



INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
CENTRUM MONITORINGU KLIMATU POLSKI



# WYKONYWANIE POMIARÓW W SIECI WCZESNEGO WYKRYWANIA SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH W LATACH 2011 - 2012

## ETAP V RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI ZA ROK 2011



Dofinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej

*Praca wykonana na podstawie Umowy z GIOŚ nr 2/2011/F finansowanej ze środków NFOŚiGW na podstawie umowy nr 588/2010/WN-7/MN-BD/D zawartej w dniu 28.10.2010 roku o dofinansowanie państwowej jednostki budżetowej w formie przekazania środków na cele nieinwestycyjne.*

Mgr Andrzej Czuryłowski  
Dr inż. Tamara Zalewska  
Adam Staśkiewicz

**Spis treści:**

**Część I**

1. Wstęp - cel i zakres pracy	4
2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych	5
2.1. Pobór i przygotowanie próbek	5
2.2. Metody pomiarowe wraz z opisem systemu zapewniania jakości pomiarów	5
3. Wyniki i dyskusja wyników	14
3.1. Moc dawki promieniowania gamma w powietrzu	14
3.1.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011	14
3.1.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych	15
3.2. Radioaktywności alfa naturalna i sztuczna oraz beta sztuczna próbek aerozoli powietrza	19
3.2.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011	19
3.2.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian	21
3.3. Globalna aktywności beta dobowego i miesięcznego opadu całkowitego	29
3.3.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011.	29
3.3.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian	31
3.4. Stężenia promieniotwórcze wybranych sztucznych i naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego	40
3.4.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011	40
3.4.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian	41
3.5. Aktywność Sr-90 w zbiorczych próbach miesięcznego opadu całkowitego	43
3.5.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011.	43
3.5.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian	44
3.6. Pomiary uzupełniające po awarii elektrowni w Fukushima	45
4. Wnioski	47
5. Podsumowanie	48

## **Część II**

Syntetyczne opracowanie informacji dla ogółu społeczeństwa (dla osób niezwiązanych bezpośrednio z pomiarami radioaktywności) o stanie radiacyjnym powietrza w kraju w oparciu o dane pomiarowe z części I. – strony 49-55.

Słowo wstępne.	49
Słownik użytych pojęć i terminów.	
I. Radioaktywność naturalna w środowisku – wprowadzenie.	50
• Wyniki pomiarów beta w opadzie całkowitym.	
• Wyniki pomiarów radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym.	
• Wyniki pomiarów mocy dawki promieniowania gamma.	
• Wyniki pomiarów promieniowania aerozoli alfa naturalnych w powietrzu.	
• Interpretacja wyników oraz odniesienie ich do poprzednich lat.	
II. Radioaktywność sztuczna w środowisku – wprowadzenie.	53
1. Wyniki pomiarów radionuklidów sztucznych w opadzie całkowitym.	
2. Wyniki pomiarów promieniowania aerozoli alfa i beta sztucznych w powietrzu.	
3. Interpretacja wyników oraz odniesienie ich do poprzednich lat.	
III. Meteorologia a radioaktywność powietrza.	54
1. Związki parametrów meteorologicznych i wartości promieniowania gamma oraz radioaktywności aerozoli powietrza.	
2. Przykładowe wykresy pokazujące związki parametrów meteorologicznych i wartości promieniowania gamma oraz radioaktywności aerozoli powietrza.	
IV. Wnioski.	55

## **1. Wstęp - 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 2010-2012<sup>1</sup>. Państwowy Monitoring Środowiska, według art. 25 ust. 2 ustawy - Prawo Ochrony Środowiska, jest systemem: pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji. Program został opracowany w Departamencie Monitoringu i Informacji o Środowisku Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska.

IMGW - PIB realizując podpisaną z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska umowę pt.: „Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych w latach 2011 – 2012.” zobowiązane jest do wykonania pomiarów promieniowania gamma w powietrzu przy powierzchni ziemi oraz pomiarów radioaktywności próbek aerozoli powietrza i opadu całkowitego w okresie od 1 marca 2011 r. do 31 maja 2013 r. Stacje IMGW - PIB prowadzące pomiary zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Poznaniu, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach, przy czym stacje Gorzów Wlkp. oraz Poznań traktowane są jako jedna stacja ze względu na fakt, że prowadzą pomiary uzupełniające.

Zakres zadań obejmuje:

- a) Ciągły pomiar mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu na wysokości 1 m nad powierzchnią gruntu z rejestracją wartości średnich godzinnych 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 (w Włodawie, Świnoujściu, Gorzowie Wlkp., Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach), z rejestracją średnich godzinnych i średnich dobowych wartości aktywności emiterów alfa i beta promieniotwórczych oraz wyznaczonej aktywności sztucznych emiterów beta promieniotwórczych.
- c) Pomiary globalnej aktywności beta próbek dobowych opadu całkowitego oraz pomiary miesięcznych próbek opadu całkowitego na 9 stacjach pomiarowych (w Warszawie, Gdyni, Włodawie, Świnoujściu, Poznaniu, Lesku, Zakopanem, Legnicy i Mikołajkach).
- d) Spektrometryczne pomiary aktywności Cs-137 i wybranych naturalnych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.
- e) Radiochemiczne oznaczanie Sr-90 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki uzyskane w roku 2011 wraz z komentarzem uwzględniającym dane z lata poprzednich. Wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej i graficznej.

---

<sup>1</sup> <http://www.gios.gov.pl/artykuly/70/Aktualny-program-Panstwowego-Monitoringu-Srodowiska> strona 89 i 90.

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

### 2.1. Pobór i przygotowanie próbek

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

- a) Pobór próbek całkowitego opadu dobowego polega na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do kuwety o powierzchni 1500 cm<sup>2</sup> napełnionej warstwą wody o grubości 1 cm eksponowanej przez okres 24 godzin, od godziny 6 UTC. Po zakończeniu ekspozycji próbki, zebraną wodę odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę następnie spopiela się w piecu muflowym w temperaturze 450 oC. Otrzymany popiół przenosi się do miseczki pomiarowej wykonanej z folii aluminiowej o grubości 0,1 mm. Wymiary miseczki pomiarowej są następujące: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać 50 mg/cm<sup>2</sup>, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- b) Pobór próbek całkowitego opadu miesięcznego polega na zbieraniu opadu (mokrego i suchego) do trzech kuwet o łącznej powierzchni 4500 cm<sup>2</sup> eksponowanych przez okres jednego miesiąca od każdego pierwszego dnia danego miesiąca. Przyjęto, że próbce opadu całkowitego przypisuje się datę dnia, w którym rozpoczęto jej ekspozycję. Po zakończeniu ekspozycji próbki, zebraną wodę odparowuje się w parownicy wyłożonej bibułą filtracyjną tak, aby zanieczyszczenia znajdujące się w wodzie po jej odparowaniu osadziły się na bibule. Bibułę następnie spopiela się w piecu muflowym w temperaturze 450 °C. Otrzymany popiół przenosi się do miseczki pomiarowej wykonanej z folii aluminiowej o grubości 0,1 mm. Wymiary miseczki pomiarowej są następujące: średnica wewnętrzna – 25 mm, głębokość – 4 mm. Gęstość powierzchniowa warstwy popiołu w miseczce pomiarowej nie powinna przekraczać 50 mg/cm<sup>2</sup>, co pozwala na zaniechanie samoabsorbcji.
- c) Pobór próbek aerozoli powietrza odbywa się poprzez zasysanie powietrza przez odpowiednie filtry w cyklach półgodzinnych i w takiej posatci poddane są pomiarom.

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

#### Moc dawki promieniowania gamma

Pomiary mocy dawki promieniowania gamma w stacjach meteorologicznych prowadzone są za pomocą sondy typu FHZ621G-L współpracującej z komputerem PC. Sonda składa się z licznika proporcjonalnego, przedwzmacniacza, modułu mikrokontrolera, interfejsu szeregowego RS-485 i zasilaczy niskiego i wysokiego napięcia.

Dane techniczne.

Komora pomiarowa: licznik proporcjonalny wypełniony Ar/CO<sub>2</sub>, napięcie pracy – 2050 V; zakres pomiarowy – 50 nSv/h – 100 mSv/h, zakres energetyczny – ± 30 % dla zakresu 30 keV – 1,3 MeV, zakres kątowy rejestracji - ± 20 % w zakresie  $-450 < \Phi < +450$

Dane sondy: zasilanie – 10 ÷ 30 V, temperatura - -30 - +60 0C, wilgotność względna – 5 – 95 %, ciśnienie atmosferyczne – 533 – 1060 hPa.

W stacjach wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW sondy FHZ 621G-L zostały ustawione w ogródku meteorologicznym na specjalnym wsporniku na wysokości 1 m od podłoża.

Sonda połączona jest kablem poprzez interfejs przetwornika z komputerem PC, w którym zainstalowany program NetView umożliwia zdalne ustawianie warunków pracy sondy jak i odbiór wyników pomiarów.

Wewnętrzna pamięć układu sondy może przechować 256 zmierzonych wartości zaopatrzonych w datę i czas pomiaru oraz w status określający stan układu pomiarowego. Każdy błąd układu pomiarowego jest kodowany w formie statusu wpisanego w informację o wartości mierzonej wielkości. Czas pomiaru każdego wyniku mocy dawki wynosi 10 minut. Program NetView co 10 minut odczytuje z pamięci sondy ostatni wynik i zapisuje go do pliku oraz porównuje z zadanymi progami ostrzegawczymi I i II stopnia. Wyniki mocy dawki z danego miesiąca zbierane są w pliku, w nazwie, którego podany jest rok, nr kanału oraz - w rozszerzeniu – miesiąc.

W przypadku przekroczenia zadanego progu program włącza odpowiednią planszę sygnalizującą przekroczenie pierwszego progu lub planszę i sygnał dźwiękowy przy przekroczeniu drugiego progu. Wartości te są dobierane tak, aby przyrost mocy dawki podczas opadów nie przekraczał zadanych progów. Sygnalizacja ta w programie NetView służy obecnie jedynie obserwatorowi jako informacja o wzroście mocy dawki.

Producent zapewnił w sondzie procedurę wyznaczania procentowego udziału energii kwantów gamma produktów rozszczepienia w mierzonej wielkości mocy dawki. W tym celu wykorzystano właściwości szeroko zakresowego detektora FHZ621G-L, który wyznacza nie tylko wielkość mocy dawki, ale również mierzy energię promieniowania gamma. Dzięki temu możliwe jest wykrycie każdego wpływu sztucznej gammy automatycznie i przesłanie informacji o tym do systemu komputerowego nawet, jeśli wzrost mocy dawki jest stosunkowo niski. Mierzona jest różnica energii kwantów promieniowania gamma produktów rozszczepienia w stosunku do promieniowania kosmicznego i tła naturalnego.

Promieniowanie naturalne charakteryzuje się dużym udziałem wysokoenergetycznych kwantów (> 1 MeV), co jest prawdziwe dla zmiennego w czasie udziału wymywanych produktów rozpadu radonu. Niższe od 1 MeV energie kwantów odnoszą się do produktów rozszczepienia.

Dla typowego tła 100-130 nSv/h możliwe jest wiarygodne wyznaczenie w czasie 20 – 30 min rutynowego pomiaru dodatkowej mocy dawki od Xe-133, od mocy dawki spowodowanej wymywaniem produktów rozpadu radonu. Ponadto licznik proporcjonalny charakteryzuje się możliwością detekcji energii już od 33 keV, dzięki czemu możliwe jest także uwzględnienie właściwego zakresu niskoenergetycznego spowodowanego rozproszeniem Comptona.

W stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW po zainstalowaniu nowej sondy typu FHZ621 G-L uruchomiono procedurę pomiaru i rejestracji procentu mierzonej mocy dawki pochodzącej od produktów rozszczepienia. Opracowano specjalny program komputerowy, który przetwarza wyniki pomiarów sondy (mocy dawki i jej procentu pochodzącego od produktów rozszczepienia) i wyświetla średnie godzinne wartości procentu mocy dawki pochodzącej od produktów rozszczepienia i podaje przyrost mocy dawki w stosunku do jej średniej dobowej wartości.

### **Pomiar radioaktywności próbek aerozoli powietrza**

Do pomiaru aktywności aerozoli powietrza stosuje się urządzenie typu FHT59Si, które mierzy w sposób ciągły koncentrację aktywności radioizotopów naturalnych i sztucznych alfa promieniotwórczych oraz całkowitą aktywność radioizotopów beta promieniotwórczych.

Zasada pomiaru radioaktywności w tego typu urządzeniu polega na zasysaniu przez filtr taśmowy aerozoli powietrza i jednoczesnym pomiarze detektorem umieszczonym nad taśmą filtracyjną aktywności radionuklidów alfa i beta promieniotwórczych. Użytkowana jest taśma z włókna szklanego typu GF-10. Powierzchnia osadzania aerozoli na taśmie ma kształt koła o średnicy 50 mm, przez które w ciągu 30 min. zasysane jest powietrze, po czym następuje kilkusekundowa przerwa w zasysaniu i przesuw taśmy o 1/10 średnicy powierzchni zbierania aerozoli. Taki częściowy przesuw powierzchni osadzania służy do utrzymania równowagi rozpadu naturalnych radionuklidów na filtrze. Pomiarzy szybkości zliczeń promieniowania alfa i beta realizowane są w procedurze dyskryminacji amplitudy. Do obliczania aktywności całkowitej jak i naturalnej stosuje się specjalny „algorytm pomiaru aerozoli”. Aktywność alfa i beta sztucznych radionuklidów wyznaczana jest jako różnica pomiędzy aktywnością całkowitą danego promieniowania a naturalną. Uwzględniając objętość przepompowanego powietrza przez filtr możliwe jest wyznaczenie koncentracji aktywności danego promieniowania.

Urządzenie typu FHT59Si składa się z następujących elementów:

- zespołu poboru powietrza z pompą próżniową ( $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ), systemem pomiaru i kontroli przepływu powietrza przez filtr taśmowy;
- mechanizmu przesuwu filtra taśmowego sterowanego procesorem;
- detektora krzemowego typu PIPS z osłoną ołowianą;
- komputerowego modułu pomiarowego FHT 8000 z interfejsem szeregowym do transmisji wyników.

Urządzenie FHT59Si umożliwia:

1. Automatyczny pomiar aktywności naturalnych i sztucznych radionuklidów alfa i beta promieniotwórczych aerozoli powietrza.
2. Pomiar koncentracji aktywności promieniowania alfa i beta w zakresie od  $0,1$  do  $10^6 \text{ Bq/m}^3$ .
3. Automatyczną kompensację aktywności radionuklidów naturalnych dzięki specjalnemu algorytmowi.
4. Szybkie wykrywanie nagłego wzrostu aktywności emiterów alfa i beta promieniotwórczych za pomocą specjalnej funkcji.
5. Automatyczną kontrolę pracy urządzeń sygnalizując wystąpienie ewentualnych błędów.

Detektor

Zestaw aparatury FHT 59 Si wyposażony jest w detektor krzemowy typu PIPS o powierzchni aktywnej równej  $1700 \text{ mm}^2$ . Wydajność detektora w stosunku do geometrii  $4 \pi$  wyznaczona za pomocą źródła płaskiego o średnicy  $50 \text{ mm}$  umieszczonego w komorze pomiarowej wynosi jak podano w tabeli poniżej.

Radionuklid	Wydajność %
Co-60	$6 \pm 1$
Sr-90/Y-90	$21 \pm 2$
Cs-137	$19 \pm 2$
Tl-204	$18 \pm 2$
Am-241	$17 \pm 1$

Zasada działania algorytmu pomiaru radioaktywności aerozoli powietrza

Budowa algorytmu bazuje na odpowiednim sposobie pobierania próbek aerozoli i utrzymywaniu równowagi rozpadu naturalnych radionuklidów osadzonych na taśmie filtracyjnej oraz na właściwościach spektrometrycznych zastosowanego detektora krzemowego. Ustawione progi dyskryminacji ( $S_1 = 0,1 \text{ MeV}$ ,  $S_2 = 0,8 \text{ MeV}$ ,  $S_3 = 5,5 \text{ MeV}$ ,  $S_4 = 6,1 \text{ MeV}$  i  $S_5 = 7,7 \text{ MeV}$ ) pozwalają na rejestrowanie liczby impulsów w poszczególnych przedziałach dyskryminacji pochodzących od określonych radioizotopów naturalnych, co przy znajomości wydajności dla danego promieniowania pozwala na wyznaczanie ich aktywności.

Współczynniki wydajności urządzenia dla promieniowania alfa i beta są wyznaczane za pomocą odpowiednich wzorców kalibracyjnych o znanej aktywności. Za pomocą algorytmu dla pobieranej próbki aerozoli wyznacza się aktywność całkowitą promieniowania alfa i beta oraz aktywność alfa i beta radioizotopów naturalnych. Różnica tych dwóch aktywności traktowana jest jako aktywność pochodząca od radioizotopów sztucznych.

Oznaczając przez  $R_1$  całkowitą liczbę zliczeń w ciągu  $1 \text{ sek.}$  od radioizotopów alfa i beta promieniotwórczych dla progu  $S_1$ , a ich składowe przez  $R_{b1}$  liczba zliczeń od radioizotopów beta promieniotwórczych i  $R_{a1}$  od alfa promieniotwórczych oraz przez  $R_{01}$  tło detektora, to możemy napisać:

$$R_1 = R_{a1} + R_{b1} + R_{01} \quad (1)$$

Jeśli oznaczymy odpowiednio wydajność alfa i beta dla progu  $S_1$  przez  $E_{a1}$  i  $E_{b1}$  to otrzymamy

$$E_{a1} = \frac{R_{a1}}{A_{aca}} \quad (2) \quad \text{ i } \quad E_{b1} = \frac{R_{b1}}{A_{bca}} \quad (3)$$

Wstawiając powyższe wartości do równania (1) otrzymamy:

$$R_1 = E_{a1}A_{aca} + E_{b1}A_{bca} + R_{01} \quad (4)$$

Analogiczne równanie możemy zapisać dla drugiego przedziału dyskryminacji

$$R_2 = E_{a2}A_{aca} + E_{b2}A_{bca} + R_{02} \quad (5)$$

Rozwiązując powyższe równania wyznaczamy aktywności całkowite promieniowania alfa ( $A_{aca}$ ) i beta ( $A_{bca}$ ). Współczynniki wydajności są jednoznacznie określone podczas kalibracji aparatury wzorcami alfa i beta promieniotwórczymi.

