2016	0,240
2007	0,048	2017	0,237
2008	0,037	2018	0,229
2009	0,058	2019	0,337
		2020	0,330
		Średnia	0,124
		Maksymalna	0,337
		Minimalna	0,017

3.3. Globalna aktywność beta całkowitego opadu atmosferycznego

3.3.1 Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego

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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

W 2020 roku maksymalne wartości dobowe zmieniały się w zakresie od 3,0 Bq/m² na pięciu stacjach pomiarowych (Gdynia, Mikołajki, Świnoujście, Legnica, Lesko) do 5,0 Bq/m² - wartości, która charakteryzowała poziom radioaktywności w Warszawie (Tabela 9, Rys 33-41). Otrzymane wyniki nie odbiegają znacznie od wartości uzyskanych w roku poprzednim, gdzie najwyższa maksymalna wartość dobową odzwierciedlająca poziom radioaktywności w Mikołajkach była o 2,0 Bq/m² wyższa. Minimalne dobowe stężenia izotopów beta promieniotwórczych w próbkach całkowitego opadu dobowego na wszystkich stacjach pomiarowych przyjmowały wartości na poziomie zera, a średnia suma dobową dla całego roku (309 Bq/m²) (Tabela 9a) była nieznacznie wyższa niż średnia z 2019 roku (306,2 Bq/m²).

Miesięczne średnie aktywności beta wyznaczone na podstawie pomiarów dobowych zmieniały się w dość wąskim zakresie. Najniższe wartości odnotowano na stacji w Gdyni, gdzie średnie miesięczne stężenia promieniotwórcze izotopów beta wahały się od 0,0 do 0,4 Bq/m², oraz w Świnoujściu (od 0,3 Bq/m² do 0,7 Bq/m²). Najwyższe średnie miesięczne wystąpiły we Włodawie i Zakopanem, i mieściły się w przedziale od 0,8 Bq/m² do 1,5 Bq/m².

Z porównania średnich wartości rocznych wyznaczonych na podstawie danych dobowych w 2020 roku wynika, że najniższy dopływ izotopów emitujących promieniowanie beta (0,2 Bq/m²) charakteryzował okolice Gdyni, co może mieć związek z częstszymi i bardziej intensywnymi wiatrami występującymi w strefie nadmorskiej. Najwyższe średnie roczne aktywności beta (1,1 Bq/m² oraz 1,0 Bq/m²) charakteryzowały stację w Mikołajkach oraz w Warszawie, Legnicy, Włodawie, Zakopanem i Lesku.

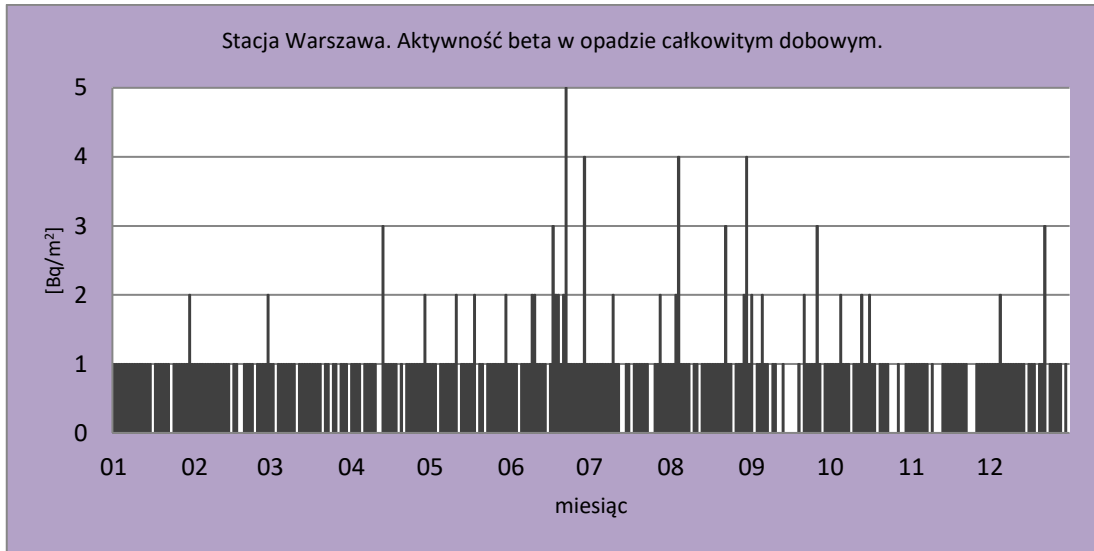
Średnie stężenia promieniotwórcze izotopów beta w poszczególnych miesiącach charakterystyczne dla obszaru całej Polski (wyznaczone z wyników dobowych uzyskanych na wszystkich stacjach) zmieniały się w bardzo wąskim zakresie od 0,8 w miesiącach zimowych do 1,2 Bq/m², wartości odnotowanej w czerwcu. Średnia roczna dla wszystkich stacji w 2020 roku była taka sama jak w poprzednim roku, czyli równa 0,8 Bq/m².

Tabela 9. Średnie miesięczne stężenia izotopów beta w dobowym opadzie całkowitym w 2020 roku [Bq/m²]

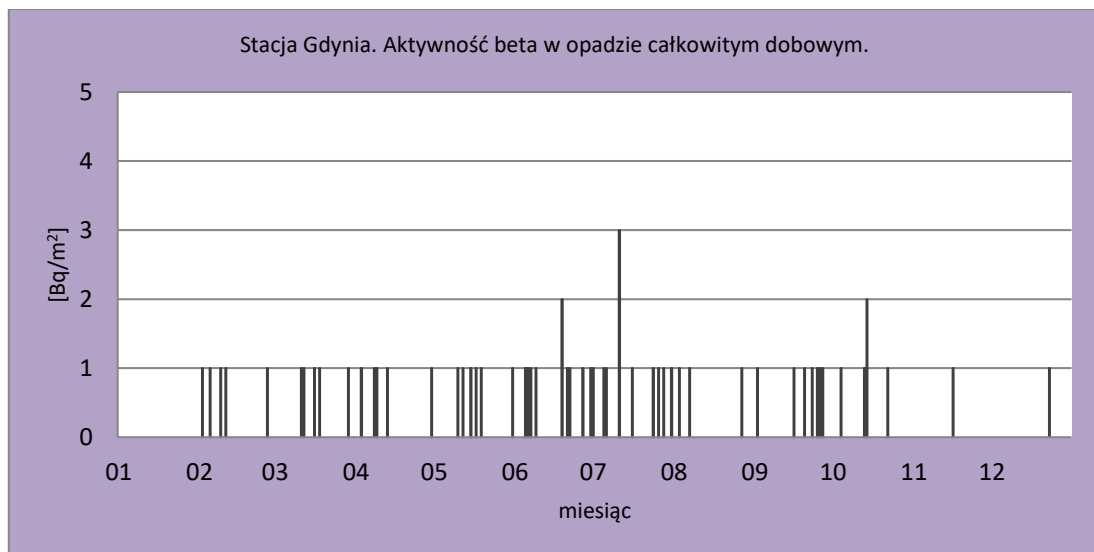
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia	
Styczeń	1,0	0,0	1,1	0,5	0,4	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8	
Luty	0,9	0,2	1,0	0,8	0,5	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	
Marzec	0,8	0,2	1,1	0,7	0,7	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	
Kwiecień	0,9	0,2	1,1	1,1	0,4	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	
Maj	1,0	0,2	1,2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

Tabela 9a. Roczna wartość stężenia izotopów beta uzyskana jako suma wszystkich wartości dobowych opadu całkowitego w roku 2020 [Bq/m²]

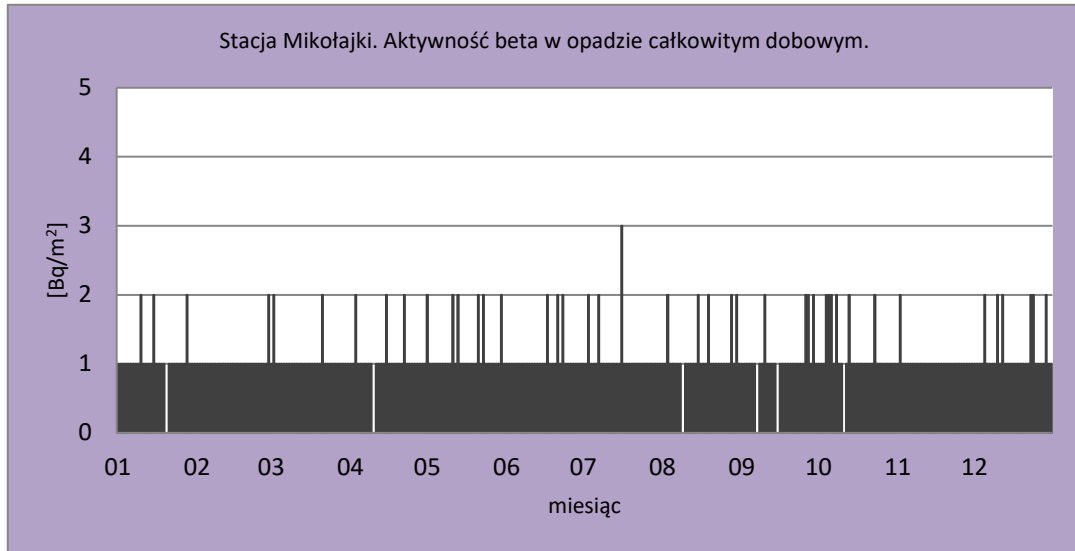
Parametr/Stacja	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia suma roczna
Suma roczna	350	59	404	281	172	382	382	380	371	309



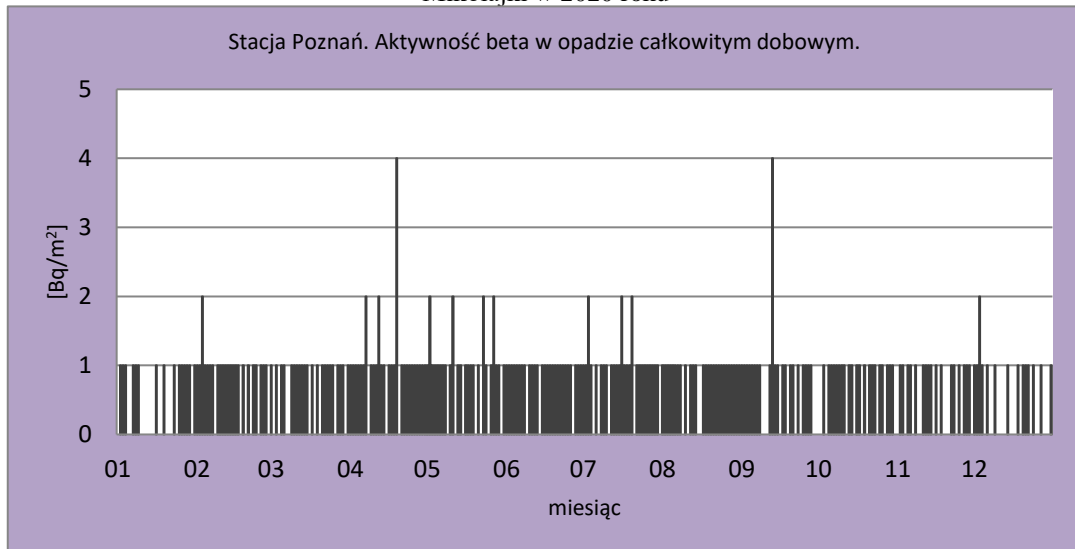
Rys. 33. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Warszawa w 2020 roku



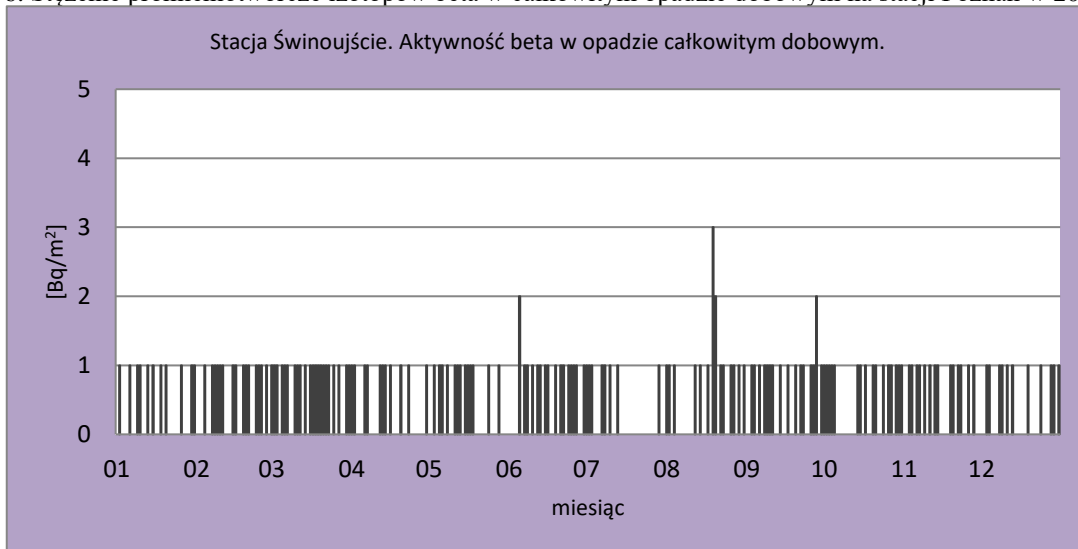
Rys. 34. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Gdynia w 2020 roku



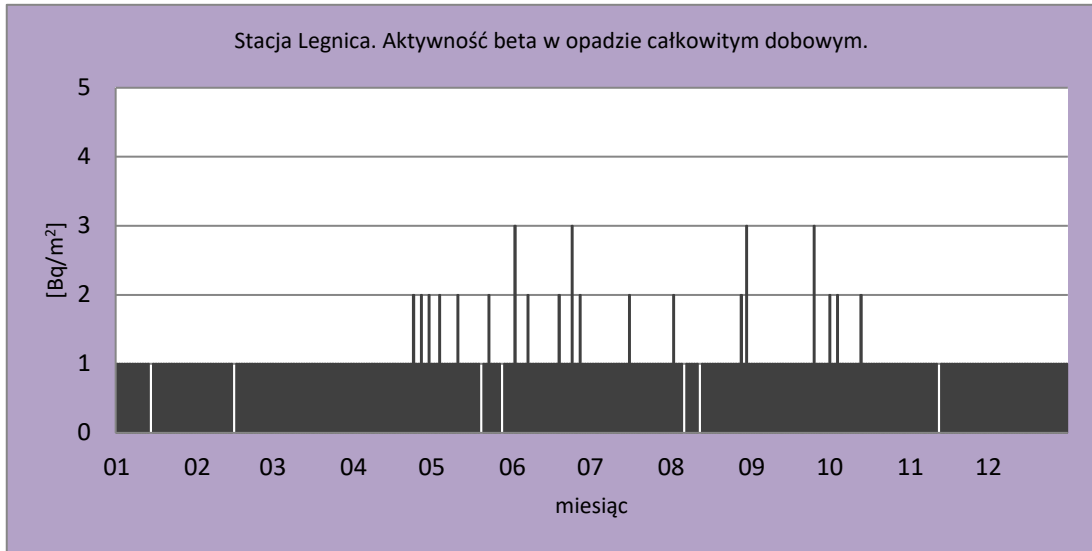
Rys. 35. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Mikołajki w 2020 roku



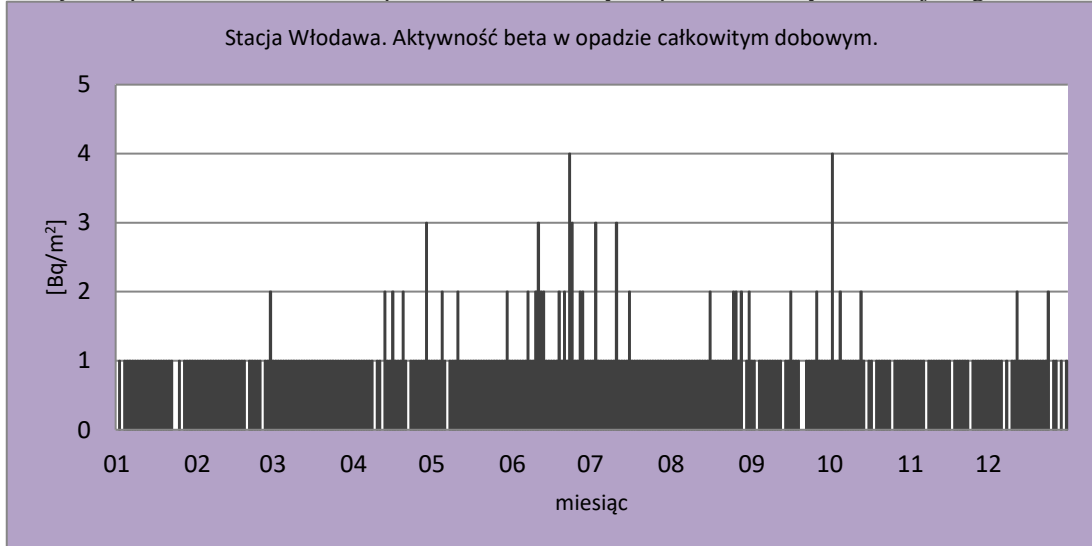
Rys. 36. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Poznań w 2020 roku



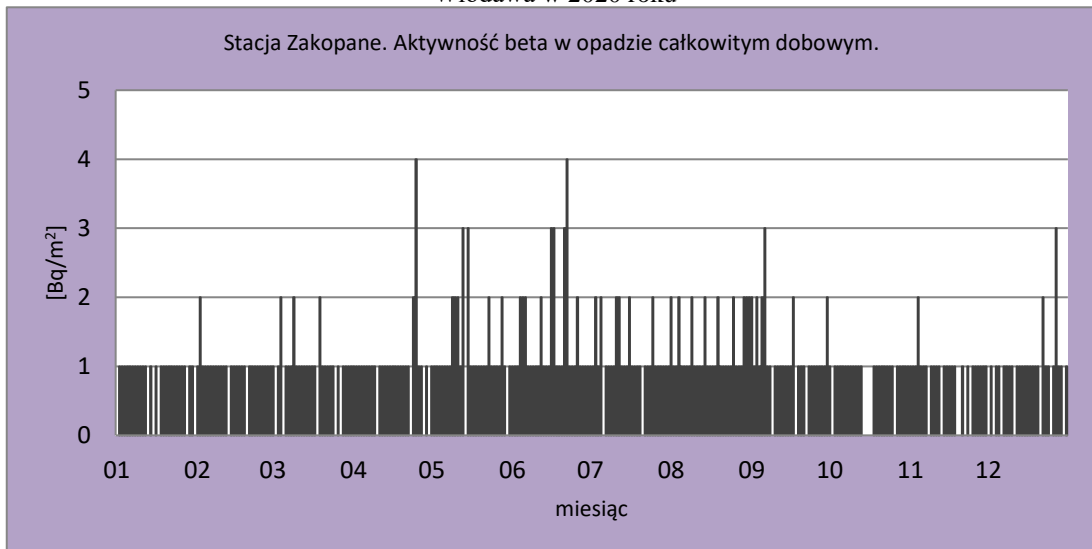
Rys. 37. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Świnoujście w 2020 roku



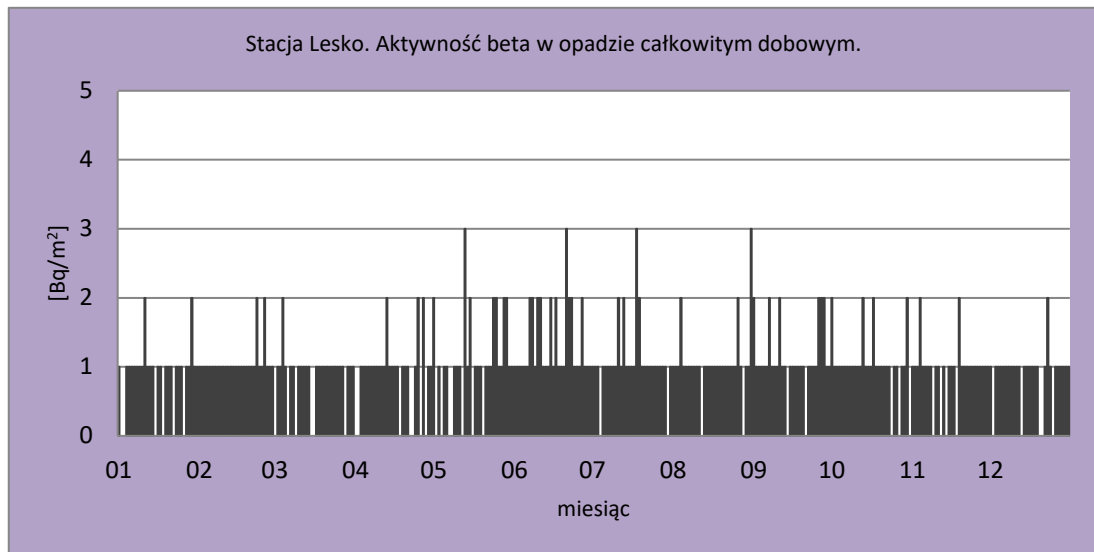
Rys. 38. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 39. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 40. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dziennym na stacji Zakopane w 2020 roku



Rys. 41. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie dobowym na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 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 2020 roku (0,31 kBq/m²/rok) była taka sama jak w latach: 2006, 2007, 2013, 2015, 2016, 2019. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2020 utrzymuje się na poziomie 0,32 kBq/m²/rok (Tabela 10).

Tabela 10. Średnia sumaryczna aktywność beta całkowitego opadu dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2020 [kBq/m²/rok]

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

3.3.2 Globalna aktywność beta wody opadowej

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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

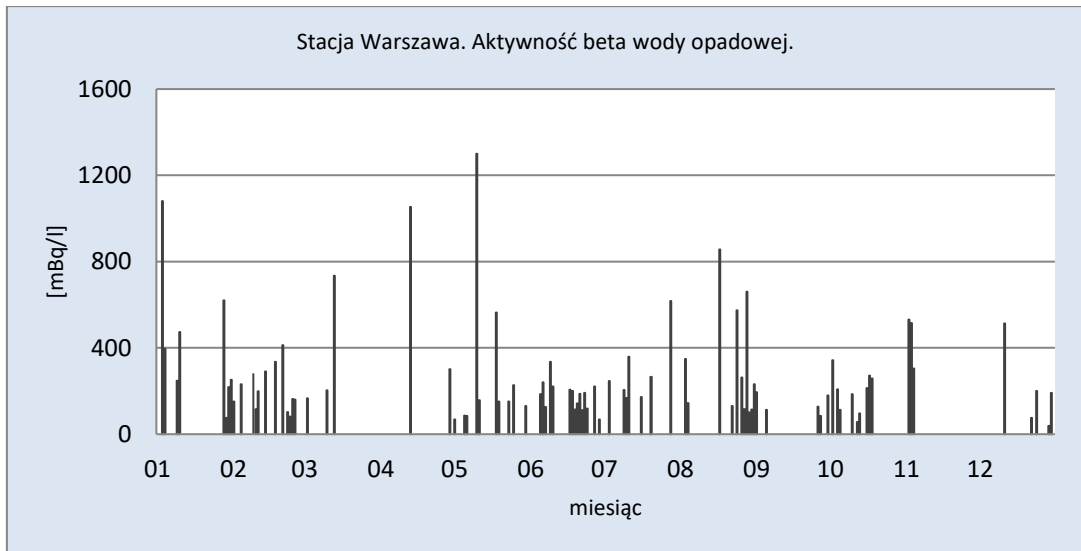
Na czterech spośród wszystkich 9 stacji pomiarowych, zarejestrowane maksymalne wartości dobowej globalnej aktywności beta wody opadowej w 2020 roku nie przekraczały 1000 mBq/l odpowiednio w Poznaniu – 833,0 mBq/l, Gdyni – 931,0 mBq/l, Legnicy – 949,0 mBq/l oraz Świnoujściu – 964,0 mBq/l (Tabela 11, Rys. 42-50). Najwyższa maksymalna dobową wartość wynosząca 3979,0 mBq/l charakteryzowała okolice Włodawy, dla porównania w ubiegłym roku maksymalną wartość odnotowano na stacji Mikołajki (1508,0 mBq/l). Minimalne dobowe wartości zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od 0 mBq/l w Gdyni i Świnoujściu do 70 mBq/l w Mikołajkach. Na tych samych stacjach pomiarowych zarejestrowano skrajne średnie wyznaczone dla poszczególnych miesięcy.

Średnie miesięczne mieściły się w granicy od 66,0 mBq/l w kwietniu na stacji Świnoujście do 675,1 mBq/l w kwietniu w Warszawie. W Mikołajkach w kwietniu nie zarejestrowano opadu powyżej 1 mm, brak pomiarów globalnej aktywności beta wody opadowej. Średnia roczna aktywność mieściła się w przedziale od 119,2 mBq/l (Gdynia) do 409,8 mBq/l (Mikołajki).

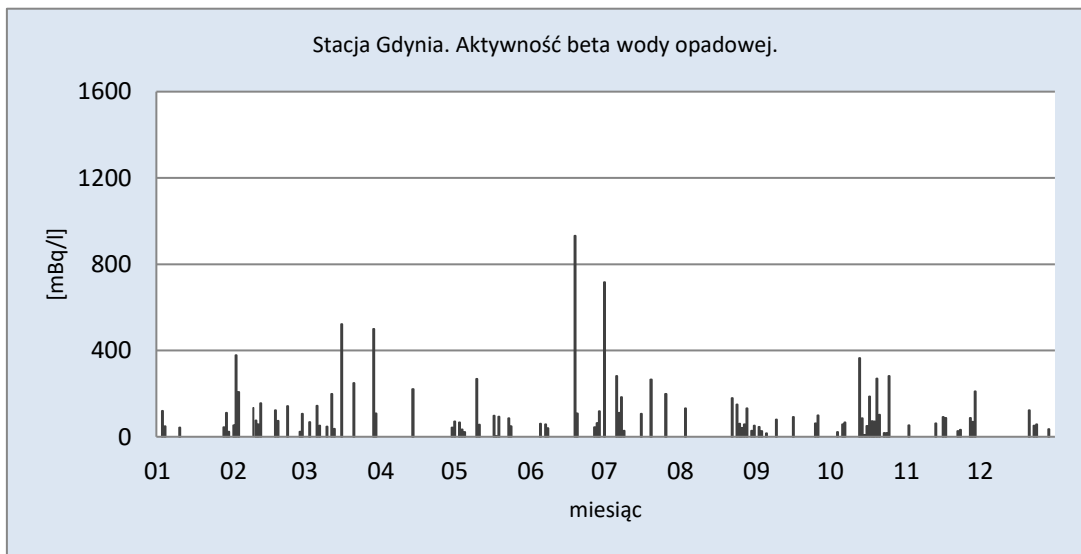
Analizując kolejne wyniki, stwierdza się brak znaczących różnic pomiędzy średnimi aktywnościami beta wyznaczonymi dla poszczególnych miesięcy na podstawie danych ze wszystkich stacji. Porównując dane z zeszłego roku, średnia roczna na stacjach pomiarowych w roku 2019 była o 10,0 mBq/l wyższa niż tegoroczna (288 mBq/l).