W podobny sposób możemy napisać równania dla aktywności naturalnych radioizotopów alfa ( $A_{a\text{ nat}}$ ) i beta ( $A_{b\text{ nat}}$ ) promieniotwórczych i tak :

$$A_{a\text{ nat}} = \frac{1}{E_{a2}} F_a(g_3R_3 + g_4R_4 + g_5R_5) \quad (6)$$

$$A_{b\text{ nat}} = \frac{1}{E_{b1}} F_b(h_3R_3 + h_4R_4 + h_5R_5) \quad (7)$$

gdzie :

$R_3$  - liczba zliczeń impulsów w ciągu 1 s dla progu  $S_3$  (5,5 MeV);

$R_4$  - „ - „ „  $S_4$  (6,1 MeV);

$R_5$  - „ - „ „  $S_5$  (7,7 MeV);

$g_3, g_4$  i  $g_5$  - współczynniki kompensacyjne radioizotopów alfa promieniotwórczych, wyznaczone eksperymentalnie;

$h_3, h_4$  i  $h_5$  - współczynniki kompensacyjne radioizotopów beta promieniotwórczych wyznaczone eksperymentalnie;

$F_a, F_b$  - współczynniki dopasowania.

Sztuczna radioaktywność alfa ( $A_{a\text{ szt}}$ ) i beta ( $A_{b\text{ szt}}$ ) radioizotopów osadzonych na taśmie filtracyjnej jest wyznaczona jako różnica aktywności całkowitej i naturalnej danego promieniowania, a mianowicie :

$$A_{a\text{ szt}} = A_{aca} - A_{a\text{ nat}} \quad \text{ oraz}$$

$$A_{b\text{ szt}} = A_{bca} - A_{b\text{ nat}}$$

Komputerowy moduł pomiarowy FHT 8000

Moduł ten służy do kontroli pomiaru i opracowania wyników oraz zawiera pełną elektronikę jądrową do obsługi detektora. Pracuje w sposób automatyczny. Wszystkie procedury pomiarowe, algorytmy są zapamiętane w formie pakietów oprogramowania i służą do kontroli wszystkich podzespołów urządzenia. Wyniki pomiarowe i status są automatycznie zapamiętywane i mogą być również przesłane za pomocą interfejsu szeregowego do zewnętrznego komputera.

W naszym przypadku moduł FHT 8000 podłączony jest do komputera PC, ustawionego w pokoju obserwatora stacji meteorologicznej. Za pomocą programu NetView zainstalowanego w komputerze PC odczytywane są wyniki mierzonych wielkości z pamięci modułu FHT 8000 i zapisywane w oddzielnych plikach. Program ten pozwala na wizualizację zarejestrowanych wyników oraz porównuje zbierane wartości z zadanymi progami ostrzegawczymi, sygnalizując ich przekroczenie wyświetleniem odpowiednich napisów i włączeniem sygnału dźwiękowego. Jest to sygnalizacja przewidziana dla personelu stacji. Doba pomiarowa próbki aerozolowej trwa od godziny 6<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup> następnego dnia i liczona jest jako średnia z godzinnych wartości. W ten sposób otrzymuje się średnią aktywność promieniowania alfa naturalnych nuklidów oraz aktywności promieniowania alfa i beta sztucznych nuklidów. Aktywności tych ostatnich otrzymywane jako wynik odejmowania aktywności naturalnej od całkowitej obarczone są pewnym błędem, wielkość którego uzależniona jest od doboru wprowadzanych współczynników kompensacyjnych w równaniach algorytmu pomiarów aerozolowych. Bezwzględność wyników mierzonych wielkości uzyskuje się za pomocą procedury kalibracyjnej, w czasie której



wykonuje się 3-minutowe pomiary tła dla promieniowania alfa i beta oraz kolejno liczbę zliczeń wzorców: Am-241 i Sr-90 (o aktywności po 3 kBq). Wyniki koncentracji aktywności podawane są w Bq/m<sup>3</sup>.

Próg czułości detektora dla promieniowania beta wynosi 300 mBq/m<sup>3</sup>, a dla promieniowania alfa – 60 mBq/m<sup>3</sup>.

### **Pomiar sumarycznej aktywności radioizotopów beta promieniotwórczych próbek dobowego i miesięcznego opadu całkowitego**

Pomiary całkowitej aktywności beta tj. aktywności związanej ze stężeniem promieniotwórczym izotopów promieniotwórczych emitujących promieniowanie beta w próbkach opadu całkowitego wykonywane są z zastosowaniem komputerowych zestawów pomiarowych zintegrowanych z sondą pomiarową typu 51Y1SPFM i przedwzmacniaczem AS-17 lub z zastosowaniem głowicy antykoincydencyjnej typu UGB-2.

Kalibrację aparatury do pomiarów aktywności beta próbek opadu całkowitego wykonuje się za pomocą wzorca K-40 o aktywności 3,7 Bq.

Aktywność próbki opadu całkowitego wyznacza się z wzoru:

$$A_F = K_F \times N_0 \text{ [ Bq/ m}^3 \text{ ]}, \text{ gdzie}$$

$$K_F = \frac{A_w}{N_0 \times S} \left[ \frac{\text{Bq} \times \text{min}}{\text{imp} \times \text{m}^2} \right]$$

$$N_0 = N - N_t$$

N – liczba imp/min pomiaru próbki lub wzorca,

N<sub>t</sub> - liczba imp/min pomiaru tła,

S – powierzchnia zbierająca naczynia

Błąd statystyczny bezwzględny przy prawdopodobieństwie 95 % wyznacza się z zależności

$$\Delta = 1,96 \sqrt{\frac{N}{T} + \frac{N_t}{T_t}}, \text{ gdzie}$$

T – czas pomiaru próbki,

T<sub>t</sub> – czas pomiaru tła,

$$\text{a błąd względny ze wzoru: } a = \frac{\Delta}{N_0} 100\% .$$

### **Metoda oznaczania izotopów promieniotwórczych – emiterów promieniowania gamma w próbkach miesięcznego opadu całkowitego z zastosowaniem spektrometrii gamma**

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

Pomiary wykonuje się za pomocą zestawu spektrometrycznego składającego się z detektora HPGe o objętości 132,5 cm<sup>3</sup>, przedwzmacniacza ładunkowego (typu RG11), zasilacza wysokiego napięcia (typu 7716) i analizatora amplitudy impulsów. Analizator skonstruowany w postaci karty, instalowanej w komputerze IBM-PC wraz z oprogramowaniem, umożliwia opracowanie matematyczne widma oraz jego wizualizację i archiwizację. Detektor germanowy jest umieszczony w domku osłonowym o ściankach grubości 10 cm Pb, wyłożonych od wewnątrz blachą: 1 mm Cd i 2 mm Cu. Do kalibracji spektrometru użyto wzorcowego roztworu promieniotwórczego SRM-1 Mix gamma przygotowanego

przez Ośrodek Produkcji i Dystrybucji Izotopów w Świerku. Wzorce objętościowe wykonano w szczelnie zamykanych pojemnikach z plexi o wymiarach wew. 55,5 x 63,0 mm, identycznych z pojemnikami używanymi do pomiaru próbek. Do kolejnych pojemników wlewano określoną objętość roztworu wzorcowego tak, aby otrzymać wysokość słupa roztworu równą 2, 3, 4, 5, 7 i 10 mm. W ten sposób otrzymano źródła do kalibracji próbek o grubości warstwy popiołu od 2 do 10 mm. Gęstość roztworu wzorcowego w temperaturze 20 °C wyniosła 1,06 g/cm<sup>3</sup>.

Dla utrzymania gęstości próbek spektrometrycznych opadu całkowitego w granicach 0,9 – 1,2 g/cm<sup>3</sup>, bliskiej gęstości wzorców, przygotowywane próbki są prasowane specjalnym przyrządem, który jednocześnie pozwala wyznaczyć grubość warstwy popiołu.

Wyniki wydajności spektrometru dla źródła wzorcowego SRM-1, MIX-gamma z warstwą o grubości 3 mm, u przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki pomiaru wzorca kalibracyjnego.

E [keV]	Izotop	T <sub>1/2</sub>	Aktywność [Bq]	Wydajność [10 <sup>-3</sup> ]
59,5	Am-241	458 lat	65,4	18,9
88,5	Cd-109	463 dni	276,1	74,6
122,1	Co-57	272 dni	14,1	95,8
165,9	Ce-139	137,7 dni	10,5	93,4
661,7	Cs-137	30 lat	57,4	29,8
834,8	Mn-54	312,5 dni	69,7	23,4
1115,6	Zn-65	243,9 dni	120,5	18,4
1173,2	Co-60	5,3 lat	76,4	16,2
1332,5	Co-60	5,3 lat	76,4	14,4

Na podstawie zamieszczonych powyżej wyników wykreślono krzywą wydajności spektrometru i wyznaczono wydajności dla linii izotopów oznaczanych w próbkach opadu całkowitego (tab. 2).

Przygotowanie próbki do pomiarów spektrometrycznych polega na dokładnym wymieszaniu popiołu, otrzymanego w placówkach po spopieleniu próbki miesięcznego opadu całkowitego i przeniesieniu go do pojemnika pomiarowego. Masa popiołu pojedynczych próbek, jak i zbiorczej, jest wyznaczana z dokładnością do 0,05 mg.

Wydajność detektora dla linii oznaczanych w próbkach.

E [keV]	Izotop	Wydajność [10 <sup>-3</sup> ]
186	Ra-226	88
447	Be-7	34
662	Cs-137	30
796	Cs-134	25
911	Ra-228	23
1460	K-40	14

Czas pomiaru próbki, jak i pomiaru tła, przeprowadzanego po każdym pomiarze próbki, wynosi 160 000 s.

Aktywność danego izotopu w próbce, w chwili pomiaru, określa równanie:

$$A_i = \frac{N_i}{F(E) * p_i * t_p} \quad (1)$$

gdzie: N<sub>i</sub> – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła,

F(E) – wydajność detektora dla fotonów o energii E,

p<sub>i</sub> – liczba fotonów o energii E, przypadająca na jeden rozpad i-tego radionuklidu,

t<sub>p</sub> - 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. Niezbędna ilość impulsów w pik, dla jego wydzielenia z tła jest określana, jako dolna granica detekcji i oznaczana LLD.

Stosuje się różne metody obliczania tej wielkości. W naszych obliczeniach posłużono się metodą Loyda A. Currie'go określoną wzorem:

$$LLD = 0,276 + 1,05 * \sigma \quad (2)$$

gdzie : LLD – limit detekcji w impulsach.

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

Limity detekcji zostały policzone dla poziomu ufności 0.70, przy założeniu, że czas pomiaru tła jest taki sam, jak czas pomiaru próbki.

Minimalną mierzalną aktywność dla danego toru spektrometrycznego określa zależność:

$$A_d = \frac{LLD * C}{F(E) * p * t_p} \quad (3)$$

$$C = \frac{t_p * \lambda}{1 - e^{-\lambda * t_p}} \quad (4)$$

gdzie:  $A_d$  – minimalna mierzalna aktywność w Bq,

$t_p$  – czas pomiaru w sekundach,

$\lambda$  -- stała rozpadu [ $s^{-1}$ ]

$p$  – wydajność kwantowa.

Aktywność właściwą poszczególnych radionuklidów wyznaczano na podstawie zależności:

$$S_i = \frac{A_i}{b * W * k} \exp(\lambda_i * t_2) \quad (5)$$

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

$\lambda_i$  – stała rozpadu,

$t_2$  – czas trwania przerwy między zakończeniem ekspozycji próbki a rozpoczęciem pomiaru,

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

$W$  – powierzchnia naczynia do zbierania opadu całkowitego (1500  $cm^2$ ),

$k$  – liczba próbek wziętych do analizy.

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

### **Radiochemiczne oznaczanie Sr-90 w miesięcznym opadzie całkowitym**

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

Próbkę opadu miesięcznego o znanej masie umieszcza się w zlewce, zwilża wodą destylowaną i dodaje

ok. 200 ml kwasu azotowego HNO<sub>3</sub> (1:1). Próbę odparowuje się w ciągu 8 godzin, mieszając od czasu do czasu. Pozostałość w zlewce przesącza się przez twardy sączek. Osad odrzucić, przesącz uzupełnić wodą destylowaną do uzyskania 150 ml objętości.

2. Wytrącanie szczawianów.

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

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

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

3. Spopielanie osadu.

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

4. Rozpuszczanie popiołu.

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

5. Wytrącanie chromianu baru.

Do zlewki z roztworem dodaje się 1 ml nośnika baru, kilka kropli czerwieni metylowej, 1 ml kwasu octowego 2 ml octanu amonu. Następnie dodaje się stężony amoniak do uzyskania pH 5,5 (kolor pomarańczowo – żółty). Próbę 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<sub>3</sub> (1:1) do uzyskania pH 2-3 i 1 ml nośnika itru. Tak przygotowaną próbę pozostawia się przez 18 dni.

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

7. Wytrącanie wodorotlenku itru.

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

8. Wytrącanie szczawianów itru.

Osad wodorotlenku itru rozpuszcza się w kilku mililitrach HNO<sub>3</sub> (1:1). Następnie dodajemy ok. 25 ml wody destylowanej, 15 – 20 kropli nasyconego roztworu kwasu szczawiowego 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 Y-90 równoważnej aktywności Sr-90 powinien być wykonany nie później niż 2 godziny od chwili oddzielenia Y(OH)<sub>3</sub> od reszty roztworu. Jeżeli pomiar zostanie przeprowadzony później należy uwzględnić rozpad promieniotwórczy 90Y.

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

Obliczanie aktywności Sr-90 w próbach opadu całkowitego:

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

A – aktywność [Bq m<sup>-2</sup>]

N<sub>0</sub> – ilość impulsów na minutę netto (wynikająca z różnicy pomiędzy całkowitą ilością impulsów na minutę – N i ilością impulsów na minutę tła – N<sub>t</sub>)

η - współczynnik kalibracji [Bq/imp/min]

S – powierzchnia zbierająca [m<sup>2</sup>]

W przypadku, gdy czas, który upłynął od chwili oddzielenia Y(OH)<sub>3</sub> od roztworu do rozpoczęcia pomiaru przekracza 2 godziny należy zastosować mnożnik uwzględniający rozpad promieniotwórczy radioizotopu Y-90:

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

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

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

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

Błąd pomiaru:

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

σ- błąd pomiaru [Bq m<sup>-2</sup>]

t<sub>p</sub> – czas pomiaru próby [min]

t<sub>pt</sub> – czas pomiaru tła [min]

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

### 3. Wyniki i dyskusja wyników

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

##### 3.1.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011

W roku 2011 kontynuowano, podobnie jak w latach poprzednich, pomiary mocy dawki promieniowania gamma na 9 stacjach IMGW - PIB.

Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma na wszystkich stacjach zmieniały się w zakresie od 63,4 do 119,7 nGy/h (Tab. 1). Najniższą wartość odnotowano w październiku na stacji Włodawa, najwyższa średnia miesięczna mocy dawki wystąpiła w listopadzie na stacji Lesko.

Na wspomnianych wyżej stacjach odnotowano minimalną (60 nGy/h we Włodawie) i maksymalną dobową wartość mocy dawki (146 nGy/h w Lesku) spośród wartości zmierzonych na stacjach w 2011 roku.

Wartość średnia wynosiła w 2011 roku 93,3 nGy/h (Tab. 1).

Najniższą roczną wartość średnią odnotowano we Włodawie (65,4 nGy/h). Wartości średnich rocznych dawek promieniowania gamma na zbliżonym poziomie obserwowano na stacjach: Warszawa (82,2 nGy/h), Świnoujście (83,2 nGy/h), Gdynia (84,3 nGy/h) i Gorzów Wlkp. (85,2 nGy/h). Średnie roczne wartości mocy dawki promieniowania gamma przekraczające poziom 100 nGy/h wystąpiły na czterech stacjach. Wartości te wynosiły odpowiednio: 105,9 nGy/h w Mikołajkach, 106,8 nGy/h w Lesku, 107,6 nGy/h w Legnicy i 119,3 nGy/h w Zakopanem. Z powyższych danych wynika, że najniższa średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma wystąpiła we Włodawie, najwyższa zaś w Zakopanem, co bezpośrednio związane jest z lokalizacją stacji i wpływem naturalnego promieniowania podwyższonego w obszarach górzystych.

Tabela 1. Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu w 2011 roku, w nGy/h.

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	76,8	79,8	89,8	80,6	78,6	102,1	63,9	114,0	70,6
Luty	80,5	81,6	100,4	84,6	80,3	103,6	66,7	115,9	70,1
Marzec	81,3	81,1	102,5	84,4	80,0	104,5	65,1	117,5	69,4
Kwiecień	79,9	81,6	106,6	86,6	80,0	108,4	64,6	120,5	95,4
Maj	82,6	80,5	109,1	83,9	83,6	109,4	66,2	120,9	133,8
Czerwiec	83,6	87,1	111,4	87,6	84,1	112,8	68,4	120,0	137,3
Lipiec	84,6	86,4	108,3	89,0	86,2	112,5	67,4	121,5	116,8
Sierpień	81,2	86,2	106,9	83,7	84,5	106,7	65,1	119,5	115,4
Wrzesień	82,4	87,6	109,2	86,4	84,8	108,7	64,6	121,3	118,4
Październik	83,4	85,8	109,3	85,3	84,2	108,0	63,4	120,9	117,8
Listopad	84,8	86,2	108,8	88,6	85,7	107,7	64,5	121,2	119,7
Grudzień	85,3	88,2	108,3	81,5	86,8	106,5	65,3	118,1	117,2
Średnia roczna	82,2	84,3	105,9	85,1	83,2	107,6	65,5	119,3	107,0
minimalna roczna	71,0	75,0	82,0	74,0	75,0	96,0	60,0	109,0	64,0
maksymalna roczna	104,0	92,0	128,0	99,0	101,0	139,0	76,0	135,0	146,0
Średnia roczna ze wszystkich wyników	93,3								
minimalna roczna ze wszystkich wyników	60,0								
maksymalna roczna ze wszystkich wyników	146,0								

### 3.1.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian

Uzyskana na podstawie danych ze wszystkich stacji roku średnia wartość mocy dawki promieniowania gamma w roku 2011 wyniosła 93,3 nGy/h i mieściła się w zakresie wartości średnich obserwowanych w latach 2000 – 2010, w których najniższą wartość (89,6 nGy/h) odnotowano w 2010 roku, najwyższą natomiast (99,1 nGy/h) w roku 2000 (Tab. 2). Biorąc pod uwagę okres od 2000 roku można zauważyć nieznaczny spadek średnich rocznych wartości średnich mocy dawki promieniowania gamma w omawianym okresie lat 2000 - 2011 (Rys. 1).