Tabela 11. Średnie miesięczne wartości aktywności beta wody opadowej w 2020 roku [mBq/l]

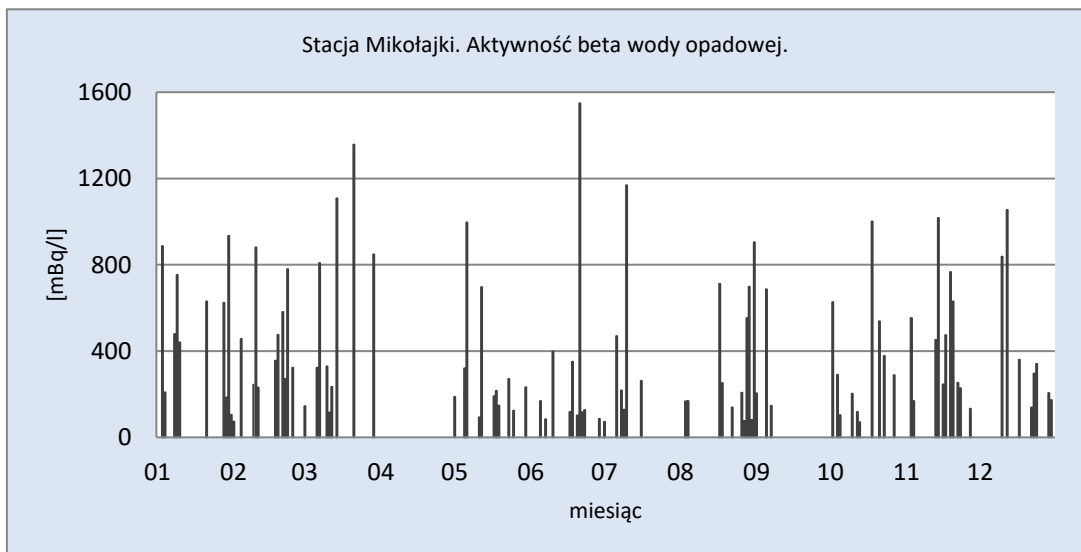
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	Średnia
Styczeń	420,5	64,5	524,3	268,5	97,0	376,0	292,7	363,5	630,0	365
Luty	210,3	127,5	424,5	199,2	191,5	312,8	446,6	326,6	347,1	321
Marzec	367,7	192,4	584,8	481,8	270,4	445,4	366,0	253,8	375,0	397
Kwiecień	677,5	131,0	-	336,0	66,0	453,0	694,5	262,3	254,3	344
Maj	292,0	76,7	315,5	287,4	204,3	320,6	367,8	181,4	300,1	282
Czerwiec	178,1	177,8	309,4	309,6	210,1	286,7	212,3	424,6	279,3	290
Lipiec	290,4	236,1	385,8	200,5	153,3	444,4	390,4	236,0	350,5	309
Sierpień	321,8	92,2	359,4	315,0	115,0	220,2	311,8	274,8	231,0	261
Wrzesień	140,0	59,9	345,3	204,1	272,7	197,8	209,4	248,6	391,9	267
Październik	194,1	111,3	361,3	242,9	208,9	262,9	707,0	244,5	190,3	317
Listopad	450,0	79,7	446,9	333,3	212,6	400,0	383,2	356,6	608,8	392
Grudzień	204,4	53,0	425,5	224,3	95,3	295,0	477,4	275,9	265,8	294
Maksymalna średnia miesięczna	677,5	236,1	584,8	481,8	272,7	453,0	707,0	424,6	630,0	496
Minimalna średnia miesięczna	140,0	53,0	309,4	199,2	66,0	197,8	209,4	181,4	190,3	172
Maksymalna wartość dobową	1300	931	1548	833	964	949	3979	1476	1647	1514
Minimalna wartość dobową	39	0	70	41	0	47	52	18	37	34
Średnia roczna	270,3	119,2	409,8	282,0	184,2	320,5	380,2	290,7	337,0	288



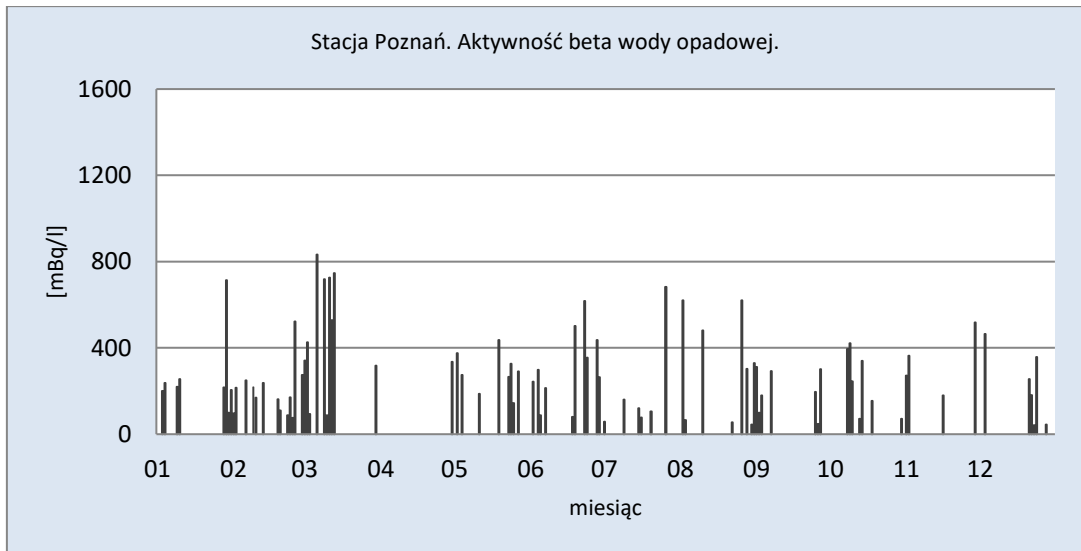
Rys. 42. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Warszawa w 2020 roku



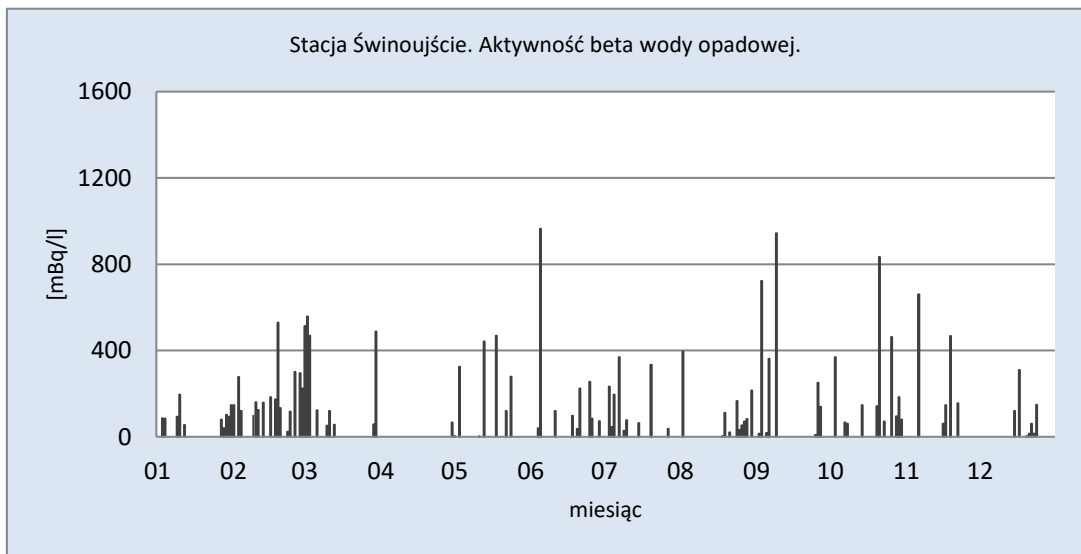
Rys. 43. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Gdynia w 2020 roku



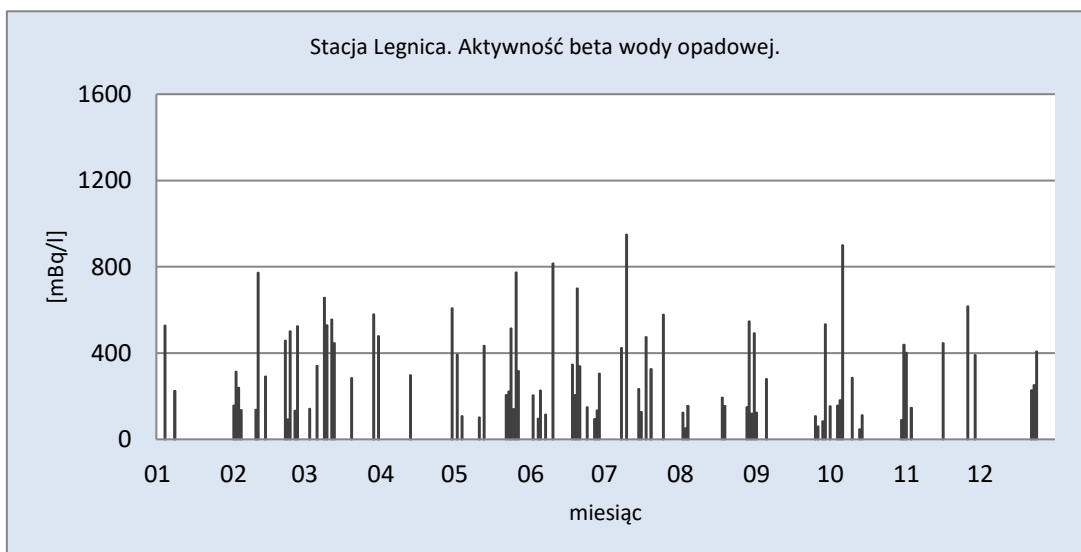
Rys. 44. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Mikołajki w 2020 roku



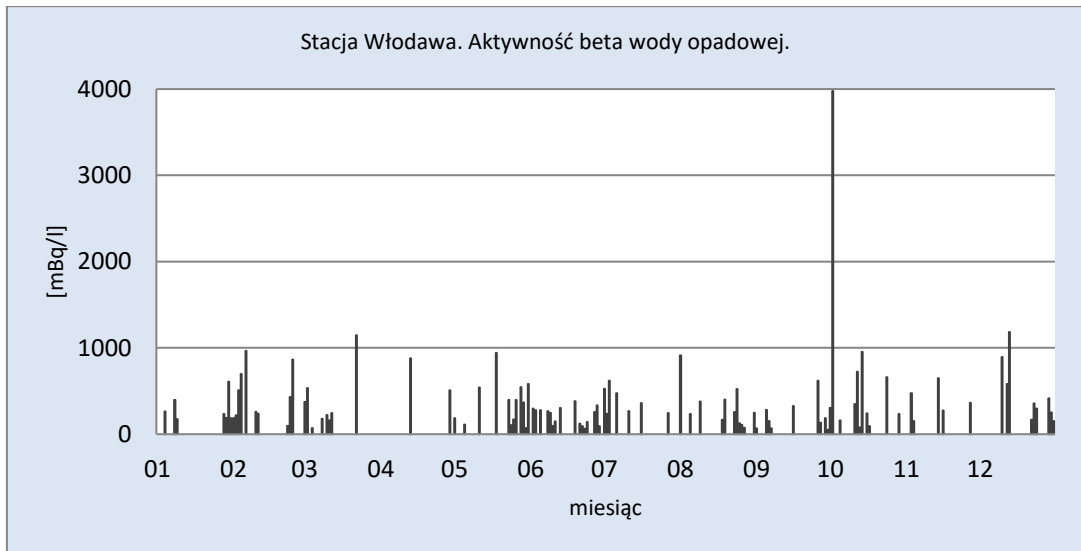
Rys. 45. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Poznań w 2020 roku



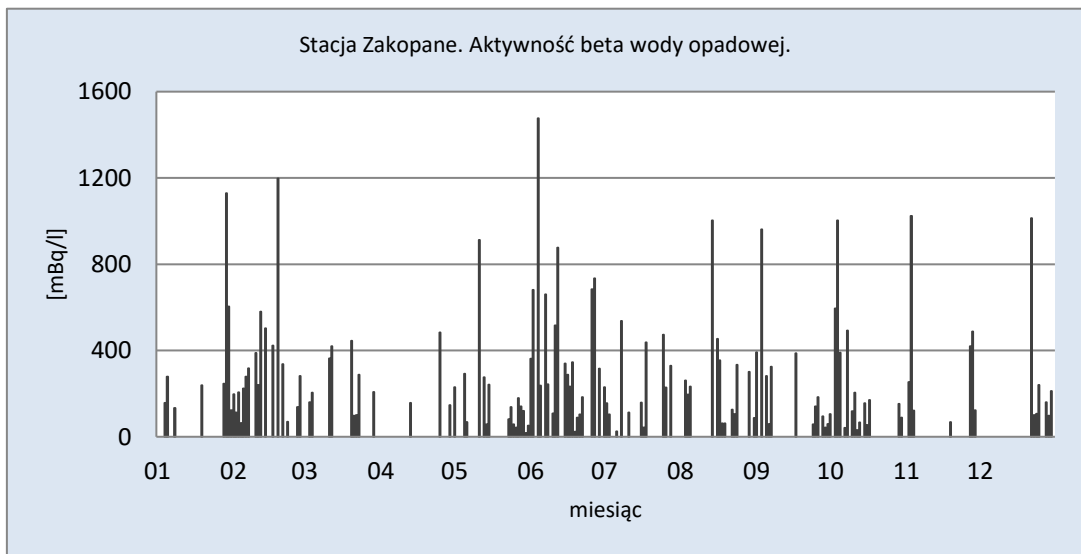
Rys. 46. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Świnoujście w 2020 roku



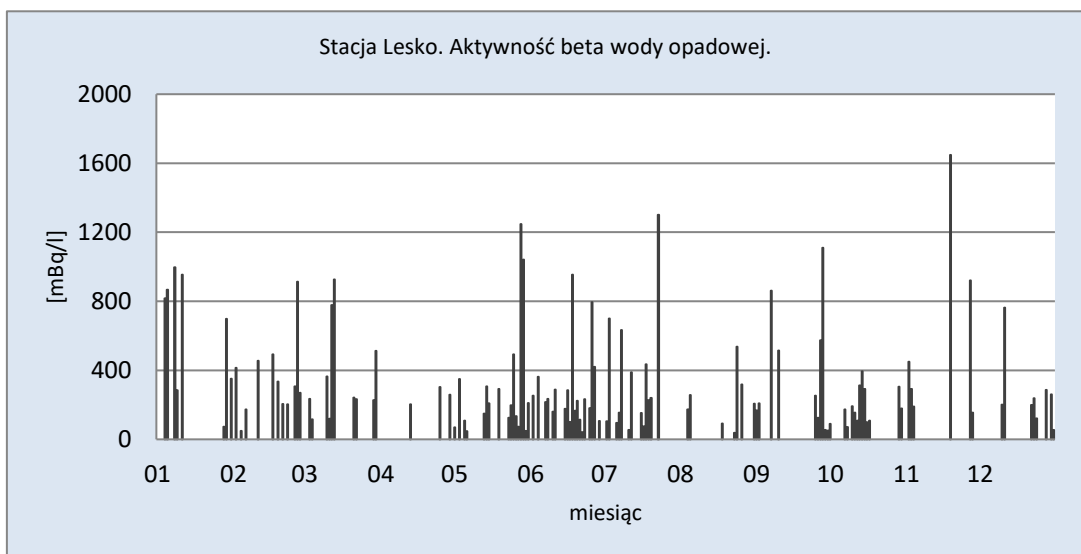
Rys. 47. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 48. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 49. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Zakopane w 2020 roku



Rys. 50. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w wodzie opadowej na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność beta wody opadowej w 2020 roku wyniosła 288 mBq/l i była najniższą wartością uzyskaną od 2000 roku (Tabela 12). Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie 2000-2020, 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 – 2020 [mBq/l]

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

3.3.3 Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego

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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

Średnia aktywność promieniowania beta w Polsce w próbkach opadu całkowitego wynosiła 7,2 Bq m⁻² i oscylowała w szerokim zakresie (1- 23 Bq/m²) (Tab. 13). Najniższe średnie aktywności promieniowania beta w opadzie całkowitym odnotowano na stacjach zlokalizowanych w Świnoujściu (5,1 Bq/m²) i w Mikołajkach (5,3), były one odpowiednio 29% i 26% niższa od średniej w Polsce (Rys. 51-59). Na pozostałych stacjach średnia aktywność promieniowania beta zmieniała się w stosunkowo wąskim zakresie od 5,5 Bq/m² na stacji Gdynia do 11,0 Bq/m² w Zakopanem. Za wysoką średnioroczną aktywność promieniowania beta w opadzie atmosferycznym w Zakopanem odpowiada dość wysoka aktywność w sierpniu (19 Bq/m²), w pozostałych miesiącach aktywność wahała się w przedziale od 5 Bq/m² do 16 Bq/m². Podobna sytuacja miała miejsce w poprzednim roku,

gdzie najwyższa aktywność promieniowania beta była odnotowana w tej samej miejscowości w lipcu (18 Bq/m^2).

Tabela 13. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2020 [Bq/m^2]

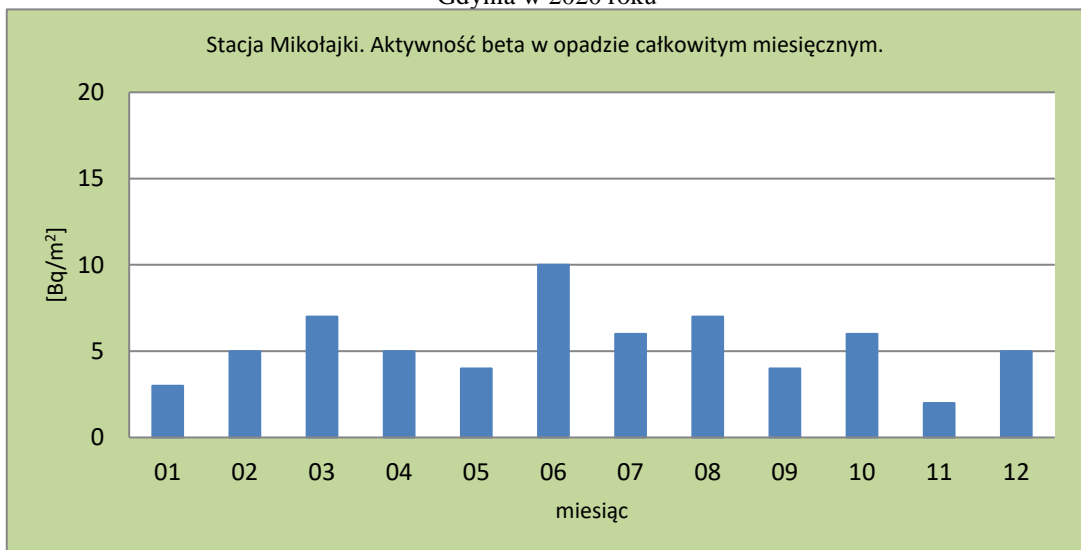
Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	6	3	3	4	1	4	4	5	5
Luty	8	3	5	6	2	4	4	12	7
Marzec	7	5	7	6	3	4	7	8	9
Kwiecień	13	7	5	6	4	6	4	12	9
Maj	13	8	4	8	6	6	5	14	17
Czerwiec	13	9	10	9	8	9	23	15	12
Lipiec	8	9	6	15	8	5	6	12	10
Sierpień	14	6	7	12	5	11	11	19	16
Wrzesień	9	7	4	7	11	5	7	16	16
Październik	11	5	6	11	7	6	7	6	4
Listopad	7	2	2	4	3	3	3	8	4
Grudzień	8	2	5	6	3	6	7	5	4
Średnia	9,8	5,5	5,3	7,8	5,1	5,8	7,3	11,0	9,4
Maksymalna	14	9	10	15	11	11	23	19	17
Minimalna	6	2	2	4	1	3	3	5	4
Średnia roczna	7,2								
Max. miesięczna	23								
Min. miesięczna	1								



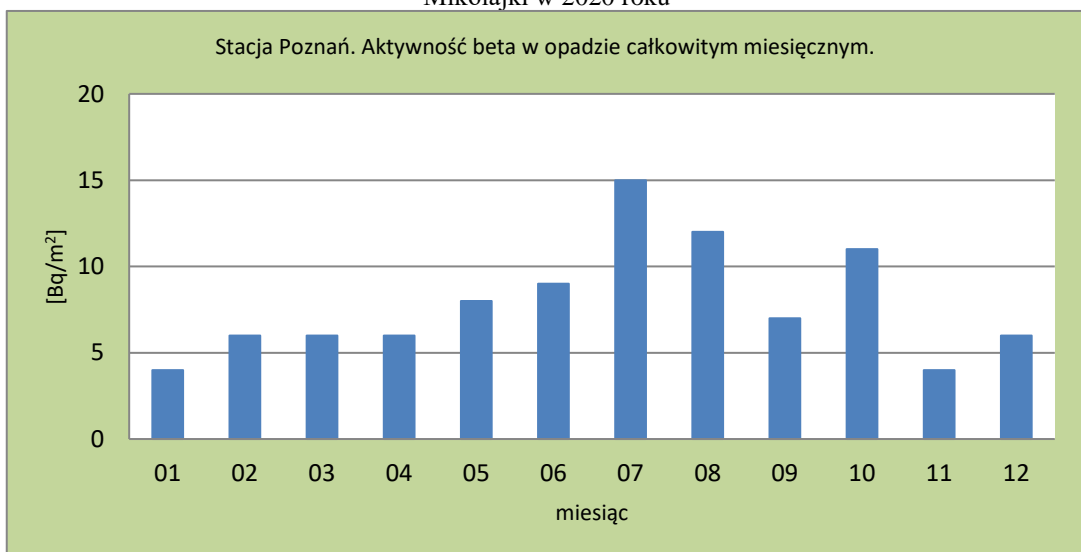
Rys. 51. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Warszawa w 2020 roku



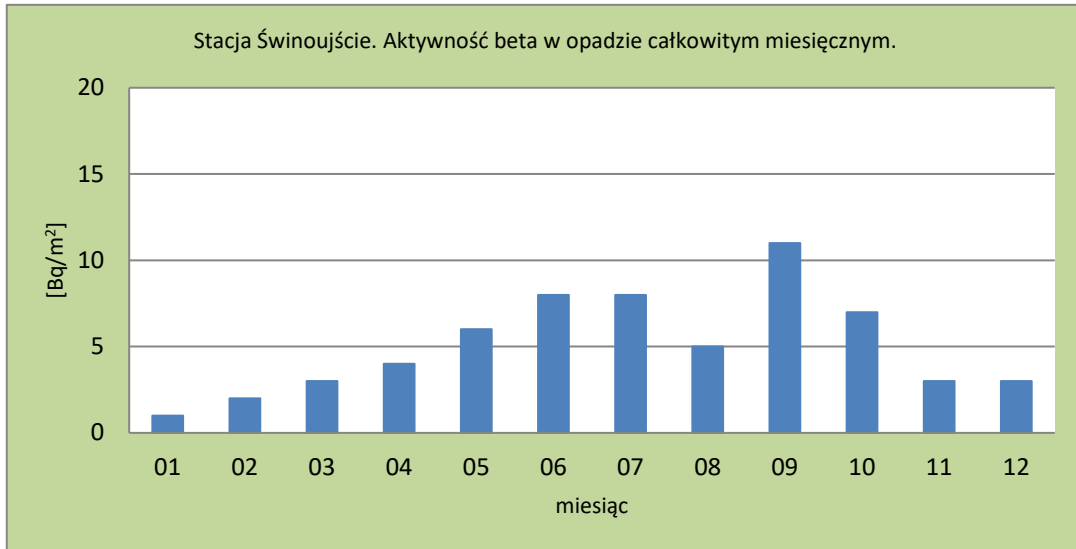
Rys. 52. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Gdynia w 2020 roku



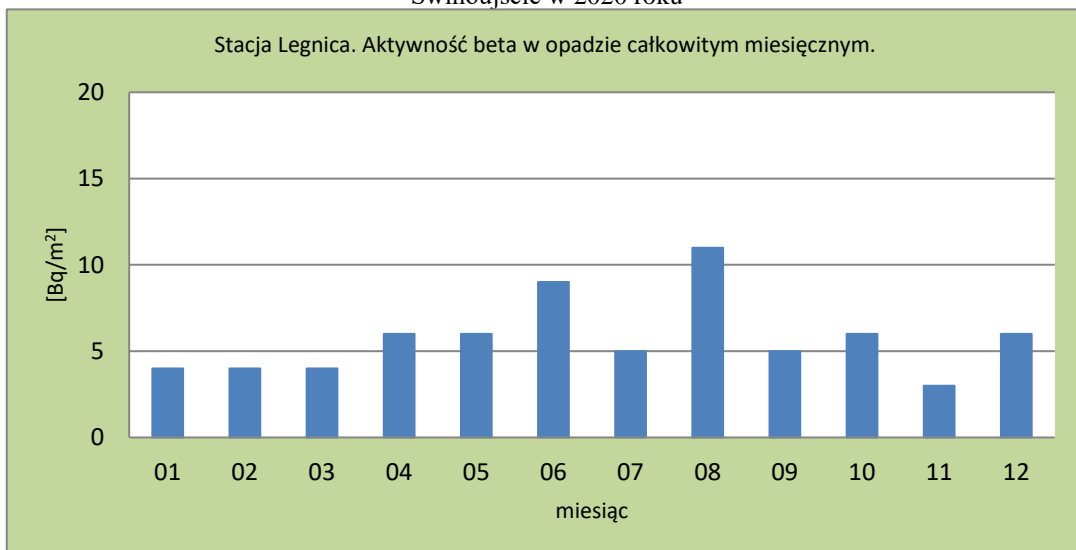
Rys. 53. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Mikołajki w 2020 roku