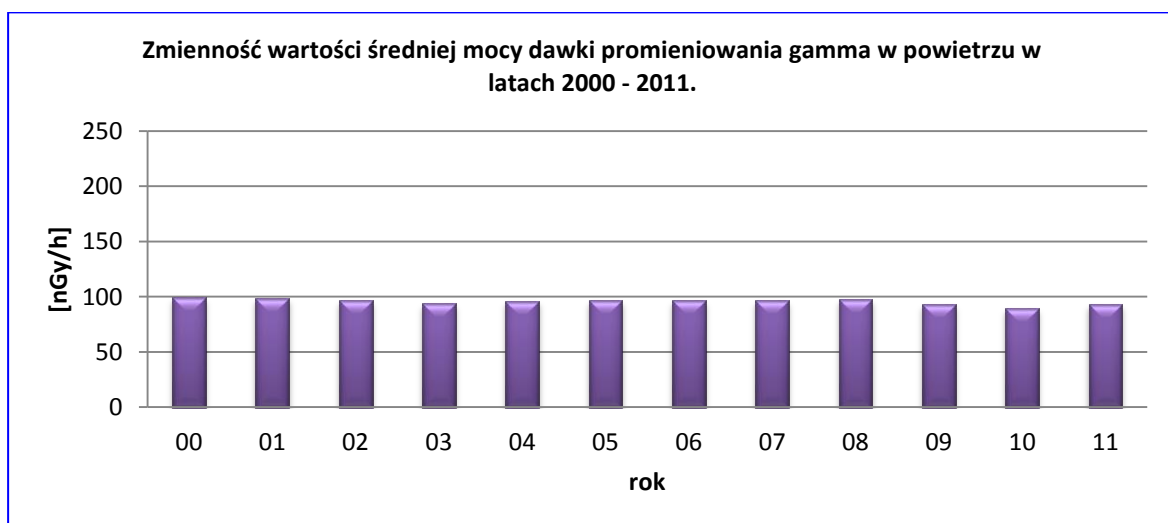
Znacznie niższe wartości obserwowane na stacji Lesko na przełomie lat 2010/2011 wynikały z rozszczelnienia sondy pomiarowej, natomiast właściwe wartości mocy dawki zmierzone w drugiej połowie 2011 roku były porównywalne z wartościami charakterystycznymi dla roku 2003.

Nieznacznie niższe wartości w stosunku do lat poprzednich, biorąc pod uwagę cały omawiany zakres pomiarowy, widać wyraźniej w roku 2011 w przypadku stacji Gorzów Wlkp., Świnoujście i Włodawa.

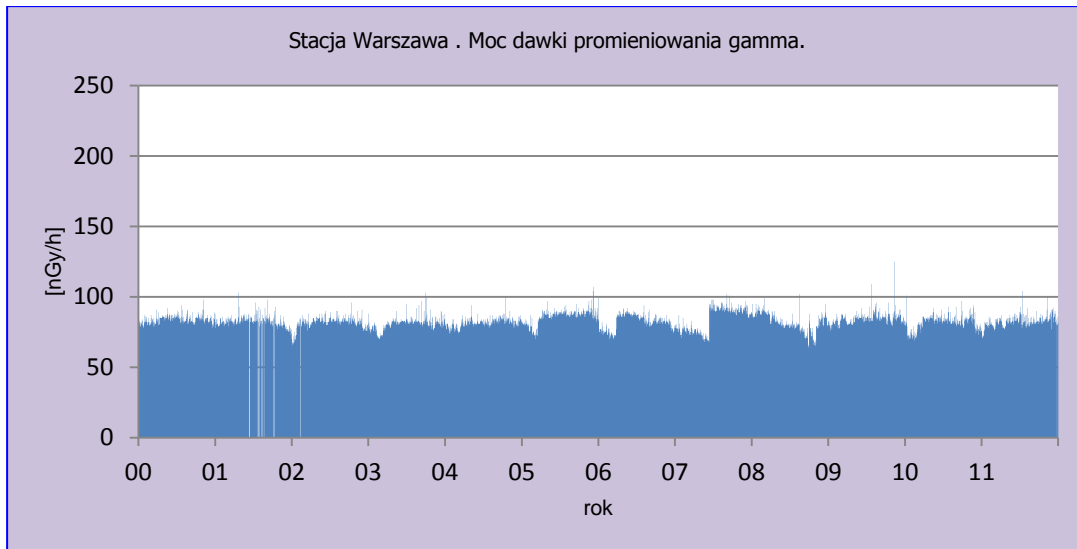
Na podstawie danych mocy dawki promieniowania gamma uzyskanych na poszczególnych stacjach (Rys. 2 -10) można stwierdzić, że wartości zmierzone w 2011 roku, oprócz ww. trzech stacji, pozostały na poziomie bardzo zbliżonym do wartości obserwowanych w latach.

Tabela 2. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w nGy/h w latach 2000 - 2011.

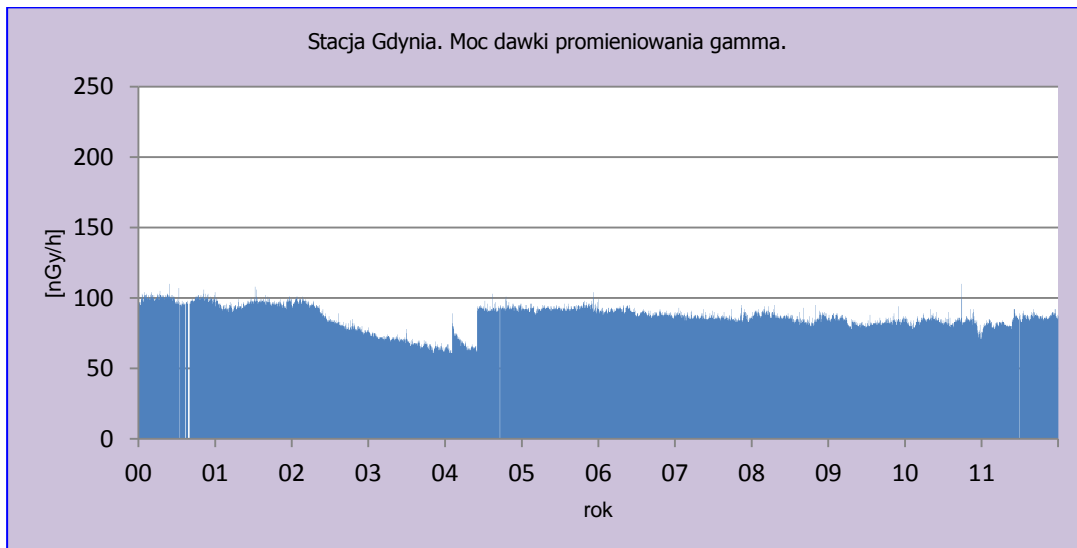
Rok	Średnia roczna
2000	99,1
2001	98,3
2002	96,7
2003	93,8
2004	96,1
2005	96,8
2006	96,7
2007	96,6
2008	97,7
2009	93,1
2010	89,6
<b>2011</b>	<b>93,3</b>
Średnia	95,6
Minimalna	89,6
Maksymalna	99,1



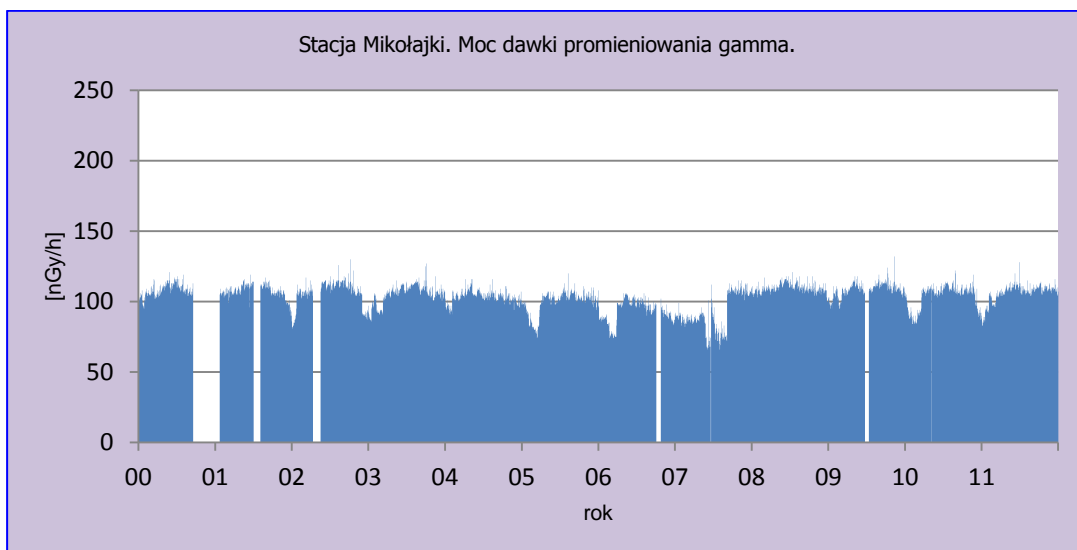
Rys. 1 Wartości średniej mocy dawki promieniowania gamma w latach 2000-2011.



Rys. 2. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Warszawa w latach 2000-2011.

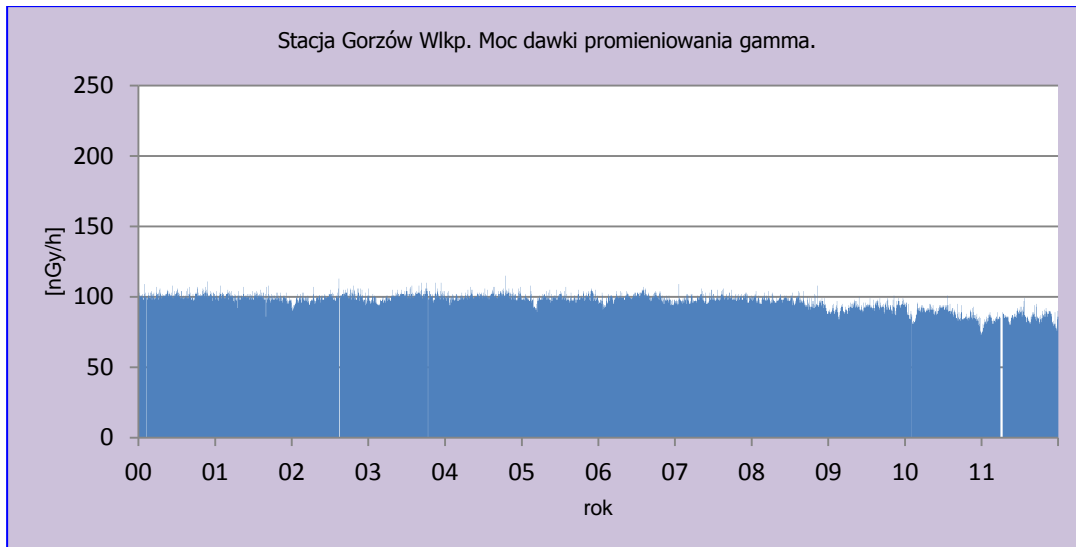


Rys. 3. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gdynia w latach 2000-2011.

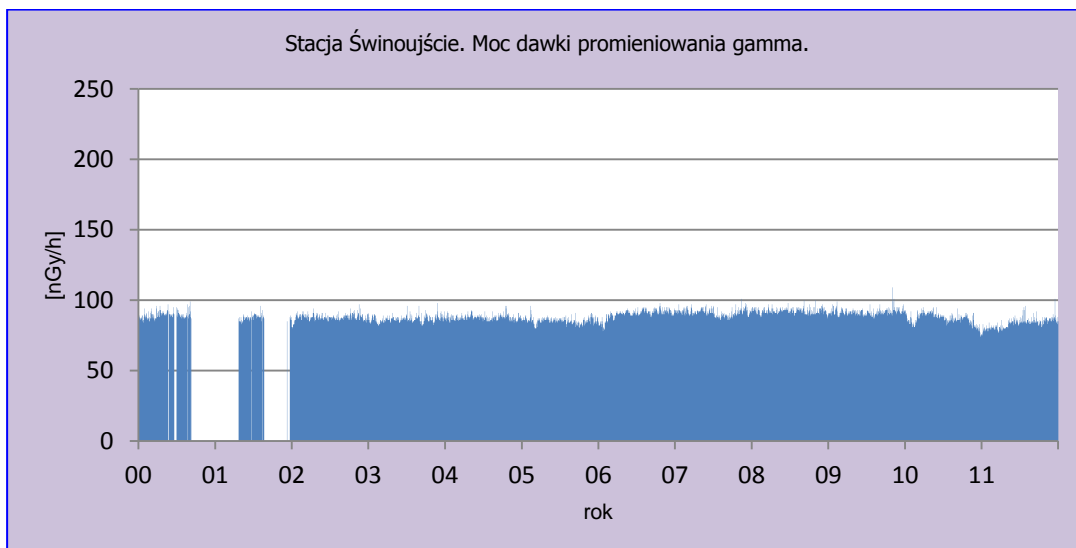


Rys. 4. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Mikołajki w latach 2000-2011.

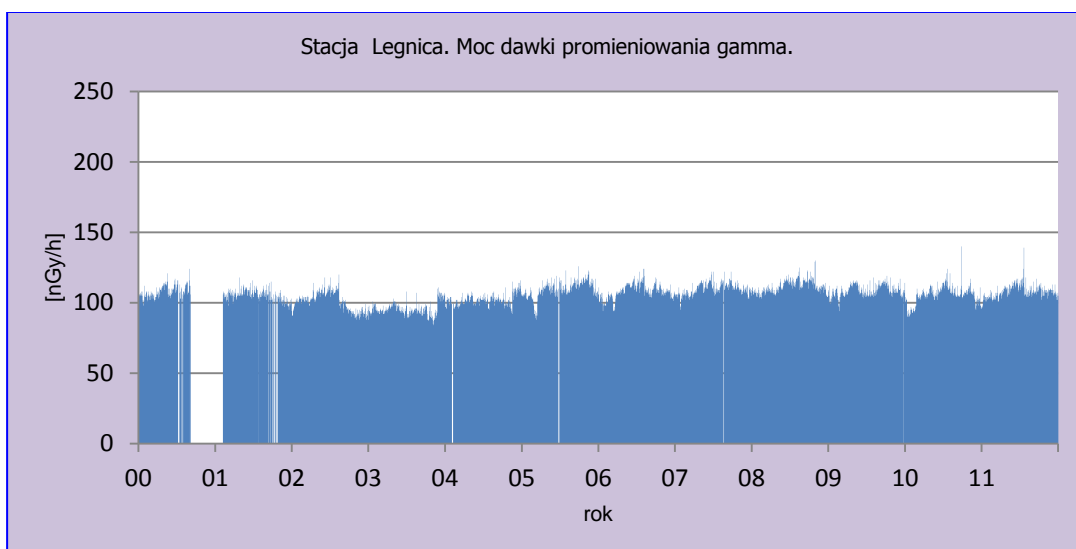




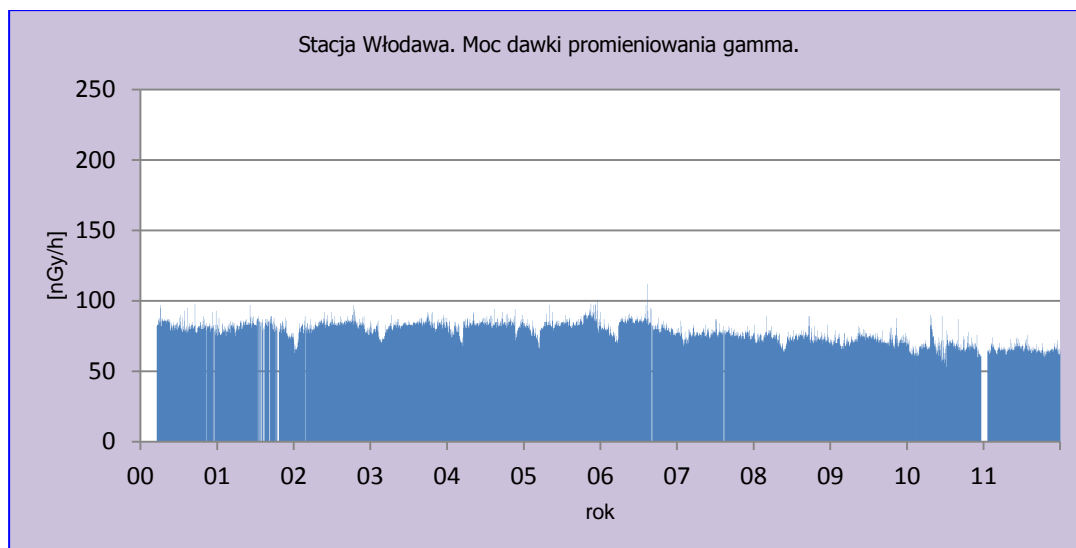
Rys. 5. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Gorzów Wlkp. w latach 2000-2011.