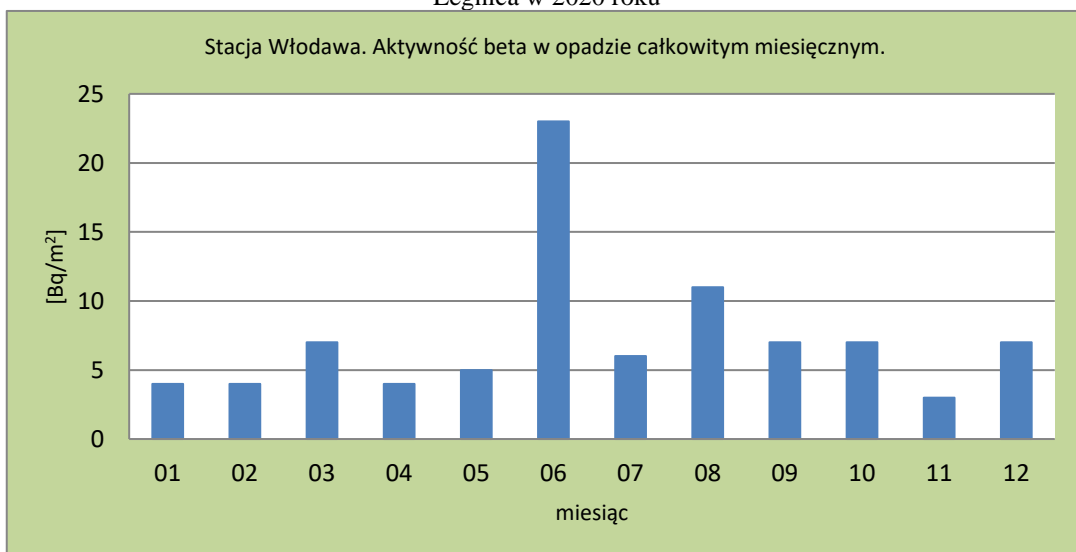
Rys. 54. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Poznań w 2020 roku



Rys. 55. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Świnoujście w 2020 roku



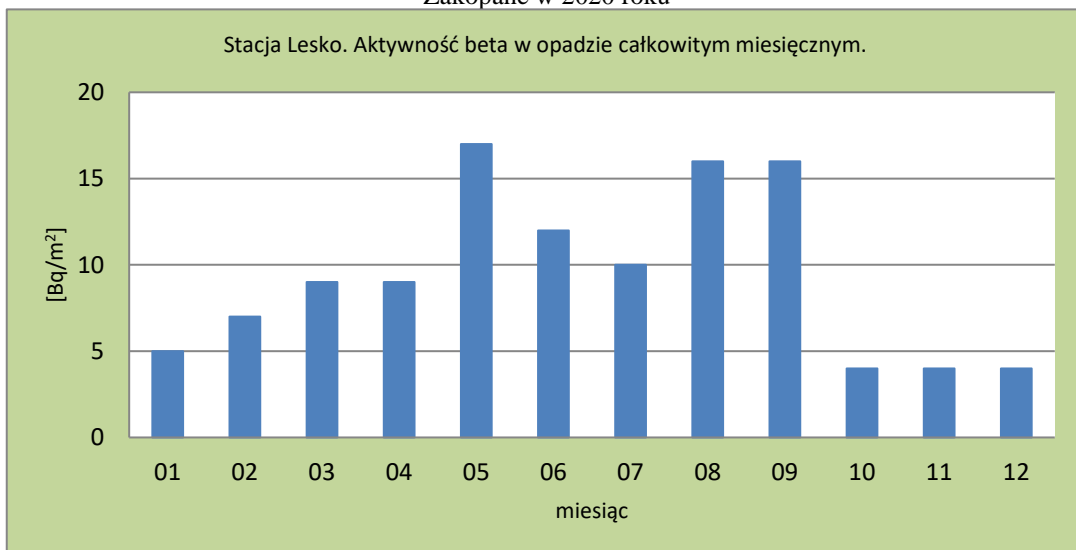
Rys. 56. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Legnica w 2020 roku



Rys. 57. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Włodawa w 2020 roku



Rys. 58. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Zakopane w 2020 roku



Rys. 59. Stężenie promieniotwórcze izotopów beta w całkowitym opadzie miesięcznym na stacji Lesko w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w roku 2020 wynosiła 7,2 Bq/m² i była o 0,2 Bq/m² niższa od średniorocznej aktywności z zeszłego roku. W latach 2000 – 2020 najniższą wartość uzyskano w roku 2005 (6,0 Bq/m²), najwyższą zaś przypada na rok 2017 (8,7 Bq/m²). Średnia aktywność tego promieniowania w całkowitym opadzie miesięcznym w omawianym okresie utrzymuje się na poziomie 7,2 Bq/m² (Tab. 14).

Tabela 14. Średnie wartości aktywności beta całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000 – 2020 [Bq/m²]

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

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

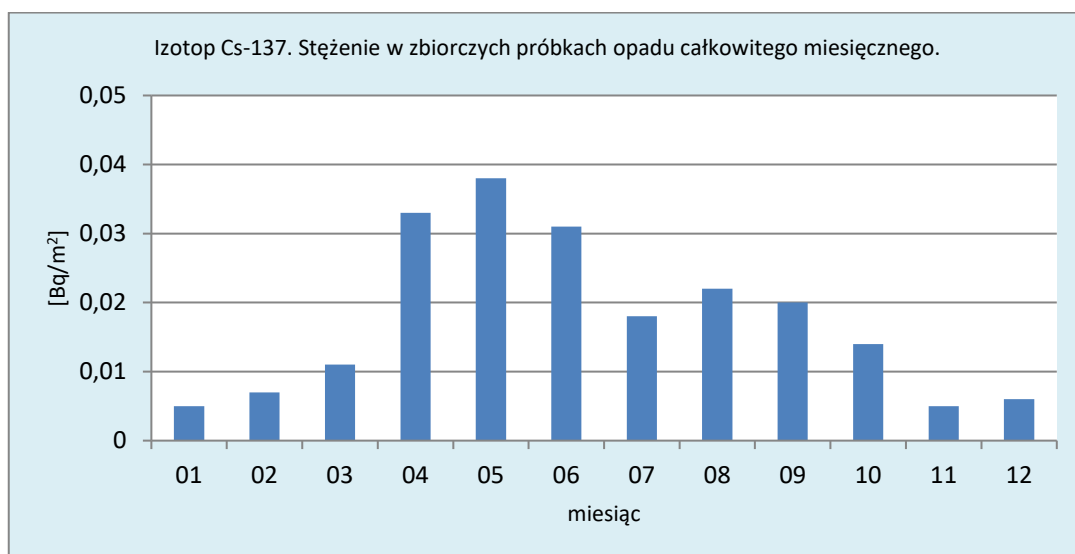
Promieniotwórcze izotopy cezu są izotopami pochodzenia antropogenicznego o stosunkowo długim okresie połowicznego rozpadu (30,05 lat) w przypadku ¹³⁷Cs i zdecydowanie krótszym (2,07 lat) w przypadku ¹³⁴Cs. Ich stężenia promieniotwórcze (aktywność odniesiona do powierzchni) oznaczane są w zbiorczych próbkach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

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

Średni ładunek ¹³⁷Cs wraz z opadem atmosferycznym wynosił 0,018 Bq/m², w przypadku ¹³⁴Cs stężenia tego izotopu były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe ładunki ¹³⁷Cs notowane były w styczniu i listopadzie (0,005 Bq/m²) oraz w grudniu (0,006 Bq/m²), najwyższe zaś w okresie kwiecień - czerwiec i wynosiły odpowiednio: 0,033 Bq/m², 0,038 Bq/m², 0,031 Bq/m². Taki rozkład stężeń był związany z intensywnymi opadami oraz łatwiejszym wyflukiwaniem izotopów z atmosfery (Tab. 15, Rys. 60).

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{134}Cs w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2020 r. [Bq/m^2]

Miesiąc	Aktywność Cs-137		Aktywność Cs-134
	Aktywność	Błąd pomiarowy	
Styczeń	0,005	0,001	< 0,003
Luty	0,007	0,001	< 0,003
Marzec	0,011	0,002	< 0,003
Kwiecień	0,033	0,002	< 0,001
Maj	0,038	0,002	< 0,004
Czerwiec	0,031	0,002	< 0,003
Lipiec	0,018	0,002	< 0,003
Sierpień	0,022	0,002	< 0,004
Wrzesień	0,020	0,002	< 0,004
Październik	0,014	0,002	< 0,004
Listopad	0,005	0,001	< 0,003
Grudzień	0,006	0,001	< 0,003
Suma roczna	0,210		
Średnia	0,018		
Maksymalna	0,038		
Minimalna	0,005		



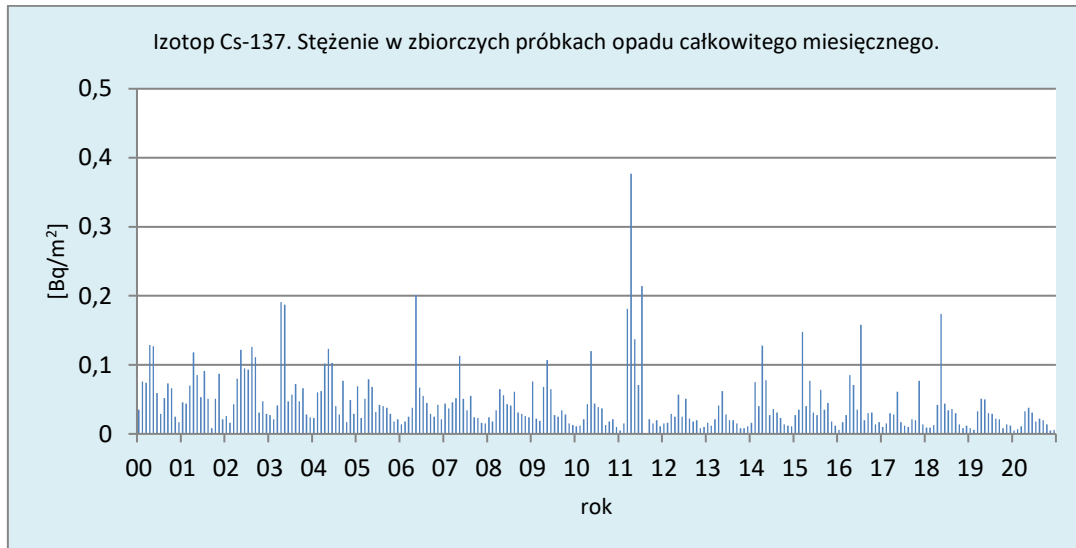
Rys. 60. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w roku 2020

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

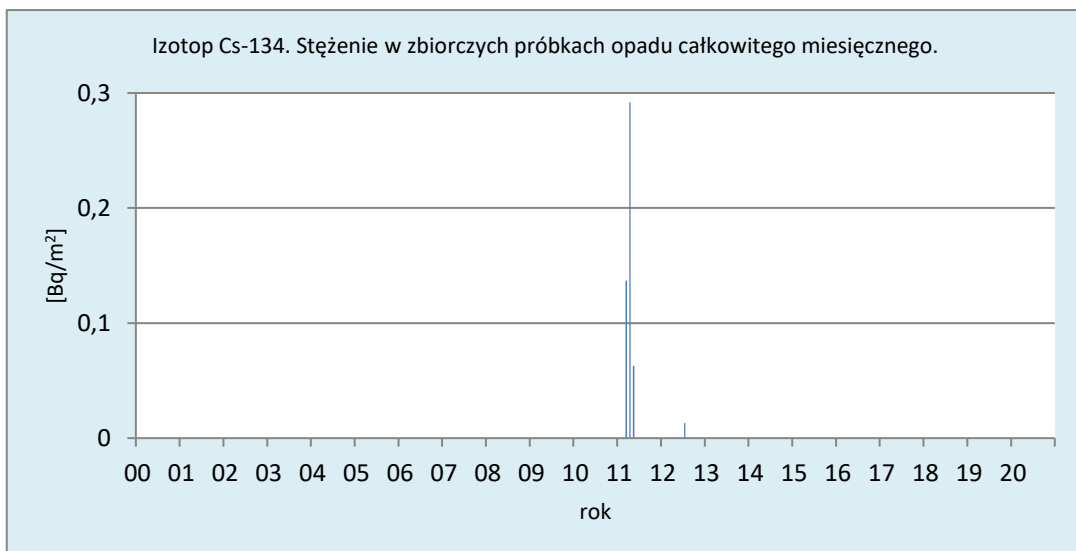
Izotop ^{137}Cs charakteryzuje się niską prędkością opadania ($0,05 - 0,5 \text{ cm s}^{-1}$), dlatego ładunek tego izotopu docierający do powierzchni Ziemi wzrasta w okresach intensywnych opadów, które powodują wypłukiwanie tego pierwiastka z atmosfery. W związku z tym najczęściej największy dopływ ^{137}Cs do powierzchni Ziemi występuje w okresie wiosenno-letnim, kiedy miesięczne sumy opadów są największe (Rys. 61). Roczna suma dopływu ^{137}Cs w 2020 roku wynosiła $0,210 \text{ Bq}/\text{m}^2$ i była o $0,074$ niższa od wartości

w 2019 ($0,284 \text{ Bq/m}^2$), a jednocześnie około 5 razy mniejsza od wartości uzyskanej w 2011 ($1,067 \text{ Bq/m}^2$) kiedy odnotowano podwyższoną depozycję na skutek awarii elektrowni atomowej w Fukushima (Tabela 16, Rys. 63). Sumaryczny dopływ ^{137}Cs w 2020 roku jest najniższy spośród wszystkich wyników otrzymanych w poprzednich latach. Średnia suma rocznych dopływów ^{137}Cs dla okresu 2000-2020 wynosiła $0,533 \text{ Bq/m}^2$ (Tabela 16).

W przypadku izotopu ^{134}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}Cs w powietrzu.