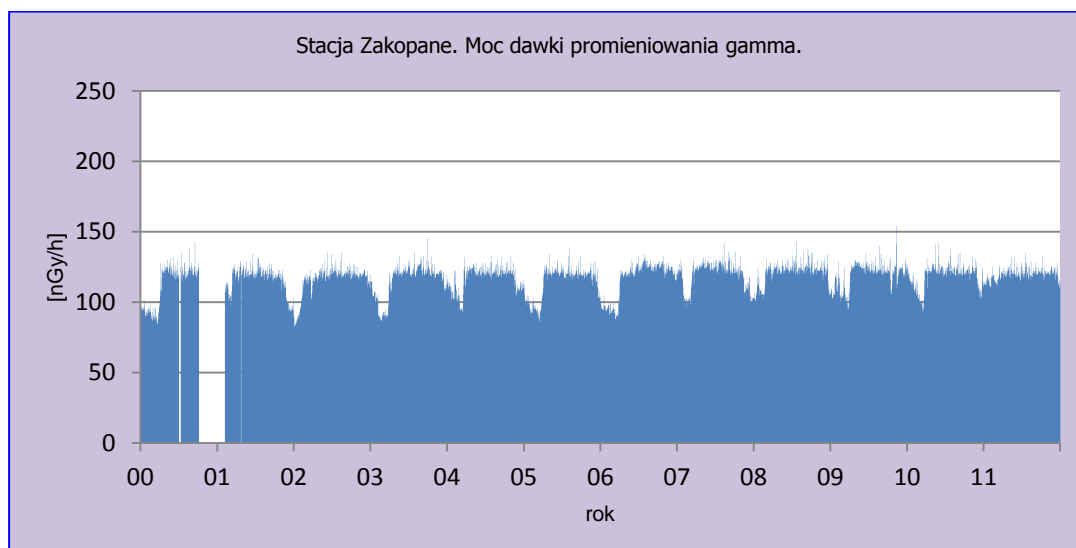
Rys. 6. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Świnoujście w latach 2000-2011.



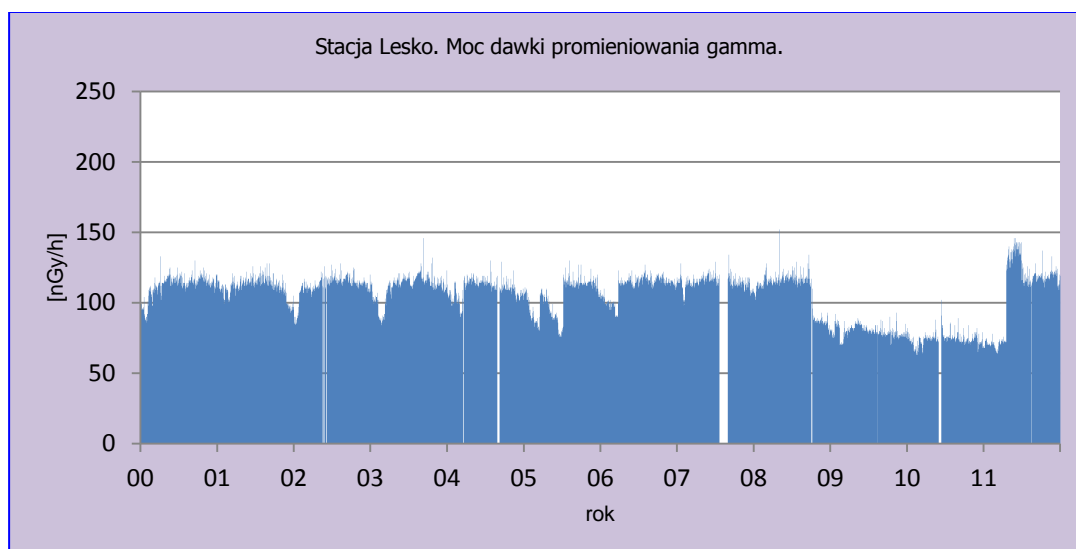
Rys. 7. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Legnica w latach 2000-2011.



Rys. 8. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Włodawa w latach 2000-2011.



Rys. 9. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Zakopane w latach 2000-2011.



Rys. 10. Moc dawki promieniowania gamma na stacji Lesko w latach 2000-2011.

### 3.2. Radioaktywność alfa naturalna i sztuczna oraz beta sztuczna próbek aerozoli powietrza

#### 3.2.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011

W roku 2011 kontynuowano, zgodnie z zakresem zadań program pomiarowy radioaktywności aerozoli powietrza na 7 stacjach IMGW-PIB pod kątem radionuklidów alfa naturalnych, beta i alfa sztucznych.

Średnia roczna aktywność<sup>2</sup> alfa pochodząca ze źródeł naturalnych próbek aerozoli powietrza wynosiła w 2011 roku 7,44 Bq m<sup>-3</sup> (Tab. 3). Pojedyncze wartości zmieniały się w bardzo szerokim zakresie od 0,29 do 58,42 Bq m<sup>-3</sup>. Natomiast różnice pomiędzy średnimi wartościami rocznymi wyliczonymi dla poszczególnych stacji zawierały się w granicach 2,96 – 14,69 Bq m<sup>-3</sup>.

Najniższa wartość dobową wyznaczoną została na podstawie danych zmierzonych w Świnoujściu, najwyższa zaś charakteryzowała poziom aktywności alfa naturalnej w Gorzowie Wlkp. Wysokie wartości uzyskane miały charakter nieciągły i były prawdopodobnie związane ze statystyką biegu własnego detektora półprzewodnikowego zainstalowanego w aparaturze pomiarowej.

W przypadku aktywności alfa aerozoli powietrza związanej z obecnością izotopów antropogenicznych najniższą wartość odnotowano na stacji Zakopane (0,07 Bq m<sup>-3</sup>) – Tab. 4, najwyższą natomiast na stacji w Lesku (0,115 Bq m<sup>-3</sup>). Średnie miesięczne wartości aktywności beta aerozoli powietrza wynikające z obecności izotopów sztucznych emitujących promieniowanie beta zmieniały się w zakresie od 0,022 Bq m<sup>-3</sup> – wartości charakterystycznej dla stacji Zakopane do 0,137 Bq m<sup>-3</sup> która to wartość wyznaczona została na podstawie pomiarów wykonywanych w Świnoujściu (Tab. 5). Średnia roczna wartość sztucznej aktywności beta w roku 2011 wynosiła 0,083 Bq m<sup>-3</sup>.

Tabela. 3. Średnie miesięczne wartości aktywności alfa radionuklidów naturalnych w próbkach aerozoli powietrza w 2011, Bq m<sup>-3</sup>.

Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	1,75	awaria	2,29	5,71	3,53	10,08	6,12
Luty	4,15	14,34	2,59	7,60	3,20	9,20	8,13
Marzec	3,57	11,84	2,25	7,38	2,54	6,77	5,95
Kwiecień	awaria	16,48	1,65	6,76	2,62	6,22	5,82
Maj	3,75	17,37	1,99	6,56	3,14	6,79	6,09
Czerwiec	4,02	12,06	1,91	6,57	3,44	6,10	6,60
Lipiec	4,16	6,70	1,87	4,79	3,35	6,49	6,10
Sierpień	awaria	18,45	2,15	7,06	3,40	8,84	8,39
Wrzesień	awaria	27,04	2,82	8,90	4,59	10,51	11,84
Październik	14,03	13,50	4,46	10,48	5,93	11,60	10,98
Listopad	9,53	8,17	9,41	15,52	8,19	19,64	16,16
Grudzień	5,51	12,37	2,20	4,69	5,69	9,76	8,31
<b>średnia roczna</b>	<b>4,91</b>	<b>14,69</b>	<b>2,96</b>	<b>7,65</b>	<b>4,14</b>	<b>9,39</b>	<b>8,36</b>
minimalna roczna	0,38	0,46	0,29	0,76	0,61	0,93	1,02
maksymalna roczna	23,61	58,42	17,43	25,97	19,41	47,49	25,81
średnia roczna ze wszystkich wyników	7,44						
minimalna roczna ze wszystkich wyników	0,29						
maksymalna roczna ze wszystkich wyników	58,42						

<sup>2</sup> W raporcie w przypadku wyników pomiarów radioaktywności aerozoli w powietrzu oraz spektrometrii gamma zamiennie używamy określeń „aktywność” i „stężenie promieniotwórcze” lub „stężenie izotopów”

Tabela 4. Średnie miesięczne wartości aktywności alfa radionuklidów sztucznych w próbkach aerozoli powietrza w 2011 roku, Bq m<sup>-3</sup>.

Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	
Styczeń	0,073	awaria	0,008	0,000	0,082	0,003	0,078	
Luty	0,018	0,009	0,007	0,000	0,085	0,002	0,105	
Marzec	0,004	0,008	0,009	0,001	0,050	0,003	0,078	
Kwiecień	awaria	0,005	0,011	0,090	0,000	0,012	0,066	
Maj	0,002	0,084	0,014	0,109	0,000	0,009	0,083	
Czerwiec	0,002	0,110	0,019	0,107	0,000	0,005	0,090	
Lipiec	0,002	0,086	0,023	0,055	0,000	0,001	0,076	
Sierpień	awaria	0,194	0,022	0,087	0,000	0,010	0,115	
Wrzesień	awaria	0,027	0,033	0,073	0,000	0,025	0,186	
Październik	0,000	0,157	0,023	0,004	0,001	0,007	0,172	
Listopad	0,000	0,000	0,017	0,001	0,000	0,010	0,218	
Grudzień	0,000	0,000	0,013	0,001	0,000	0,001	0,118	
<b>śred. roczna</b>	<b>0,014</b>	<b>0,061</b>	<b>0,017</b>	<b>0,044</b>	<b>0,018</b>	<b>0,007</b>	<b>0,115</b>	
min. roczna	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	
maks roczna	0,146	0,666	0,11	0,367	0,213	0,095	0,398	
średnia roczna ze wszystkich wyników		0,039						
minimalna roczna ze wszystkich wyników		0,000						
maksymalna roczna ze wszystkich wyników		0,666						

Tabela 5. Średnie miesięczne wartości aktywności beta radionuklidów sztucznych w próbkach aerozoli powietrza w 2011 roku, Bq m<sup>-3</sup>.

Miesiąc	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko	
Styczeń	0,534	awaria	0,012	0,000	0,207	0,001	0,042	
Luty	0,175	0,065	0,018	0,000	0,241	0,000	0,060	
Marzec	0,038	0,082	0,014	0,007	0,133	0,001	0,044	
Kwiecień	awaria	0,087	0,027	0,167	0,004	0,004	0,024	
Maj	0,000	0,098	0,042	0,219	0,108	0,006	0,072	
Czerwiec	0,000	0,069	0,083	0,198	0,303	0,006	0,083	
Lipiec	0,000	0,057	0,122	0,137	0,001	0,011	0,065	
Sierpień	awaria	0,019	0,162	0,200	0,006	0,048	0,108	
Wrzesień	awaria	0,003	0,286	0,238	0,004	0,114	0,213	
Październik	0,000	0,039	0,266	0,053	0,015	0,017	0,132	
Listopad	0,000	0,000	0,299	0,016	0,008	0,012	0,087	
Grudzień	0,000	0,000	0,307	0,057	0,015	0,049	0,060	
<b>Śred. roczna</b>	<b>0,104</b>	<b>0,046</b>	<b>0,137</b>	<b>0,108</b>	<b>0,083</b>	<b>0,023</b>	<b>0,082</b>	
min. roczna	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	
maks roczna	0,921	0,673	0,598	0,434	0,969	0,307	0,403	
średnia roczna ze wszystkich wyników		0,083						
minimalna roczna ze wszystkich wyników		0,000						
maksymalna roczna ze wszystkich wyników		0,969						

### 3.2.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2011 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian

Na podstawie porównania średnich rocznych aktywności alfa pochodzących od izotopów naturalnych można stwierdzić, że wartość wyznaczona dla roku 2011 ( $7,4 \text{ Bq m}^{-3}$  – Tab. 6) mieści się w zakresie wartości uzyskanych w okresie od 2000 do 2011 roku, jednocześnie zakres zmienności omawianych średnich rocznych był stosunkowo wąski i wynosił:  $4,9 - 8,6 \text{ Bq m}^{-3}$ .

W przypadku wielkości promieniowania alfa, którego źródłem były izotopy sztuczne średnia aktywność w 2011 wynosiła  $0,039 \text{ Bq m}^{-3}$  (Tab. 7) i plasowała się wśród wartości wyższych obserwowanych w okresie 2000 – 2011. Natomiast w przypadku aktywności beta związanej z obecnością izotopów antropogenicznych wartość  $0,083 \text{ Bq m}^{-3}$  (Tab.7) była maksymalną w omawianym okresie.

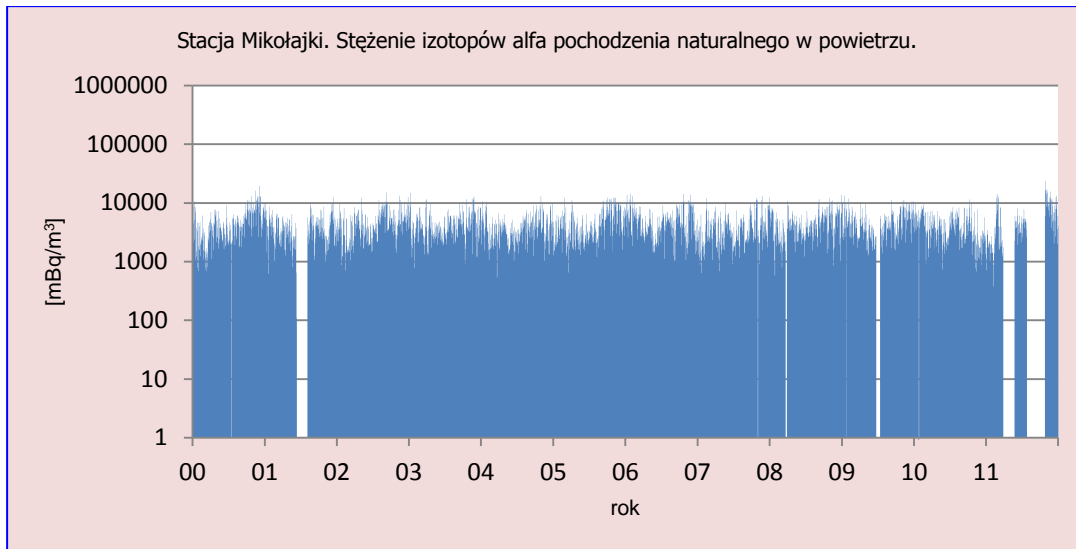
Należy jednak podkreślić, że w 2011 nie obserwowano znaczących zmian w aktywnościach aerozoli powietrza, co ilustrują rysunki 11-31.

Tabela 6. Średnie roczne aktywności alfa radionuklidów naturalnych ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) w latach 2000 - 2011.

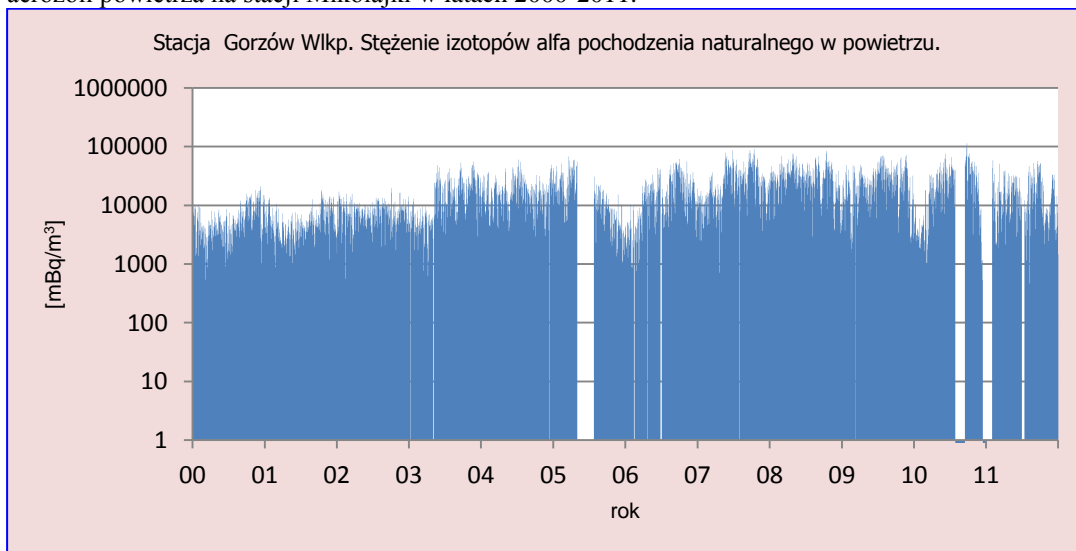
Rok	Średnia roczna
2000	5,6
2001	4,9
2002	6,3
2003	7,8
2004	7,1
2005	7,4
2006	8,0
2007	7,5
2008	8,6
2009	8,2
2010	7,0
<b>2011</b>	<b>7,4</b>
Średnia	7,1
Maksymalna	8,6
Minimalna	4,9

Tabela 7. Średnia roczna aktywność alfa i beta radionuklidów sztucznych (w  $\text{Bq m}^{-3}$ ) w latach 2000 - 2011.

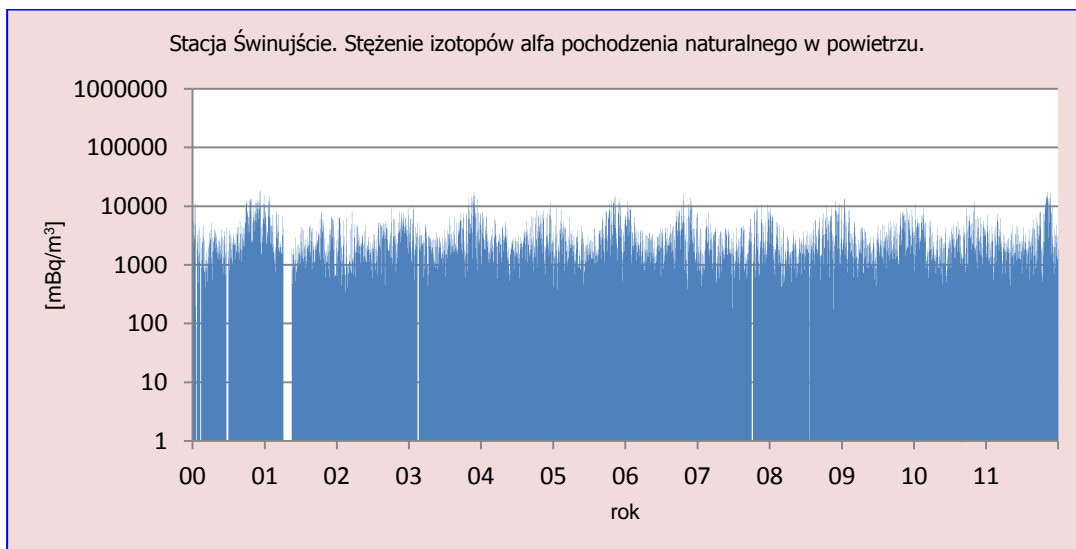
Rok	Średnia roczna	
	beta sztuczna	alfa sztuczna
2000	0,034	0,023
2001	0,017	0,004
2002	0,034	0,005
2003	0,040	0,015
2004	0,035	0,016
2005	0,056	0,019
2006	0,060	0,029
2007	0,048	0,025
2008	0,037	0,034
2009	0,058	0,040
2010	0,076	0,039
<b>2011</b>	<b>0,083</b>	<b>0,039</b>
Średnia	0,048	0,024
Maksymalna	0,083	0,040
Minimalna	0,017	0,004



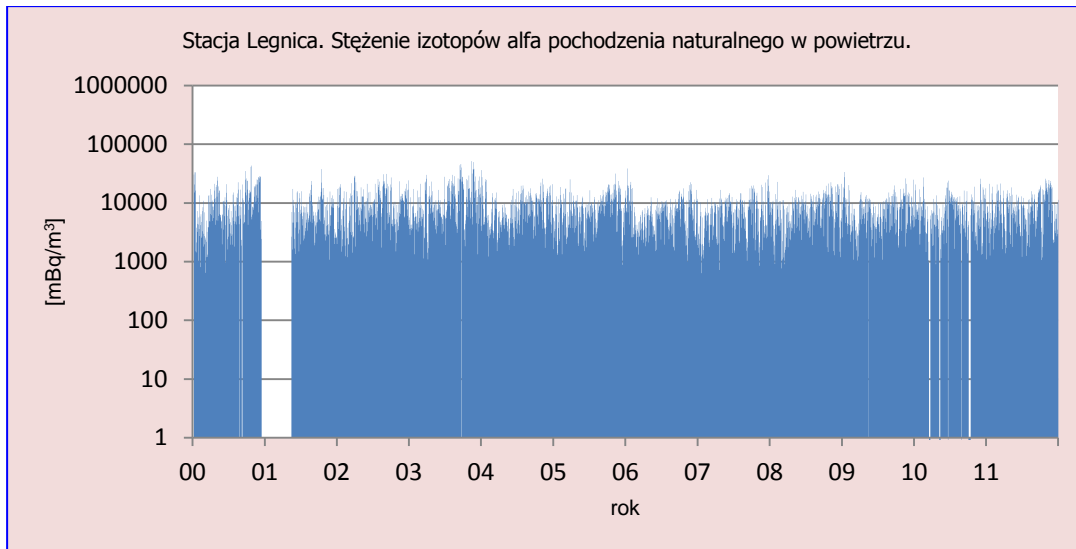
Rys. 11. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Mikołajki w latach 2000-2011.



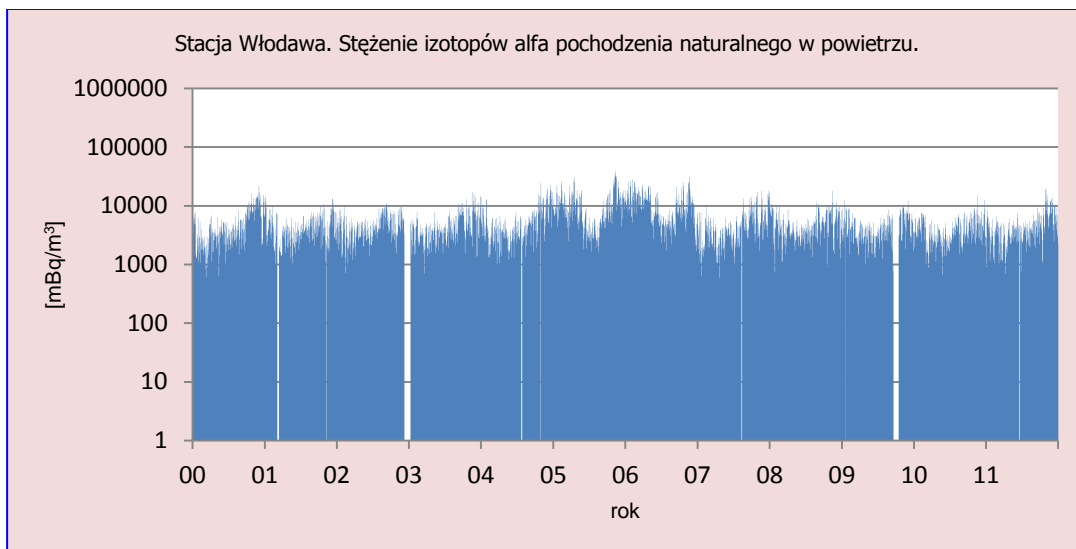
Rys. 12. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Gorzów Wlkp. w latach 2000-2011.



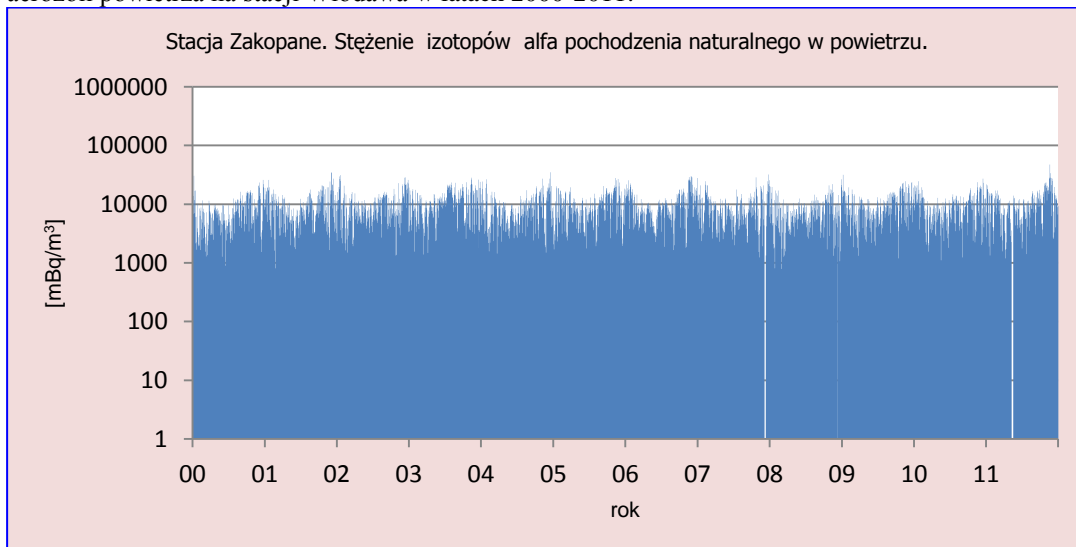
Rys. 13. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Świnoujście w latach 2000-2011.



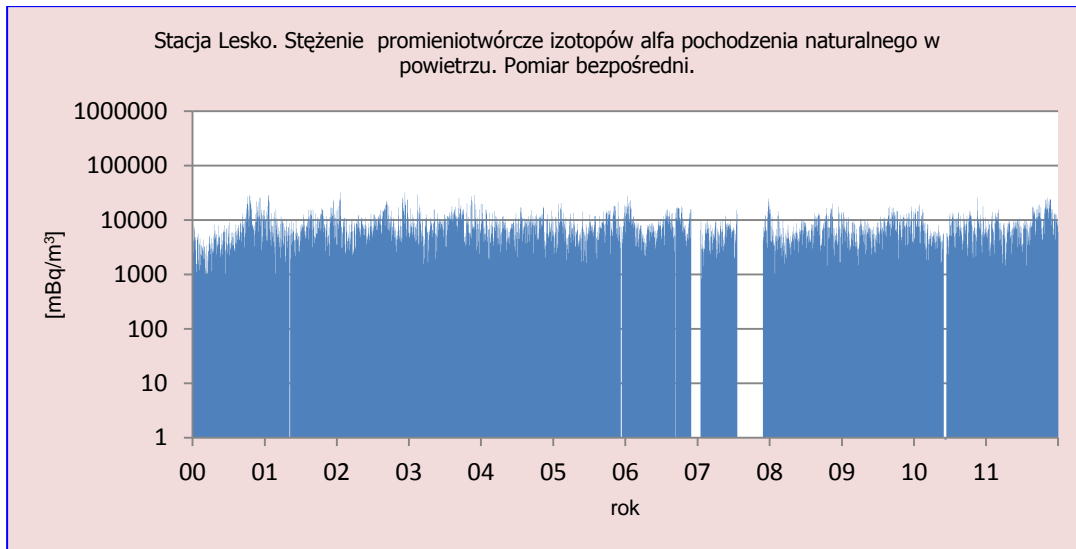
Rys. 14. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Legnica w latach 2000-2011.



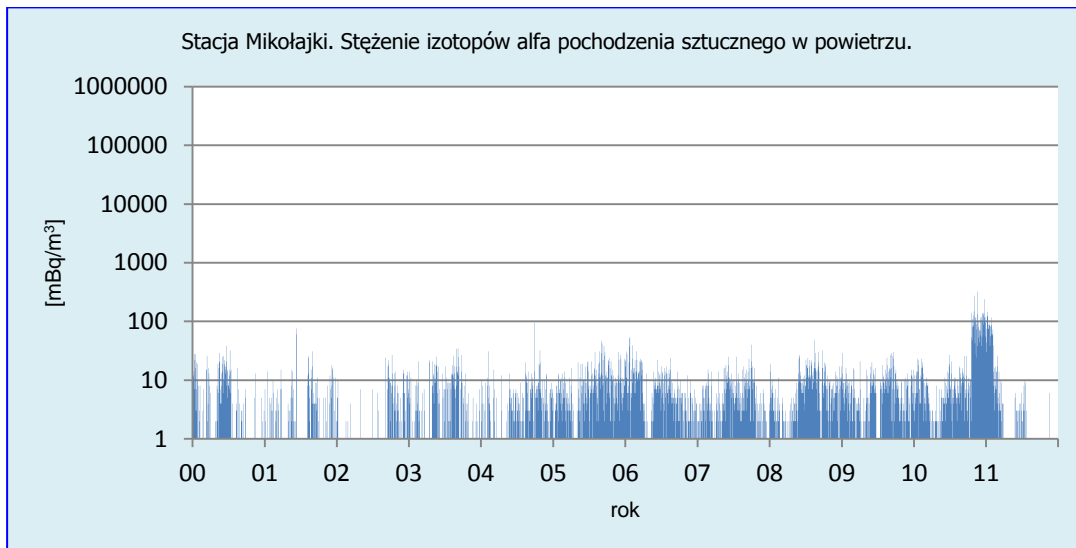
Rys. 15. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Włodawa w latach 2000-2011.



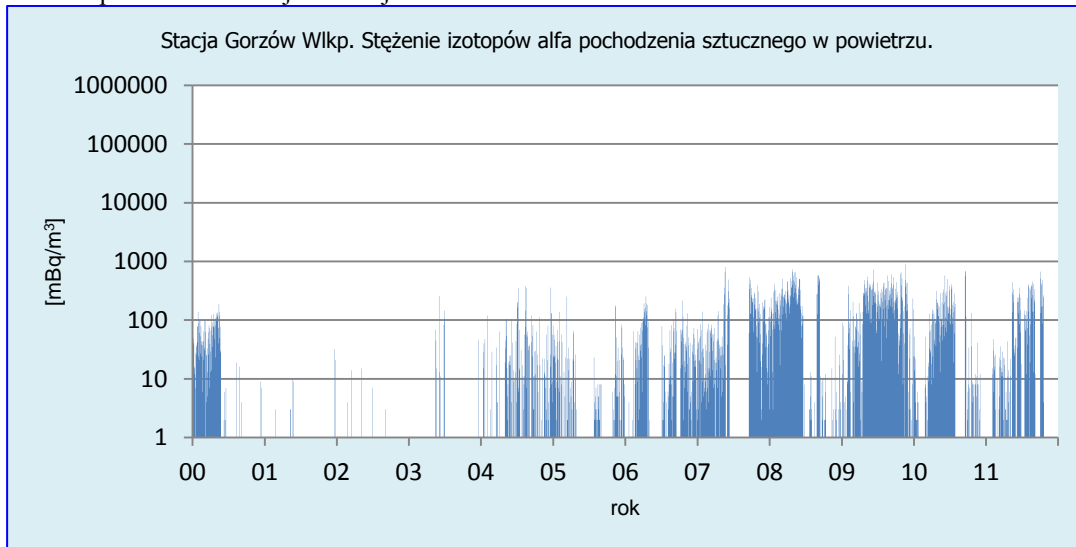
Rys. 16. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Zakopane w latach 2000-2011.



Rys. 17. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia naturalnego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Lesko w latach 2000-2011.

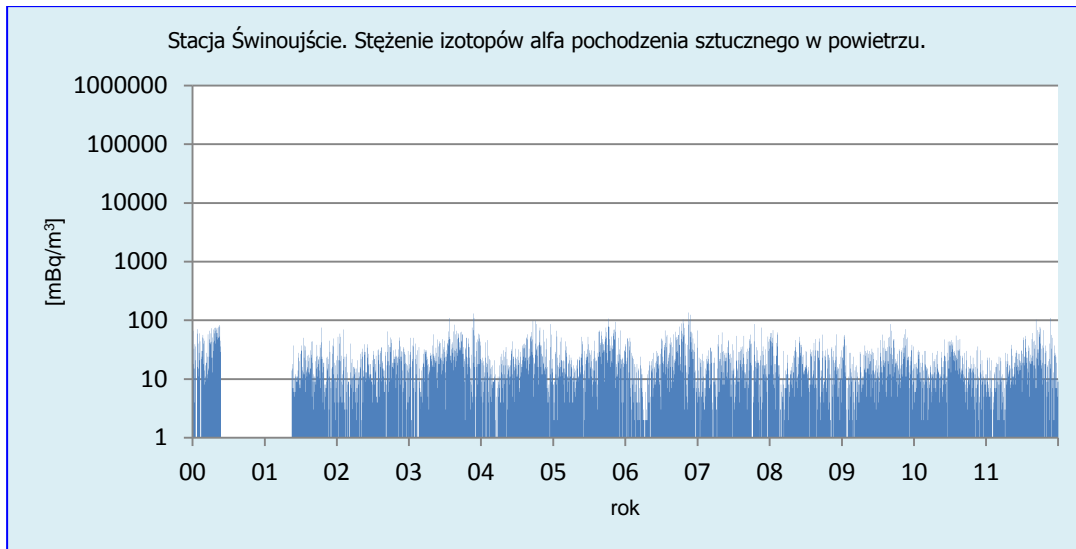


Rys. 18. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Mikołajki w latach 2000-2011.

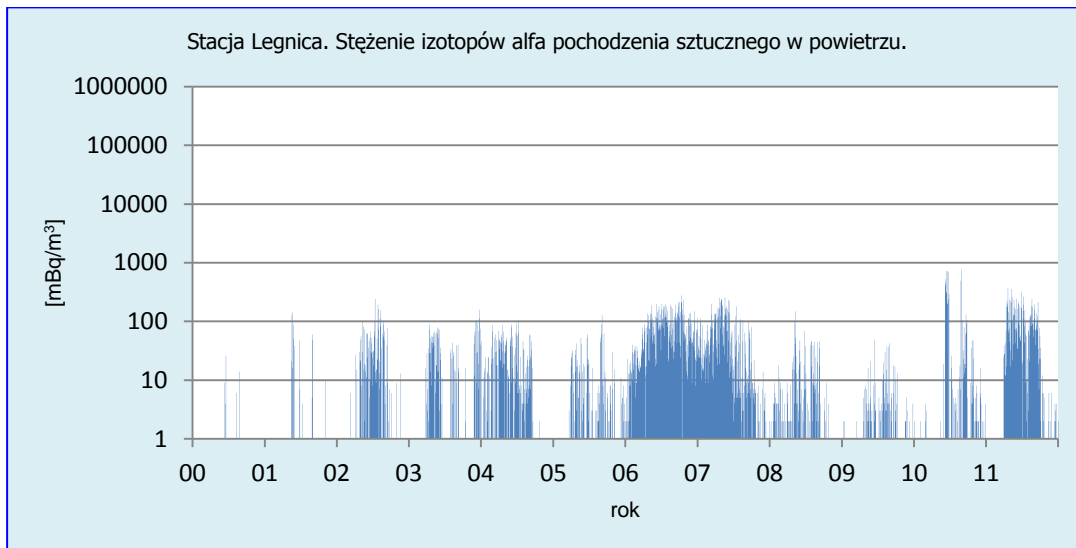


Rys. 19. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Gorzów Wlkp. w latach 2000-2011.