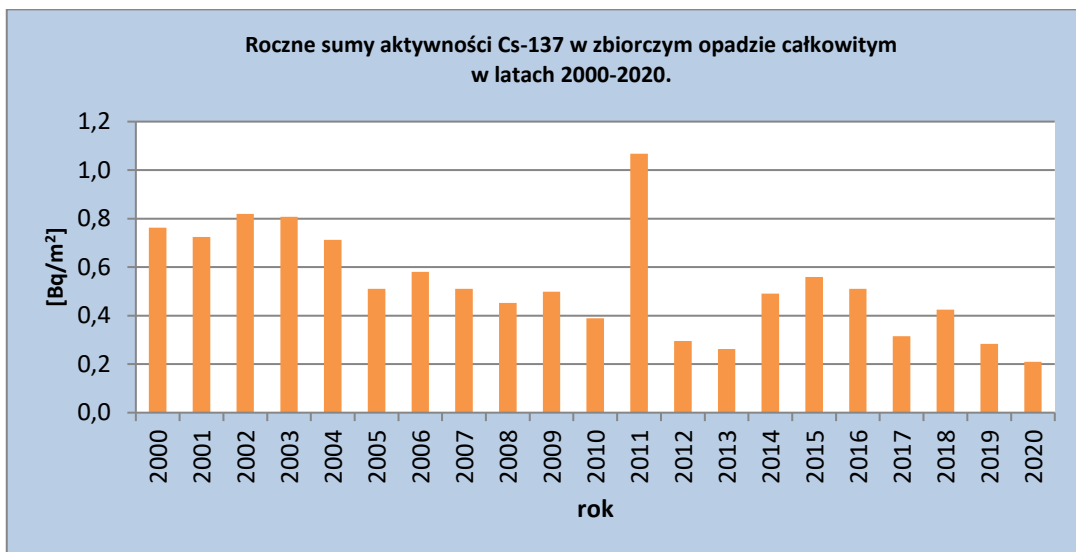
Rys. 61. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2020



Rys. 62. Stężenie promieniotwórcze ^{134}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2020

Tabela 16. Roczna suma dopływu ^{137}Cs i ^{134}Cs w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2020 [Bq/m^2]

Rok	^{137}Cs	^{134}Cs
2000	0,762	-
2001	0,725	-
2002	0,819	-
2003	0,808	-
2004	0,713	-
2005	0,510	-
2006	0,580	-
2007	0,510	-
2008	0,452	-
2009	0,499	-
2010	0,389	-
2011	1,067	0,492
2012	0,296	0,013
2013	0,262	-
2014	0,491	-
2015	0,559	-
2016	0,511	-
2017	0,315	-
2018	0,425	-
2019	0,284	-
2020	0,210	-
Średnia	0,533	
Minimalna	0,210	
Maksymalna	1,067	



Rys. 63. Roczne sumy dopływu ^{137}Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2020

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

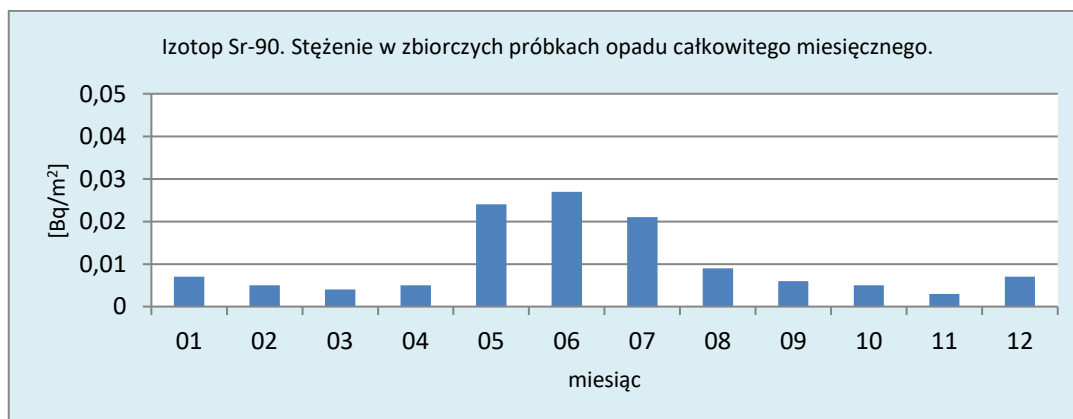
W tych samych zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego, w których analizowano izotopy cezu ^{137}Cs i ^{134}Cs przeprowadzono w 2020 roku pomiary stężeń promieniotwórczych antropogenicznego izotopu strontu – ^{90}Sr , który podobnie jak ^{137}Cs charakteryzuje się stosunkowo długim okresem połowicznego rozpadu (28 lat).

Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

Najwyższe stężenie ^{90}Sr zarejestrowano w czerwcu (0,027 Bq/m²) oraz maju i lipcu (0,024 Bq/m² i 0,021 Bq/m²). Najniższą aktywność stwierdzono w listopadzie (0,003 Bq/m²) oraz w marcu (0,004 Bq/m²). Pozostałe stężenia promieniotwórcze w kolejnych miesiącach mieściły się w przedziale od 0,005 Bq/m² do 0,009 Bq/m². Izotop ten charakteryzuje się 4 razy większym tempem opadania niż izotop ^{137}Cs w związku z czym zarówno sucha, jak i mokra depozycja odpowiada za dopływ ^{90}Sr do powierzchni Ziemi, co powoduje, że nie obserwuje się znaczących zmienności w ciągu roku (Tab. 17, Rys. 64).

Tabela 17. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2020 r.

Miesiąc	Aktywność Sr-90 [Bq/m ²]	
	Aktywność	Błąd pomiarowy
Styczeń	0,007	0,001
Luty	0,005	0,001
Marzec	0,004	0,001
Kwiecień	0,005	0,001
Maj	0,024	0,002
Czerwiec	0,027	0,002
Lipiec	0,021	0,002
Sierpień	0,009	0,001
Wrzesień	0,006	0,001
Październik	0,005	0,001
Listopad	0,003	0,001
Grudzień	0,007	0,001
Suma roczna	0,123	
Średnia	0,010	
Maksymalna	0,027	
Minimalna	0,003	



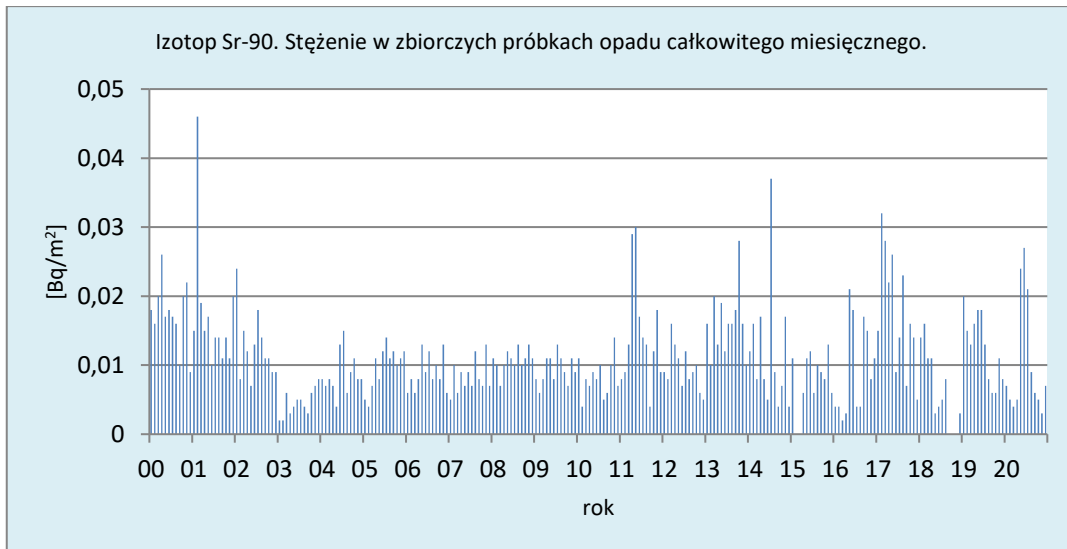
Rys. 64. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2020 roku

Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

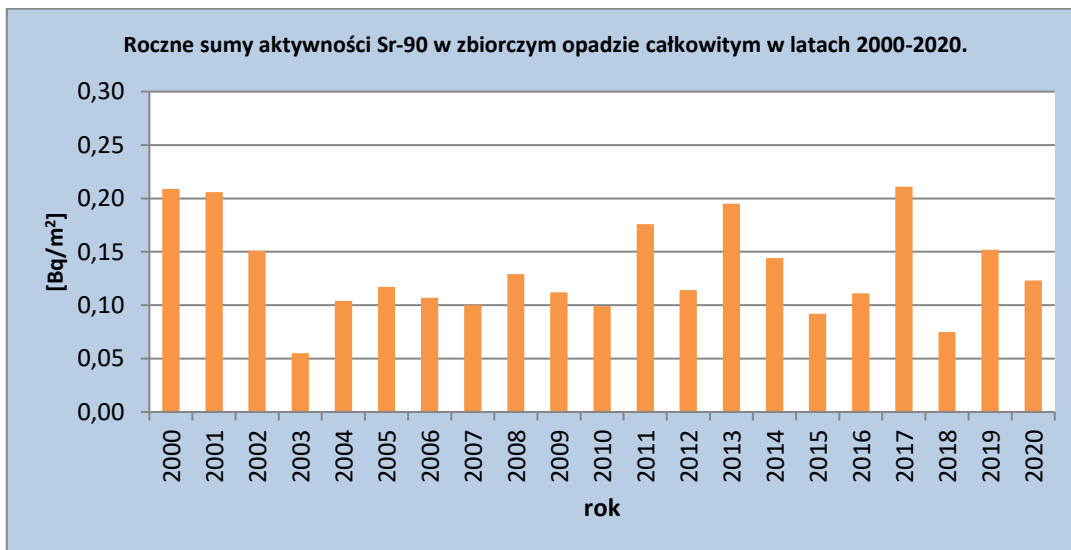
Najwyższe roczne sumy aktywności ^{90}Sr w opadzie całkowitym zmierzono w latach 2000, 2001 oraz 2017 i wynosiły one odpowiednio: 0,209 Bq/m², 0,206 Bq/m² i 0,211 Bq/m² (Tab. 18). Najniższą wartość odnotowano w roku 2003 (0,055 Bq/m²), natomiast w pozostałych latach stężenia mieściły się w przedziale od 0,075 Bq/m² do 0,195 Bq/m². Roczny dopływ ^{90}Sr wraz z opadem całkowitym w 2020 roku wyniósł 0,123 Bq/m² i był o 0,029 Bq/m² niższy niż w roku ubiegłym. Średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2020 jest na poziomie 0,132 Bq/m².

Tabela 18. Roczna suma aktywności ^{90}Sr w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2020 [Bq/m²]

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



Rys. 65. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2020



Rys. 66. Roczne sumy dopływu ^{90}Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w latach 2000-2020

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

W 2020 roku, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego oznaczano również stężenia promieniotwórcze izotopów pochodzenia naturalnego: ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac i ^{40}K . Izotop ^{40}K jest najbardziej rozpowszechnionym izotopem z bardzo długim okresem połowicznego rozpadu wynoszącym $1,251 \cdot 10^9$ lat. ^{226}Ra jest produktem rozpadu w szeregu uranowo – radowym (^{238}U), jego okres połowicznego rozpadu wynosi 1599 lat. ^{228}Ac jest produktem rozpadu w szeregu torowym (^{232}Th) z połowicznym czasem 6,13 godziny. Źródłem ^7Be , którego okres połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki – 53,3 dni, jest natomiast promieniowanie kosmiczne.

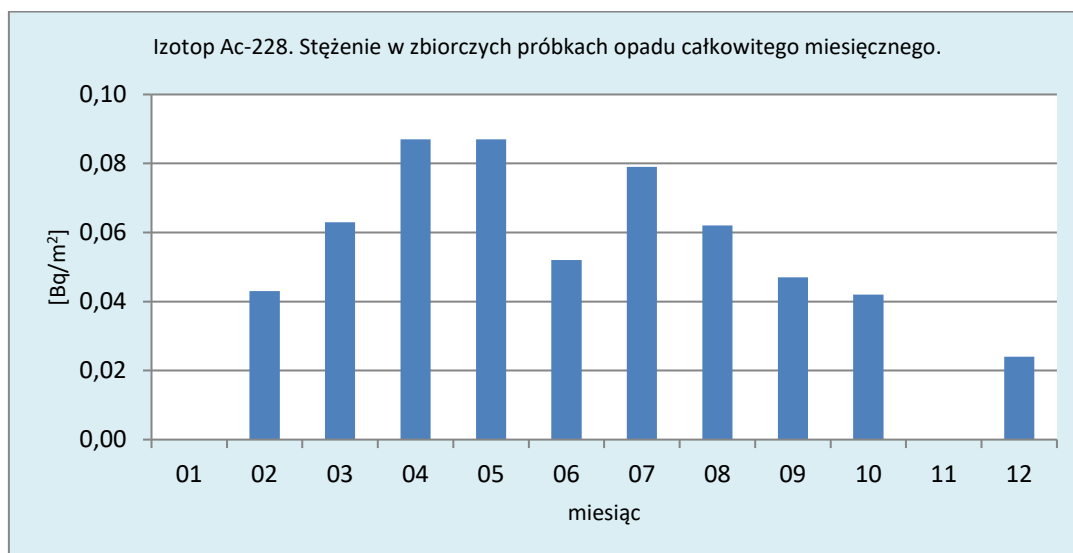
Analiza wyników uzyskanych w roku 2020

Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą aktywnością charakteryzował się ^7Be . Średnia roczna aktywność tego izotopu wynosiła $66,757 \text{ Bq/m}^2$ i wahała się w zakresie od $18,321 \text{ Bq/m}^2$ (listopad) do $164,735 \text{ Bq/m}^2$ (czerwiec) (Tabela 16, Rys. 67). Roczny dopływ tego izotopu był o $33,642 \text{ Bq/m}^2$ wyższy niż w zeszłym roku i wynosił $801,079 \text{ Bq/m}^2$ (Tabela 19). W 2020 roku aktywność ^{40}K zmieniała się w zakresie od $0,704 \text{ Bq/m}^2$ (styczeń) do $3,279 \text{ Bq/m}^2$ (maj), natomiast roczny dopływ