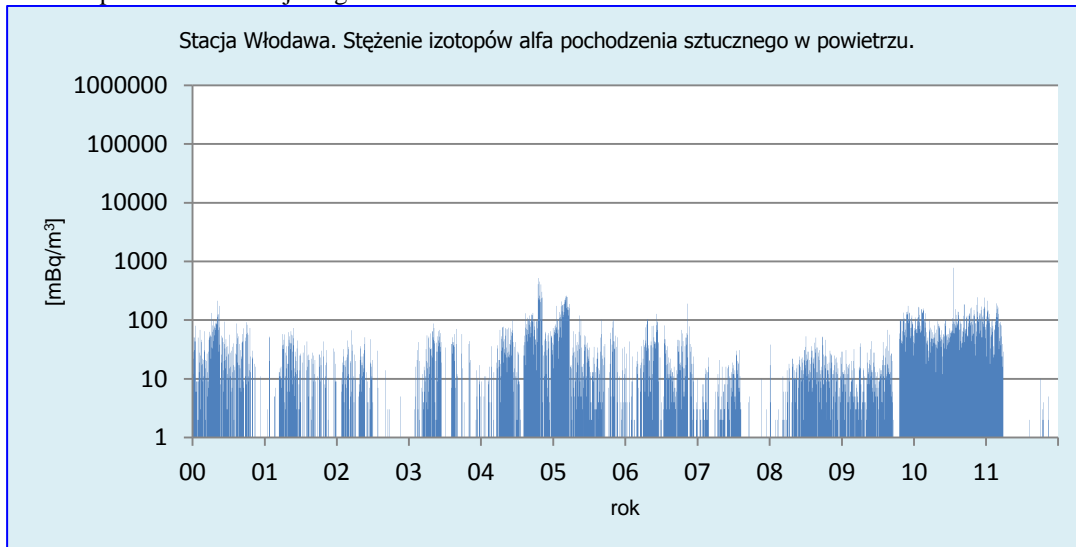




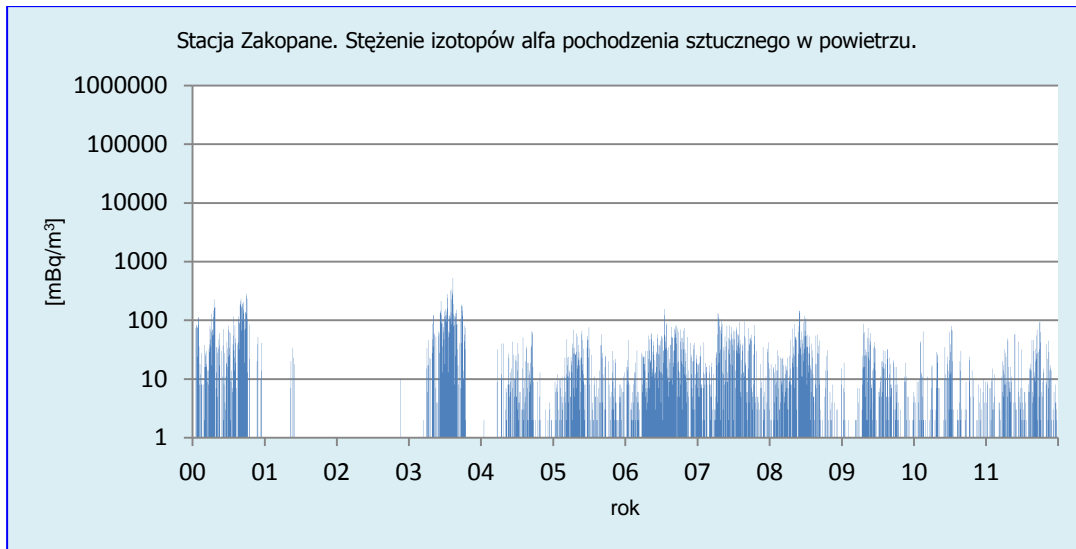
Rys. 20. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Świnoujście w latach 2000-2011.



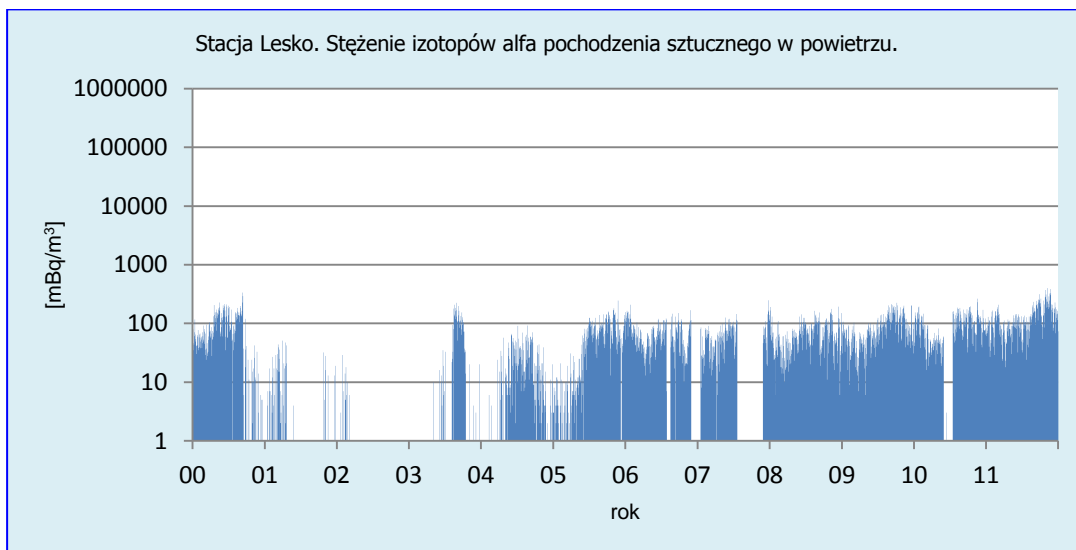
Rys. 21. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Legnica w latach 2000-2011.



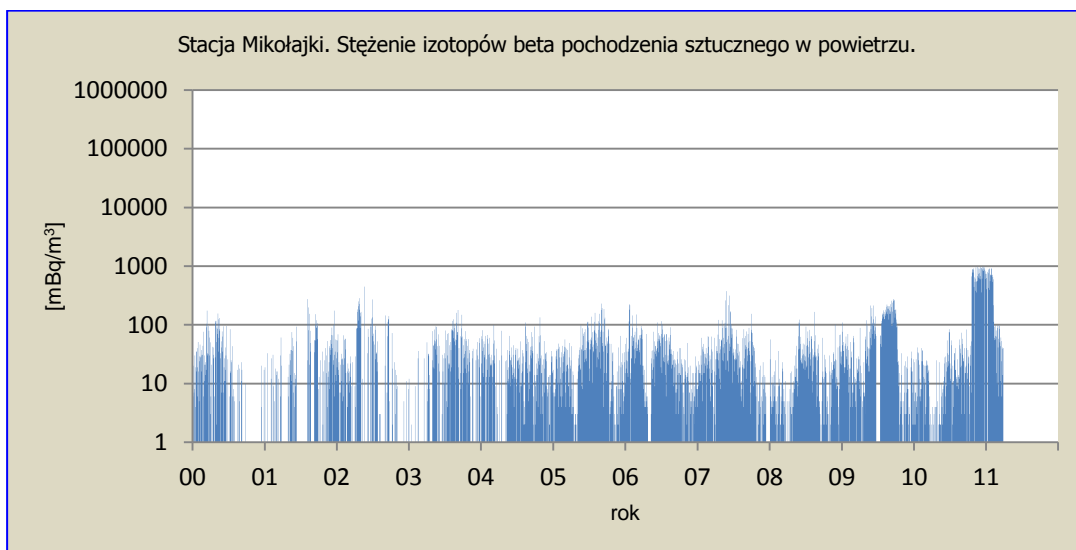
Rys. 22. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Włodawa w latach 2000-2011.



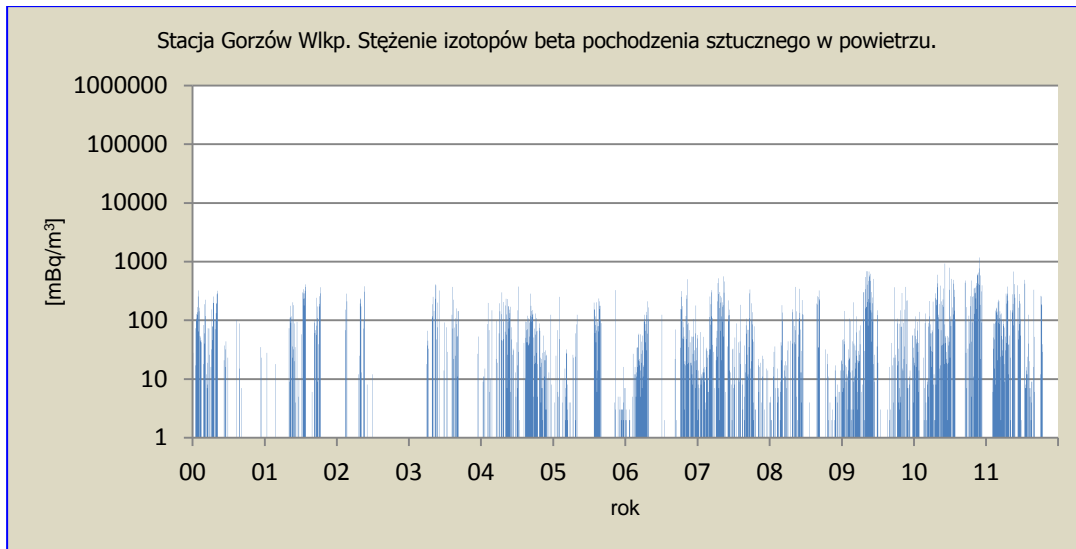
Rys. 23. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Zakopane w latach 2000-2011.



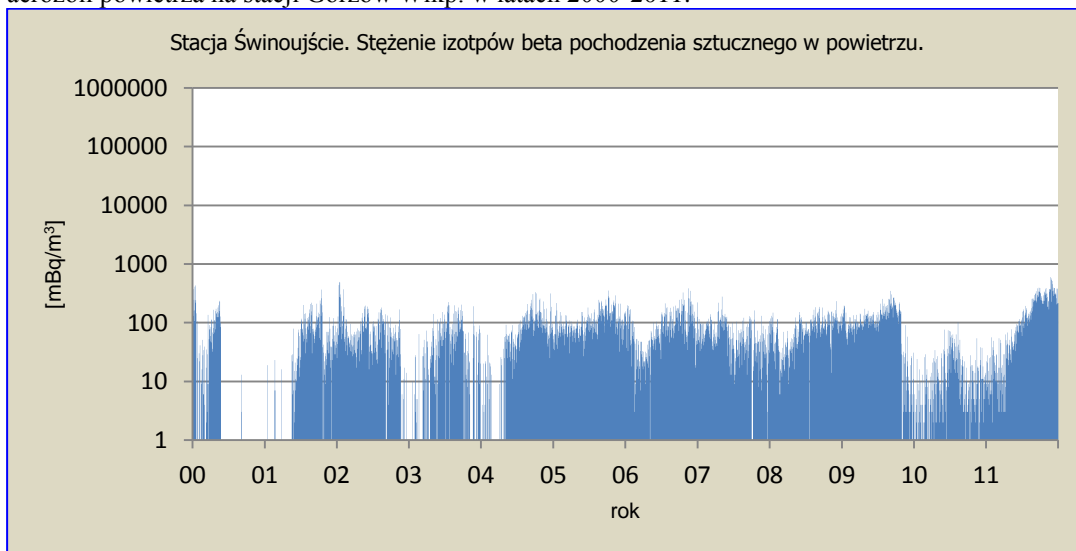
Rys. 24. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania alfa pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Lesko w latach 2000-2011.



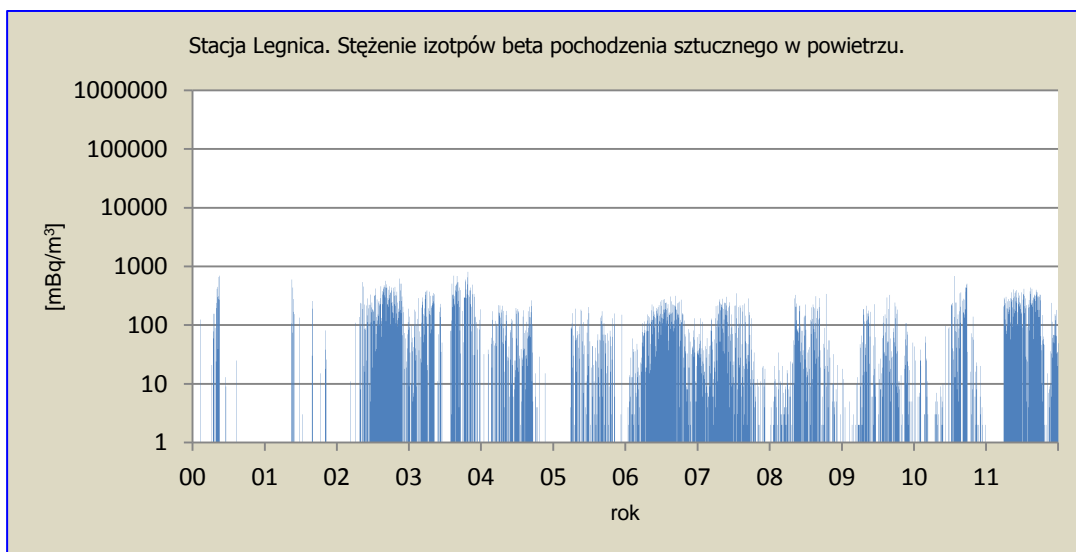
Rys. 25. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Mikołajki w latach 2000-2011.



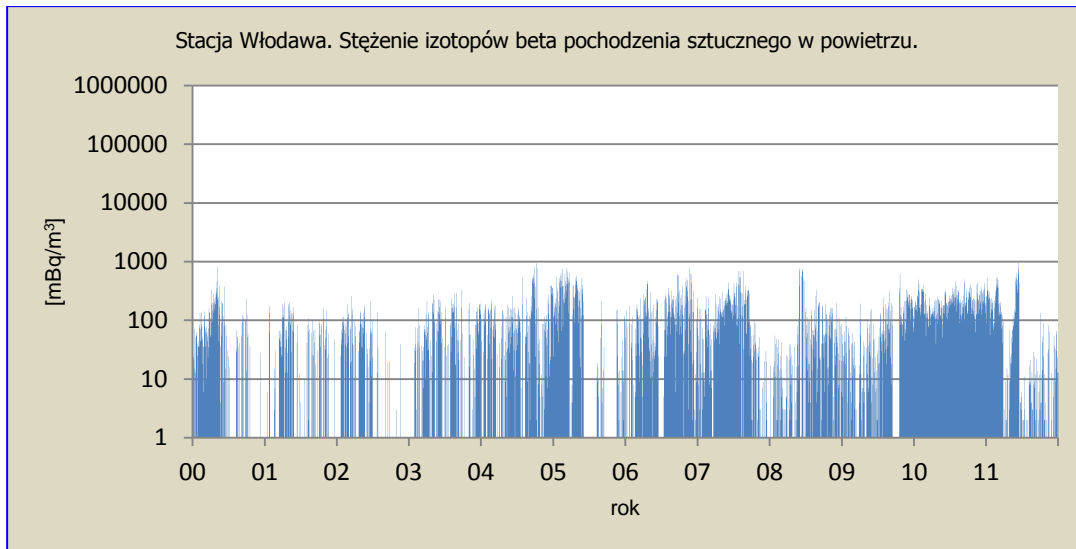
Rys. 26. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Gorzów Wlkp. w latach 2000-2011.



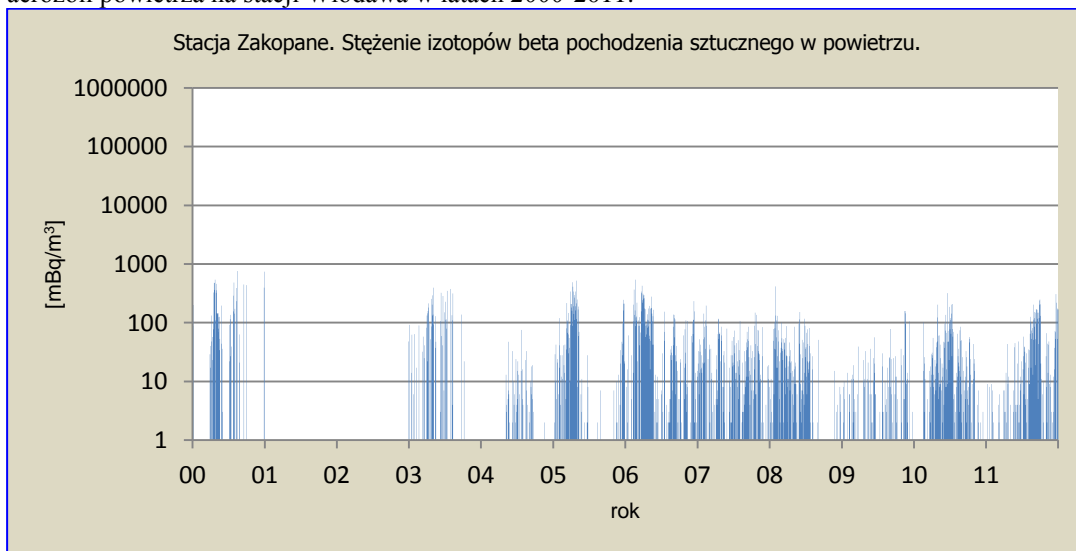
Rys. 27. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Świnoujście w latach 2000-2011.



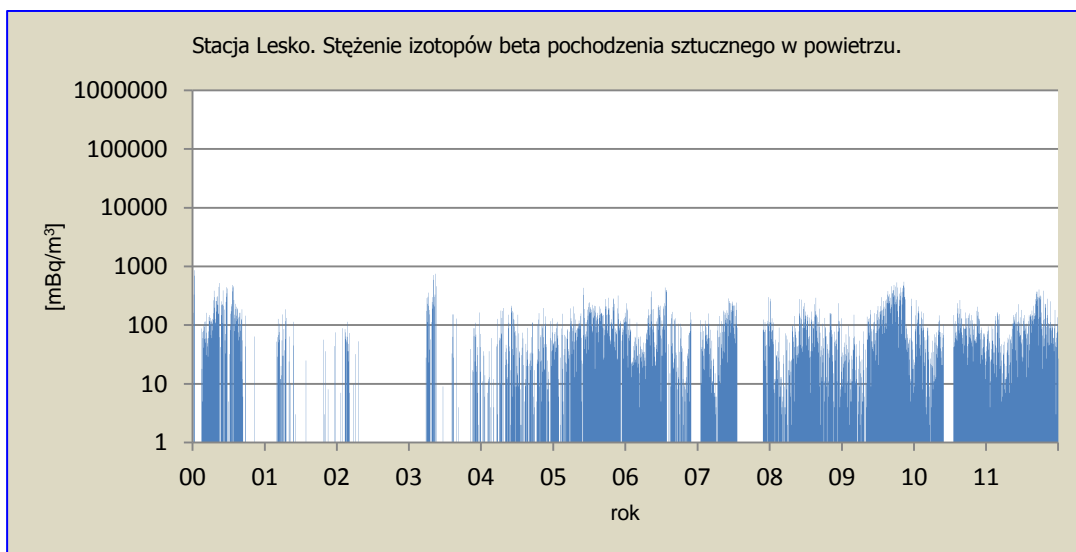
Rys. 28. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Legnica w latach 2000-2011.



Rys. 29. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Włodawa w latach 2000-2011.



Rys. 30. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Zakopane w latach 2000-2011.



Rys. 31. Stężenie promieniotwórcze izotopów - emiterów promieniowania beta pochodzenia sztucznego w próbkach aerozoli powietrza na stacji Lesko w latach 2000-2011.