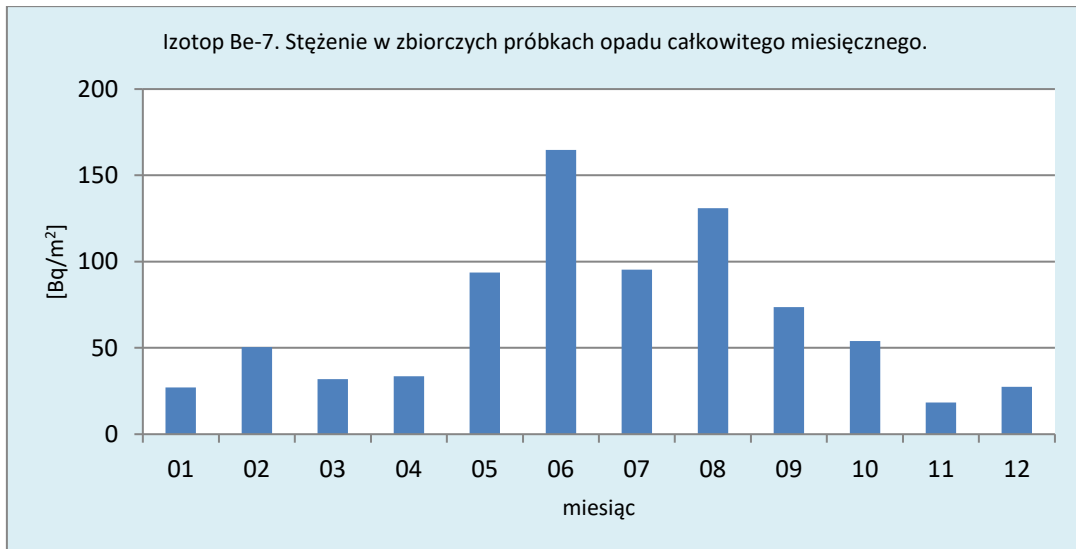
był na poziomie 25,871 Bq/m² (Tabela 16, Rys. 68). W przypadku ²²⁶Ra roczny dopływ wynosił 0,884 Bq/m²rok a miesięczne ładunki oscylowały w zakresie od 0,011 Bq/m² (lipiec) do 0,126 Bq/m² (wrzesień) (Tabela 19, Rys. 69). Roczny dopływ ²²⁸Ac był o 0,298 Bq/m² niższy niż ²²⁶Ra i wynosił 0,586 Bq/m², a jego miesięczne ładunki mieściły się w przedziale od 0,024 Bq/m² w grudniu do 0,087 Bq/m² w kwietniu i maju (Tabela 19, Rys. 70). Zarówno w przypadku ²²⁸Ac i ²²⁶Ra w listopadzie aktywność tych izotopów w opadzie miesięcznym była poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej.

Tabela 19. Stężenie promieniotwórcze ²²⁸Ac, ⁷Be, ⁴⁰K oraz ²²⁶Ra w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2020 r. [Bq/m²]

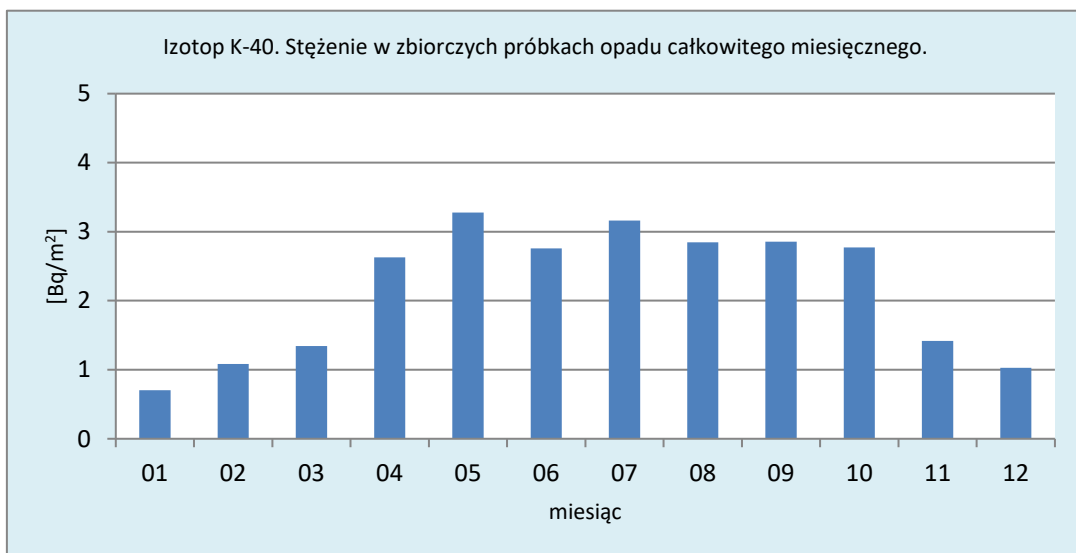
Miesiąc	²²⁸ Ac	⁷ Be	⁴⁰ K	²²⁶ Ra
Styczeń	-	27,063	0,704	0,029
Luty	0,043	50,456	1,085	0,051
Marzec	0,063	31,973	1,343	0,112
Kwiecień	0,087	33,542	2,626	0,125
Maj	0,087	93,68	3,279	0,098
Czerwiec	0,052	164,735	2,757	0,111
Lipiec	0,079	95,341	3,163	0,011
Sierpień	0,062	130,891	2,844	0,102
Wrzesień	0,047	73,598	2,854	0,126
Październik	0,042	54,061	2,77	0,072
Listopad	-	18,321	1,418	-
Grudzień	0,024	27,418	1,028	0,047
Suma roczna	0,586	801,079	25,871	0,884
Średnia	0,059	66,757	2,156	0,080
Maksymalna	0,087	164,735	3,279	0,126
Minimalna	0,024	18,321	0,704	0,011



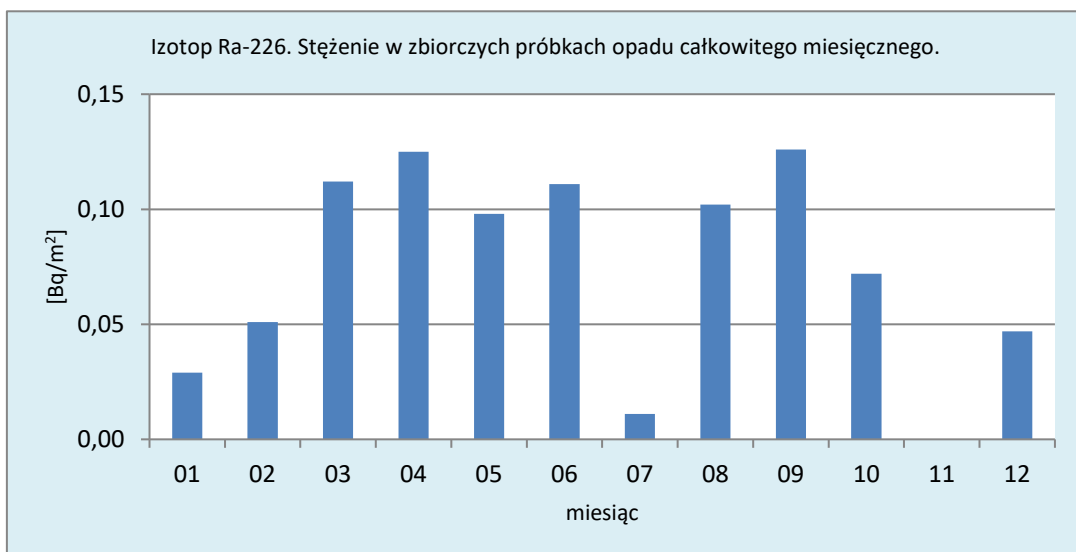
Rys. 67. Stężenie promieniotwórcze ²²⁸Ac w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2020 roku



Rys. 68. Stężenie promieniotwórcze ⁷Be w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2020 roku



Rys. 69. Stężenie promieniotwórcze ⁴⁰K w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2020 roku



Rys. 70. Stężenie promieniotwórcze ²²⁶Ra w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego w 2020 roku

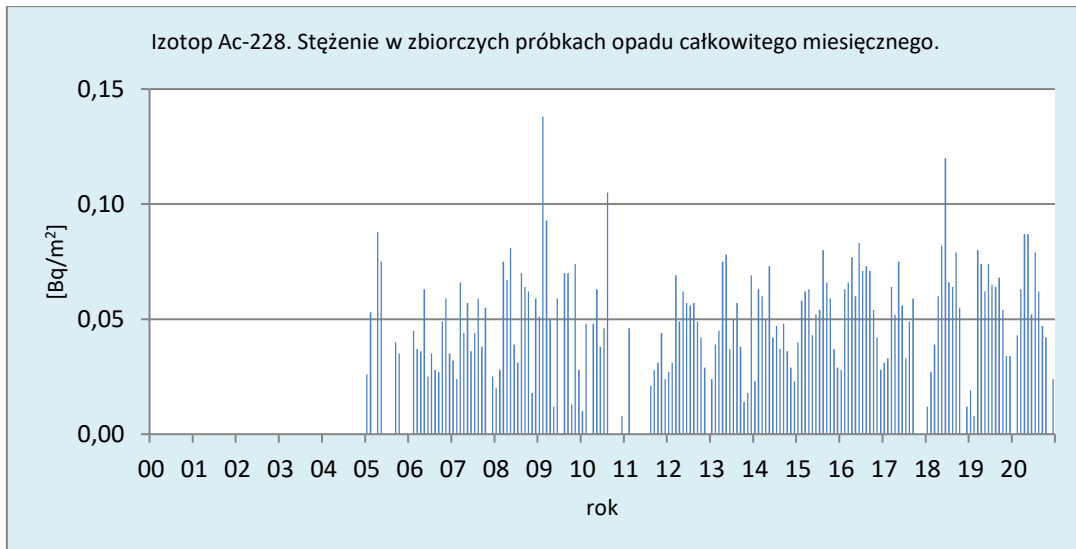
Porównanie wyników uzyskanych w roku 2020 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W okresie od 2000 do 2020 roku (Tabela 20) spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy ^7Be i ^{40}K (Rys. 67-70). Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku ^{137}Cs wypłukiwaniem tych izotopów z atmosfery.

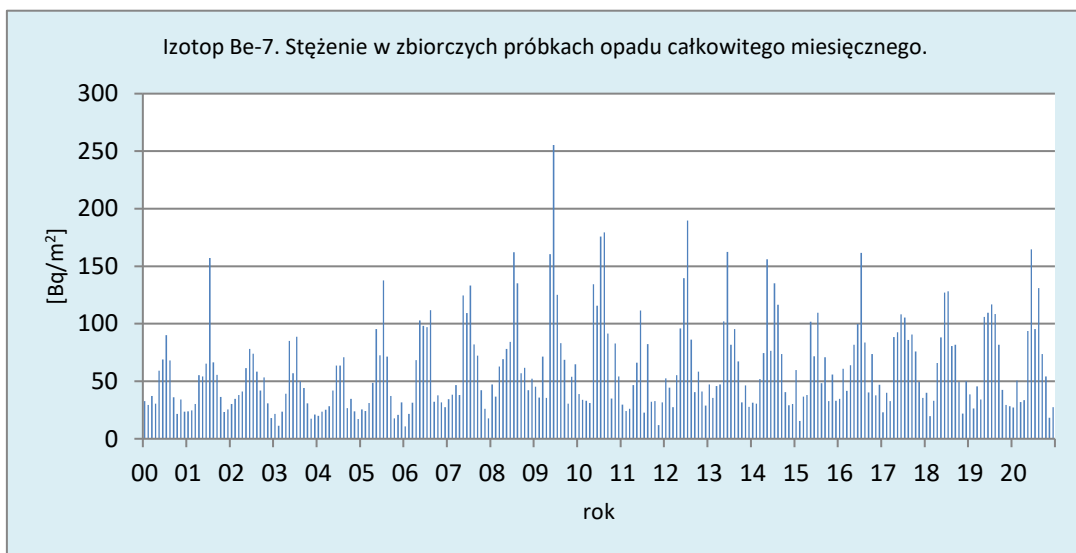
W roku 2020 średnie roczne ładunki pierwiastków: ^7Be , ^{40}K i ^{228}Ac były wyższe od średniej uzyskanej z lat 2000-2020, a w przypadku ^{226}Ra ładunek w roku 2020 był niższy od średniej z badanego okresu (Tabela 20).

Tabela 20. Roczna suma aktywności ^{226}Ra , ^7Be , ^{228}Ac , ^{40}K w zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2020 [Bq/m^2]

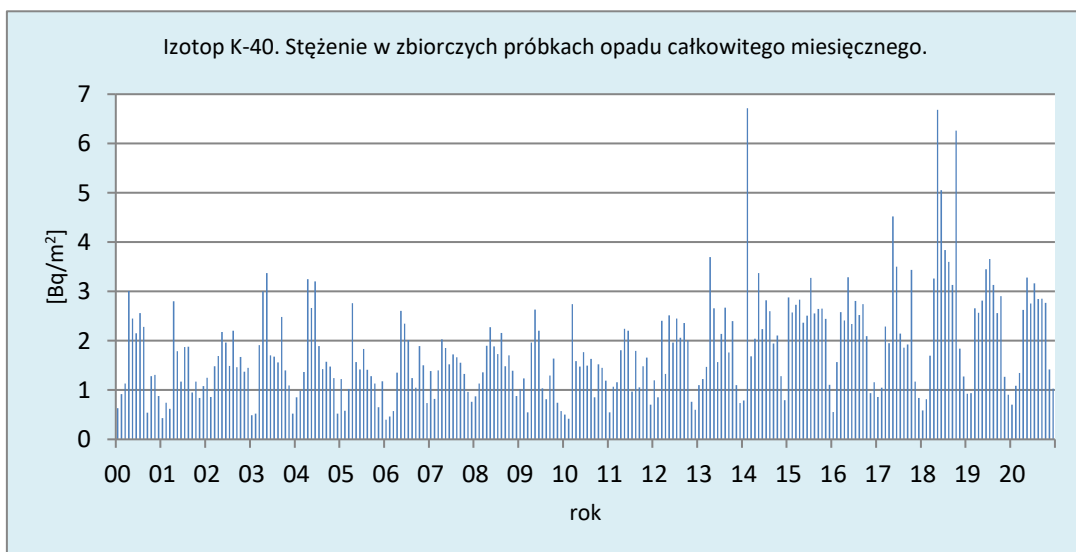
Rok	^{228}Ac	^7Be	^{40}K	^{226}Ra
2000	-	531,960	19,140	2,530
2001	-	618,030	15,340	2,490
2002	-	559,700	19,060	2,490
2003	-	489,520	19,720	2,330
2004	-	439,582	20,447	2,974
2005	0,402	614,147	16,064	2,584
2006	0,450	670,895	16,184	1,068
2007	0,493	764,630	16,991	1,299
2008	0,614	888,322	18,764	1,817
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
Średnia	0,498	728,930	21,663	1,546
Minimalna	0,069	439,582	15,340	0,659
Maksymalna	0,716	1029,896	38,046	2,974



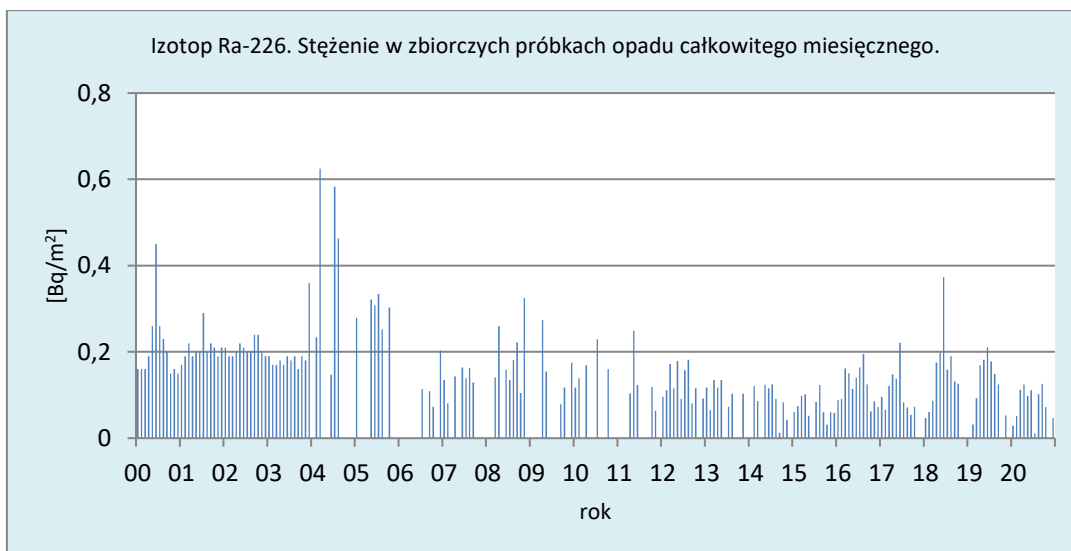
Rys. 71. Stężenie promieniotwórcze ^{228}Ac w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2020



Rys. 72. Stężenie promieniotwórcze ^7Be w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2020



Rys. 73. Stężenie promieniotwórcze ^{40}K w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2020



Rys. 74. Stężenie promieniotwórcze ^{226}Ra w zbiorczych próbkach opadu miesięcznego w latach 2000-2020

4. Podsumowanie

W 2020 roku monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy atmosfery prowadzono w ramach umów 8/2018/F oraz DMS/139/2020/F zawartych pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym.

Pomiary prowadzono na stacjach sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych działających w ramach infrastruktury IMGW-PIB, zlokalizowanych w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu³, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach.

W 2020 roku prowadzono pomiary następujących parametrów:

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

Wyniki uzyskane w roku 2020 zestawiono w tabeli 21 na kolejnej stronie.

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

Tabela 21. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2020

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość średnia/Suma roczna ⁴			
1.	Moc dawki promieniowania gamma. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 90,8 nSv/h str. 19			
2.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia naturalnego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 8,4 Bq/m³ str. 24			
3.	Stężenie promieniotwórcze izotopów alfa pochodzenia sztucznego w aerozolach <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,084 Bq/m³ str. 29			
4.	Stężenie promieniotwórcze izotopów beta pochodzenia sztucznego w aerozolach powietrza <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,330 Bq/m³ str. 33			
5.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu dobowego oraz roczna suma aktywności beta całkowitego opadu dobowego. <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 0,8 Bq/m² str. 37	Suma roczna 0,309 kBq/m² str. 38		
6.	Globalna aktywność beta wody opadowej <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 288 mBq/litr str. 42			
7.	Globalna aktywność beta całkowitego opadu miesięcznego <i>Wartości na poziomie tła</i>	Wartość średnia 7,2 Bq/m² str.47			
8.	Stężenie promieniotwórcze ¹³⁷ Cs w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego <i>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</i>	Wartość średnia 0,018 Bq/m² str. 52	Suma roczna 0,210 Bq/m² str.52		
9.	Stężenie promieniotwórcze ¹³⁴ 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 ⁹⁰ Sr w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. <i>Bardzo niskie wartości z tendencją malejącą</i>	Wartość średnia 0,010 Bq/m² str. 55	Suma roczna 0,123 Bq/m² str. 55		
12.	Sumy roczne aktywności ²²⁸ Ac, ⁷ Be, ⁴⁰ K, ²²⁶ Ra, w zbiorczych próbkach całkowitego opadu miesięcznego. [Bq/m ²] <i>Wartości na poziomie tła</i> str. 58	Ac-228	Be-7	K-40	Ra-226
0,586		801,079	25,871	0,884	

⁴ Suma roczna dotyczy tylko wyników spektrometrycznych oraz opadu całkowitego dobowego.

5. Wnioski

Poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery związany z obecnością izotopów promieniotwórczych sztucznych i naturalnych w 2020 roku nie odbiegał w sposób znaczący od poziomu, który obserwowano w poprzednich latach.

Średnia roczna wartość mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu wyznaczona na podstawie danych dobowych zmierzonych na 9 stacjach w 2020 roku wyniosła 90,8 nSv/h i jest niższa od obserwowanej w roku poprzednim o 1,8 nSv/h. W latach 2000 - 2020 nie obserwowano wyraźnych trendów ani istotnych zmian średniej mocy dawki promieniowania gamma charakterystycznej dla obszaru Polski. W omawianym okresie wartości te zmieniały się w stosunkowo wąskim przedziale od 89,6 nSv/h w 2010 r do 99,1 nSv/h w 2000 r. Średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma uzyskana ze średnich rocznych w badanych latach wynosiła 93,9 nSv/h.

W roku 2020 średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów naturalnych emitujących promieniowanie alfa w aerozolach zawieszonych w powietrzu było o 0,9 Bq/m³ wyższe niż w roku ubiegłym i wyniosło 8,4 Bq/m³. Średnia obliczona na podstawie danych z okresu 2000 – 2020 wynosi 7,1 Bq/m³.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie alfa w 2020 roku wyniosło 0,084 Bq/m³ i było o 0,002 Bq/m³ niższe od ubiegłorocznego średniego stężenia, będącego najwyższym wynikiem odnotowanym w latach 2000-2020. W badanym okresie najniższe średnie roczne stężenie 0,004 Bq/m³ uzyskano w 2001 roku, natomiast średnia ze wszystkich lat utrzymuje się na poziomie 0,038 Bq/m³.

Średnie roczne stężenie izotopów pochodzenia sztucznego emitujących promieniowanie beta w 2020 roku wyniosło 0,330 Bq/m³ i było porównywalne z wartością z poprzedniego roku - 0,337 Bq/m³. Średnie roczne stężenia uzyskane w latach 2015 - 2020 były jednymi z najwyższych spośród wszystkich średnich odnotowanych od 2000 roku. Wartości te są ponad dziesięćkrotnie wyższe niż minimalne średnie stężenie przypadające na rok 2001. Aktywności te uznajemy za niskie, pozostające na poziomie tła i niestanowiące zagrożenia. Średnia aktywność badanego promieniowania w aerozolach w badanym okresie wyniosła 0,121 Bq/m³.

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 2020 roku wyniosła 0,31 kBq/m²/rok i była taka sama jak w latach: 2006, 2007, 2013, 2015, 2016, 2019. Wartość średnia obliczona dla okresu 2000-2020 utrzymuje się na poziomie 0,32 kBq/m²/rok.

W 2020 roku średnia aktywność beta wody opadowej wyniosła 288 mBq/l i była najniższą wartością uzyskaną od 2000 roku. Maksymalna wartość, jaka wystąpiła w okresie 2000-2020, przypada na rok 2003 (376 mBq/l). Średnia aktywność beta wody opadowej w omawianym okresie utrzymuje się na poziomie 338 mBq/l.

Średnia aktywność promieniowania beta w całkowitym miesięcznym opadzie w roku 2020 wyniosła 7,2 Bq/m² i była o 0,2 Bq/m² niższa od średniorocznej aktywności z zeszłego roku. W latach 2000 – 2020 najniższą wartość uzyskano w roku 2005 (6,0 Bq/m²), najwyższa zaś przypada na rok 2017 (8,7 Bq/m²). Średnia aktywność tego promieniowania w całkowitym opadzie miesięcznym w omawianym okresie utrzymuje się na poziomie 7,2 Bq/m².

W 2020 roku średni ładunek ¹³⁷Cs wraz z opadem atmosferycznym wynosił 0,018 Bq/m², w przypadku ¹³⁴Cs stężenia tego izotopu były poniżej limitu detekcji stosowanej metody pomiarowej. Najniższe ładunki ¹³⁷Cs notowane były w styczniu i listopadzie (0,005 Bq/m²) oraz w grudniu (0,006 Bq/m²), najwyższe zaś w okresie kwiecień - czerwiec i wynosiły odpowiednio: 0,033 Bq/m², 0,038 Bq/m², 0,031 Bq/m².

Roczna suma dopływu ^{137}Cs w 2020 roku wynosiła $0,210 \text{ Bq/m}^2$ i była o $0,074$ niższa od wartości z 2019 r. ($0,284 \text{ Bq/m}^2$), a jednocześnie około 5 razy mniejsza od wartości uzyskanej w 2011 r. ($1,067 \text{ Bq/m}^2$) kiedy odnotowano podwyższoną depozycję na skutek awarii elektrowni atomowej w Fukushima. Sumaryczny dopływ ^{137}Cs w 2020 roku jest najniższy spośród wszystkich wyników otrzymanych w poprzednich latach. Średnia suma rocznych dopływów ^{137}Cs dla okresu 2000-2020 wynosiła $0,533 \text{ Bq/m}^2$.

W przypadku izotopu ^{134}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}Cs w powietrzu.

Najwyższe stężenie ^{90}Sr w 2020 roku zarejestrowano w czerwcu ($0,027 \text{ Bq/m}^2$) maju ($0,024 \text{ Bq/m}^2$) i lipcu ($0,021 \text{ Bq/m}^2$). Najniższą aktywność stwierdzono w listopadzie ($0,003 \text{ Bq/m}^2$) oraz w marcu ($0,004 \text{ Bq/m}^2$). Pozostałe stężenia promieniotwórcze w kolejnych miesiącach mieściły się w przedziale od $0,005 \text{ Bq/m}^2$ do $0,009 \text{ Bq/m}^2$.

Roczny dopływ ^{90}Sr wraz z opadem całkowitym w 2020 roku wyniósł $0,123 \text{ Bq/m}^2$ i był o $0,029 \text{ Bq/m}^2$ niższy niż w ubiegłym roku. Średnia roczna suma tego izotopu w latach 2000-2020 była na poziomie $0,132 \text{ Bq/m}^2$.

W okresie od 2000 do 2020 roku, spośród czterech naturalnych promieniotwórczych izotopów największą zmiennością sezonową charakteryzowały się izotopy ^7Be i ^{40}K . Najwyższe ładunki mierzone były w miesiącach letnich i było to spowodowane, podobnie jak w przypadku ^{137}Cs wypłukiwaniem tych izotopów z atmosfery.

W roku 2020 średnie roczne ładunki pierwiastków: ^7Be , ^{40}K i ^{228}Ac były wyższe od średniej uzyskanej z lat 2000-2020, a w przypadku ^{226}Ra ładunek w roku 2020 był niższy od średniej z badanego okresu.

Pod koniec września 2017 roku w Polsce został wykryty ^{106}Ru w całkowitym opadzie atmosferycznym. Aktywności promieniotwórcze tego izotopu były obserwowane jeszcze w 2018 roku. W kolejnych latach nie wykryto już skażeń ^{106}Ru .