### 3.3 Globalna aktywność beta dobowego i miesięcznego opadu całkowitego

#### 3.3.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011

Dla oszacowania dopływu izotopów promieniotwórczych z atmosfery na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW-PIB prowadzone są pomiary globalnej aktywności beta tj. stężeń promieniotwórczych izotopów emitujących promieniowanie beta obecnych w całkowitym opadzie atmosferycznym (mokrym i suchym) docierającym do powierzchni ziemi. Najniższa wartość średniej aktywności beta opadu dobowego została zidentyfikowana w sierpniu na stacji Świnoujście i wynosiła  $0,2 \text{ Bq m}^{-2}$ , natomiast najwyższą wartość wyznaczono w lipcu w Zakopanem ( $1,6 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Średnie roczne wartości aktywności beta opadu całkowitego określone na podstawie wartości dobowych zmieniały się w zakresie od  $0,4$  do  $1,2 \text{ Bq m}^{-2}$  (Tab. 8). Najniższą średnią wartość odnotowano na stacji Świnoujście. Wartości na poziomie  $0,7 - 0,9$  obserwowano na stacjach: Gdynia, Warszawa, Gorzów Wlkp. i Lesko, natomiast wartości przekraczające  $1 \text{ Bq m}^{-2}$  wystąpiły na stacjach Mikołajki i Włodawa ( $1,1 \text{ Bq m}^{-2}$ ) oraz Legnica i Zakopane ( $1,2 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Wartość średnia globalnej aktywności beta określonej z danych dobowych dla roku 2011 wynosiła  $0,9 \text{ Bq m}^{-2}$ . Roczna suma całkowitej aktywności beta w dobowym opadzie całkowitym zmieniała się w zakresie od  $159 \text{ Bq m}^{-2}$  w Świnoujściu do  $437 \text{ Bq m}^{-2}$  w Zakopanem. Średnia suma roczna aktywności beta obliczona na podstawie danych ze wszystkich stacji charakterystyczna dla roku 2011 wynosiła  $333,9 \text{ Bq m}^{-2}$ .

Tabela 8. Średnie miesięczne wartości aktywności beta dobowego opadu całkowitego w 2011 roku, w  $\text{Bq m}^{-2}$ .

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	0,7	0,5	1,1	0,6	0,5	1,2	0,9	1,2	0,9
Luty	0,8	0,7	1,0	0,7	0,6	1,1	1,0	1,0	1,0
Marzec	0,7	0,7	1,0	0,8	0,5	1,2	0,6	1,1	0,9
Kwiecień	0,9	0,6	1,2	1,1	0,5	1,5	1,1	1,3	0,9
Maj	0,7	0,7	1,2	0,9	0,5	1,2	1,4	1,2	0,9
Czerwiec	0,9	0,9	1,3	0,8	0,4	1,5	1,5	1,5	0,9
Lipiec	1,3	0,7	1,4	1,0	0,3	1,2	1,5	1,6	1,4
Sierpień	0,9	0,7	1,2	0,8	0,2	1,2	1,3	1,4	1,0
Wrzesień	0,6	0,7	0,9	0,8	0,2	1,0	0,8	1,1	0,7
Październik	0,7	0,6	1,0	0,8	0,4	1,0	0,9	1,1	1,0
Listopad	0,7	0,7	1,0	0,8	0,7	1,0	0,8	0,8	0,9
Grudzień	0,7	0,9	1,1	0,8	0,5	1,1	0,8	1,1	0,9
<b>Średnia roczna</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,9</b>
Suma roczna	290,0	258,0	403,0	301,0	159,0	431,0	384,0	437,0	342,0
minimalna roczna	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
maksymalna roczna	5,0	2,0	4,0	3,0	2,0	4,0	7,0	3,0	4,0
średnia roczna ze wszystkich wyników dobowych	0,9								
minimalna roczna ze wszystkich wyników	0,0								
maksymalna roczna ze wszystkich wyników	7,0								
średnia suma roczna	333,9								

Kolejnym parametrem określanym na podstawie aktywności beta próbek opadu całkowitego dobowego jest aktywność wody opadowej obliczana, gdy dobową wysokość opadu jest większa lub równa  $1,0 \text{ mm}$ . Najniższą średnią miesięczną aktywność wody opadowej określono, podobnie jak miało to miejsce w przypadku średniej aktywności beta opadu dobowego, w sierpniu na stacji Świnoujście ( $29,5 \text{ mBq l}^{-1}$ ),

najwyższą zaś w listopadzie w Mikołajkach ( $772,3 \text{ mBq l}^{-1}$ ). Najniższa średnia roczna aktywność wody opadowej ( $178,1 \text{ mBq l}^{-1}$  – Tab. 9) odnotowana została w 2011 roku w Świnoujściu. Na pięciu stacjach: w Warszawie, Gdyni, Gorzowie Wlkp., Włodawie i Lesku aktywność wody opadowej zmieniał się w zakresie od 309 do  $349 \text{ mBq l}^{-1}$ , a w przypadku czterech stacji przekroczył wartość  $400 \text{ mBq l}^{-1}$ , osiągając wartość maksymalną ( $480,1 \text{ mBq l}^{-1}$ ) w Mikołajkach. Średnia wartość roczna uzyskana ze wszystkich wyników wynosiła w 2011 roku  $351,8 \text{ mBq l}^{-1}$ .

Tabela 9. Średnie miesięczne wartości aktywności wody opadowej w 2011 roku, w  $\text{mBq l}^{-1}$ .

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Gorzów Wlkp.	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	317,7	241,8	574,9	266,1	206,0	509,8	451,4	415,7	449,6
Luty	399,4	290,1	417,8	157,2	175,3	525,5	320,0	340,4	400,1
Marzec	490,5	321,3	435,0	328,7	328,3	456,5	428,3	368,0	386,0
Kwiecień	360,0	258,3	339,3	398,0	97,3	410,0	391,1	398,6	361,1
Maj	321,1	389,4	570,3	467,2	101,9	467,3	408,0	404,2	365,9
Czerwiec	306,5	530,2	534,9	457,1	108,4	619,0	400,2	409,7	264,8
Lipiec	194,9	234,4	301,1	228,7	58,0	220,6	223,1	192,5	180,8
Sierpień	239,2	195,3	282,5	367,9	29,5	298,6	407,1	458,4	168,8
Wrzesień	289,2	329,2	386,5	384,0	49,8	459,2	128,0	654,3	150,4
Październik	221,0	253,3	624,2	467,8	268,4	440,1	297,0	461,8	426,7
Listopad	Brak opadu d.>1mm	346,5	772,3	Brak opadu d.>1mm	423,0	Brak opadu d.>1mm	Brak opadu d.>1mm	Brak opadu d.>1mm	Brak opadu d.>1mm
Grudzień	260,7	457,3	523,0	310,8	291,5	499,5	384,5	448,1	380,6
<b>średnia roczna</b>	<b>309,1</b>	<b>320,6</b>	<b>480,1</b>	<b>348,5</b>	<b>178,1</b>	<b>446,0</b>	<b>349,0</b>	<b>413,8</b>	<b>321,4</b>
minimalna roczna	0,0	0,0	49,0	0,0	0,0	41,0	0,0	29,0	29,0
maksymalna roczna	1027,0	1102,0	1667,0	1616,0	1111,0	1867,0	1217,0	2200,0	1398,0
średnia roczna ze wszystkich wyników		351,8							
minimalna roczna ze wszystkich wyników		0,0							
maksymalna roczna ze wszystkich wyników		2200,0							

Całkowita aktywność beta mierzona była również w próbach całkowitego (mokrego i suchego) opadu atmosferycznego zbieranego w reżimie miesięcznym. Najniższą wartość aktywności beta w próbach miesięcznego opadu atmosferycznego równą  $1 \text{ Bq m}^{-2}$  odnotowano na stacji w Świnoujściu w styczniu i grudniu (Tab. 10). Najwyższa wartość wynosząca  $23 \text{ Bq m}^{-2}$  została zidentyfikowana we Włodawie w lipcu.

W tym samym miesiącu stosunkowo wysokie wartości zostały zmierzone również na innych stacjach: Lesko ( $16 \text{ Bq m}^{-2}$ ), Warszawa ( $18 \text{ Bq m}^{-2}$ ), Zakopane ( $21 \text{ Bq m}^{-2}$ ). Uzyskane wartości mogły mieć związek z masami powietrza charakteryzującymi się podwyższonymi aktywnościami izotopów promieniotwórczych, w tym również emitujących promieniowanie beta (Cs-134, Cs-137), które dotarły nad terytorium Polski po awarii elektrowni w Fukushima (Japonia). Pierwsze podwyższone wartości zostały zidentyfikowane już w kwietniu, czyli w stosunkowo krótkim czasie po awarii, która miała miejsce 11 marca 2011 roku.

Od września aktywności beta w miesięcznym próbkach opadu atmosferycznego zaczęły się stabilizować. Średnie roczne wartości całkowitej aktywności beta w miesięcznym opadzie atmosferycznym zmieniały się w zakresie od  $3,4 \text{ Bq m}^{-2}$ , wartości charakterystycznej dla Świnoujścia do  $10,2 \text{ Bq m}^{-2}$  w Warszawie i  $10,8 \text{ Bq m}^{-2}$  w Zakopanem. Na pięciu stacjach średnie wartości aktywności beta były zbliżone do  $8 \text{ Bq m}^{-2}$  i tylko w Gdyni obliczona wartość była nieco niższa  $6,1 \text{ Bq m}^{-2}$ . Wartość roczna wyznaczona na podstawie wyników ze wszystkich stacji charakterystyczna dla roku 2011 wynosiła  $8 \text{ Bq m}^{-2}$ .

Tabela 10. Zestawienie wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego w roku 2011, w Bq m<sup>-2</sup>.

Miesiąc	Warszawa	Gdynia	Mikołajki	Poznań	Świnoujście	Legnica	Włodawa	Zakopane	Lesko
Styczeń	5	3	8	6	1	5	5	8	10
Luty	9	3	4	8	2	6	5	7	7
Marzec	9	6	7	10	3	6	4	8	4
Kwiecień	11	8	9	9	5	12	8	13	12
Maj	12	7	10	9	9	9	12	13	11
Czerwiec	9	9	10	9	5	11	14	19	12
Lipiec	18	8	13	10	4	12	23	21	16
Sierpień	14	11	10	7	2	14	7	13	6
Wrzesień	9	5	8	8	3	6	9	9	7
Październik	7	3	4	5	4	7	6	6	5
Listopad	9	3	6	6	2	4	4	2	3
Grudzień	10	7	8	8	1	7	7	11	7
<b>średnia roczna</b>	<b>10,2</b>	<b>6,1</b>	<b>8,1</b>	<b>7,9</b>	<b>3,4</b>	<b>8,3</b>	<b>8,7</b>	<b>10,8</b>	<b>8,3</b>
maksymalna ze wszystkich wyników	18	11	13	10	9	14	23	21	16
minimalna ze wszystkich wyników	5	3	4	5	1	4	4	2	3
średnia roczna dla wszystkich stacji	8,0								
maksymalna roczna ze wszystkich wyników	23								
minimalna roczna ze wszystkich wyników	1								

\*Wartość zero wyniku z przyjętej metodologii zaokrąglania wyniku do wartości całkowitych. I tak np. wartość 0,4 Bq/m<sup>2</sup> traktujemy jako wartość zerową a wartość 0,5 Bq/m<sup>2</sup> jako wartość 1.

### 3.3.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian

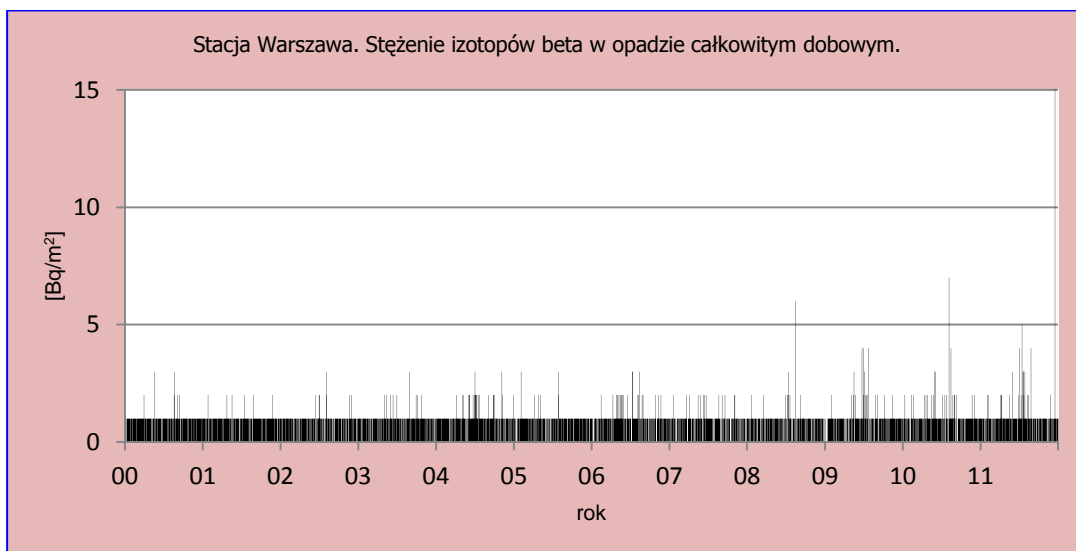
Porównanie sumarycznych aktywności beta próbek dobowego opadu atmosferycznego wyliczonych dla każdego roku z okresu 2000 – 2010 wskazuje jednoznacznie, że wartości te zmieniają się w bardzo wąskim zakresie od 0,30 do 0,34 k Bq m<sup>-2</sup>rok<sup>-1</sup> (Tab. 11).

Wartość wyznaczona dla roku 2011 (0,33 k Bq m<sup>-2</sup>rok<sup>-1</sup> ) była również bardzo zbliżona do obserwowanych w latach poprzednich. Brak istotnych zmian w obserwowanych aktywnościach beta na wszystkich stacjach widoczny jest również na wykresach prezentujących stężenia promieniotwórcze izotopów emitujących promieniowanie beta w próbkach dobowego opadu atmosferycznego (Rys. 32 - 40)

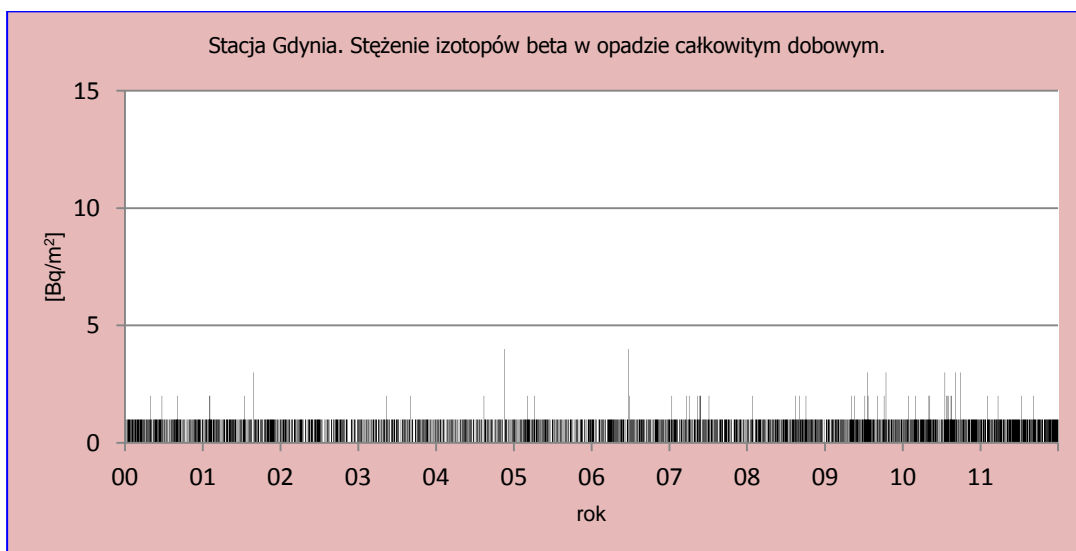
Tabela 11. Sumaryczna aktywność beta średniego rocznego dobowego opadu całkowitego dla sieci 9 stacji w latach 2000 – 2011, kBq m<sup>-2</sup>rok<sup>-1</sup>

Rok	Sumaryczna aktywność beta
2000	0,33
2001	0,34
2002	0,34
2003	0,32
2004	0,34

2005	0,32
2006	0,31
2007	0,31
2008	0,30
2009	0,33
2010	0,33
<b>2011</b>	<b>0,334</b>
Średnia	0,325
Maksymalna	0,300
Minimalna	0,340

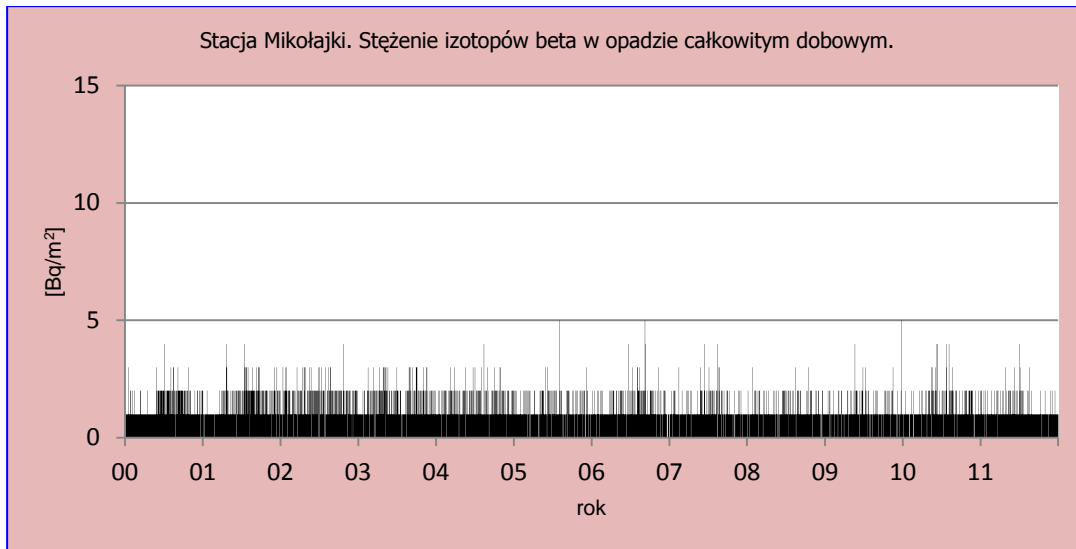


Rys. 32. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dziennym opadzie całkowitym na stacji Warszawa w latach 2000-2011.

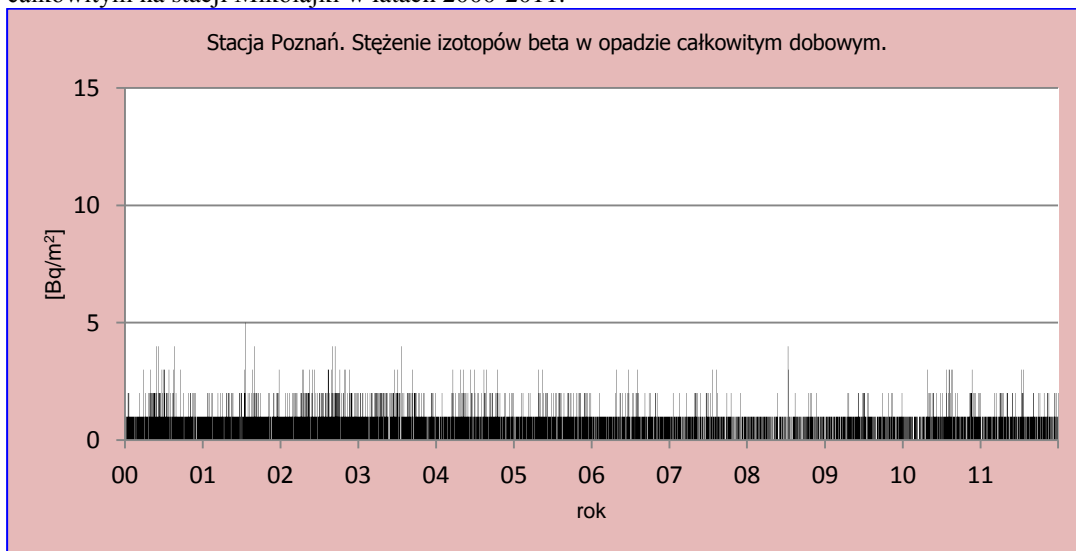


Rys. 33. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dziennym opadzie całkowitym na stacji Gdynia w latach 2000-2011.

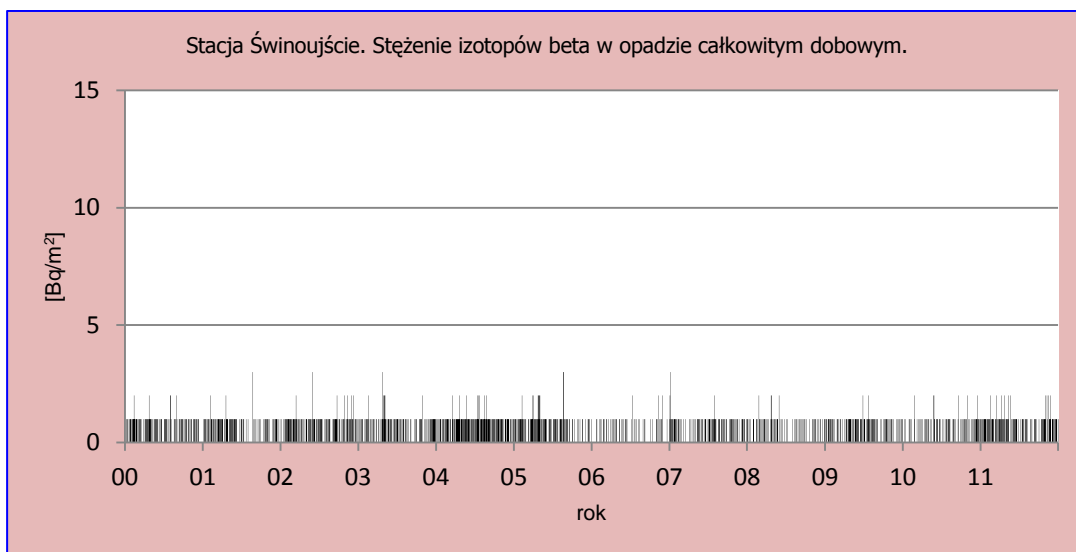




Rys. 34. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Mikołajki w latach 2000-2011.



Rys. 35. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Poznań w latach 2000-2011.



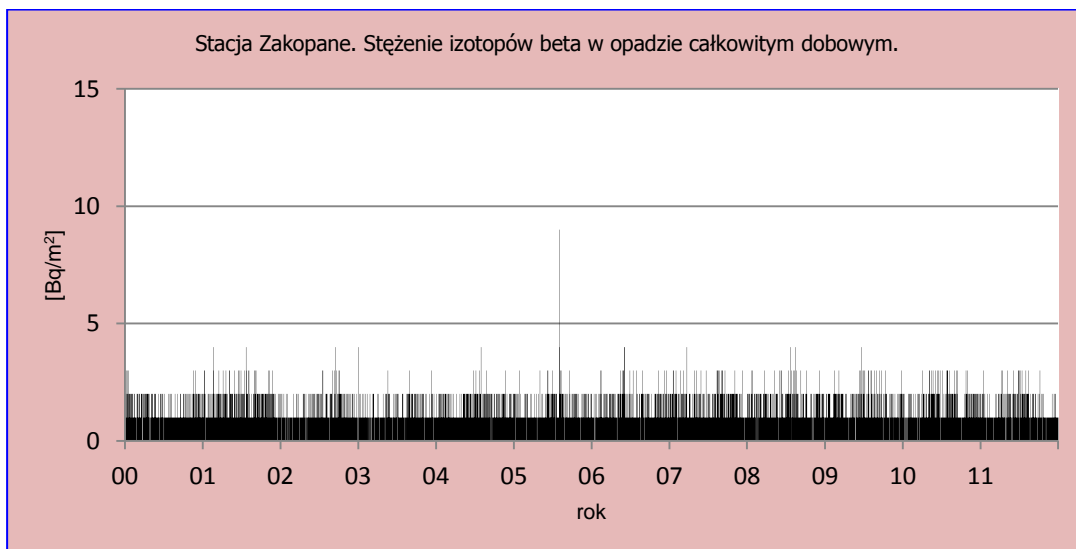
Rys. 36. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Świnoujście w latach 2000-2011.



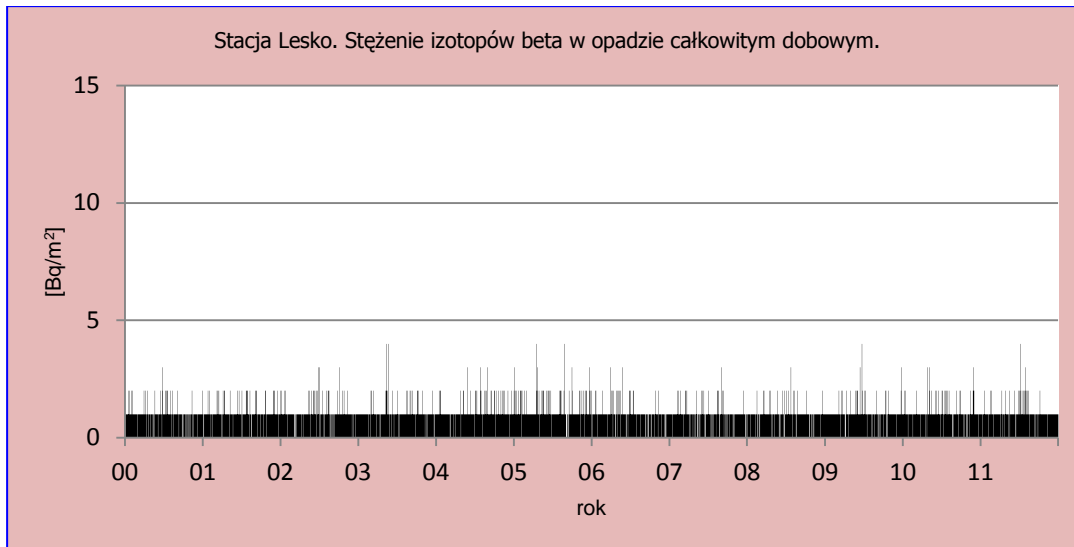
Rys. 37. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Legnica w latach 2000-2011.



Rys. 38. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Włodawa w latach 2000-2011.



Rys. 39. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Zakopane w latach 2000-2011.



Rys. 40. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w dobowym opadzie całkowitym na stacji Lesko w latach 2000-2011.

Średnia aktywność beta wody opadowej wyliczona na podstawie danych z 2011 roku (352 mBq l<sup>-1</sup>) była również zbliżona do wartości obserwowanych w latach 2000 – 2010, które zmieniały się w zakresie od 328 do 376 mBq l<sup>-1</sup> (Tab.12).

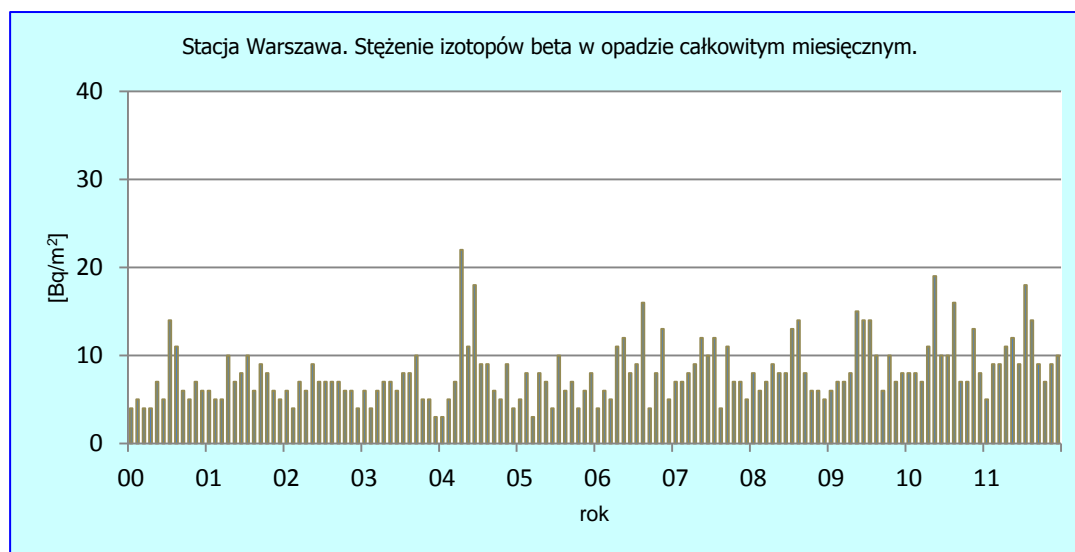
Tabela 12. Średnie wartości aktywności beta wody opadowej w latach 2000 - 2011.

Rok	Aktywność beta (mBq/l)
2000	352
2001	371
2002	348
2003	376
2004	374
2005	358
2006	346
2007	333
2008	338
2009	345
2010	328
<b>2011</b>	<b>352</b>
Średnia	352
Minimalna	328
Maksymalna	376

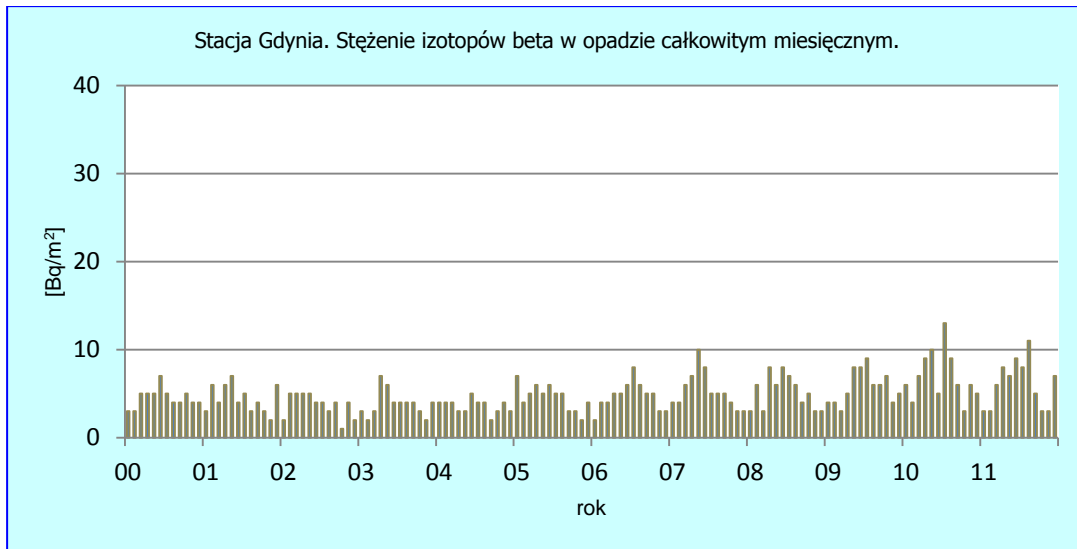
Średnia aktywność beta w miesięcznym opadzie całkowitym charakterystyczna dla roku 2011 (8 Bq m<sup>-2</sup>) była jedną z wyższych wartości odnotowanych w okresie 2000 – 2011, które zmieniały się w zakresie od 6,0 do 8,2 Bq m<sup>-2</sup> (Tab. 13), ale jednocześnie nieznacznie niższą od wartości odnotowanej w 2010 roku. Oznacza to, że wpływ dodatkowego ładunku izotopów promieniotwórczych, które znalazły się na Polskę po awarii elektrowni w Fukushima był znikomy. Generalnie na rysunkach 41 - 49 prezentujących wartości aktywności beta w miesięcznych próbkach opadu atmosferycznego widoczny jest tylko nieznaczny wzrost wartości w okresie wiosenno-letnim 2011 roku, ale jednocześnie brak jest wyraźnych zmian w stosunku do charakterystyk obserwowanych w latach poprzednich.

Tabela 13. Wartości aktywności beta miesięcznego opadu całkowitego od roku 2000, Bq m<sup>-2</sup>

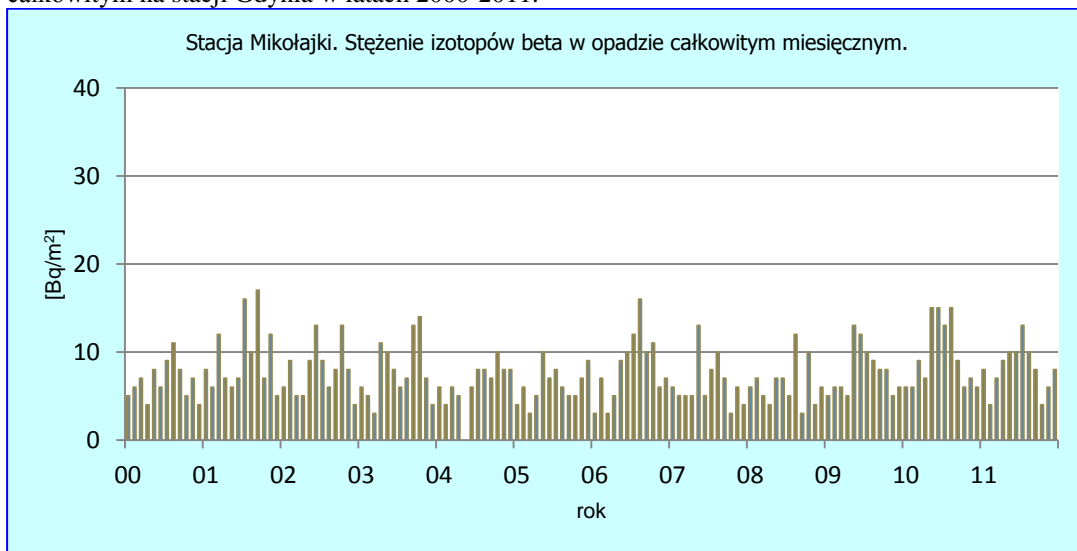
Rok	Średnia aktywność beta
2000	6,1
2001	7,1
2002	6,7
2003	6,6
2004	6,4
2005	6,0
2006	6,2
2007	6,5
2008	6,4
2009	7,8
2010	8,2
<b>2011</b>	<b>8,0</b>
Średnia	6,8
Minimalna	6,0
Maksymalna	8,2



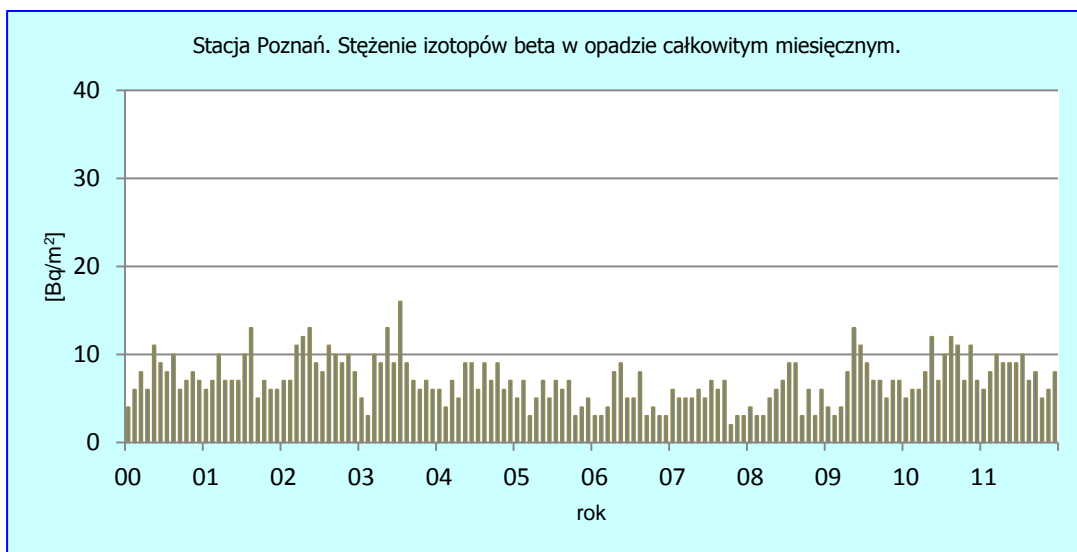
Rys. 41. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Warszawa w latach 2000-2011.



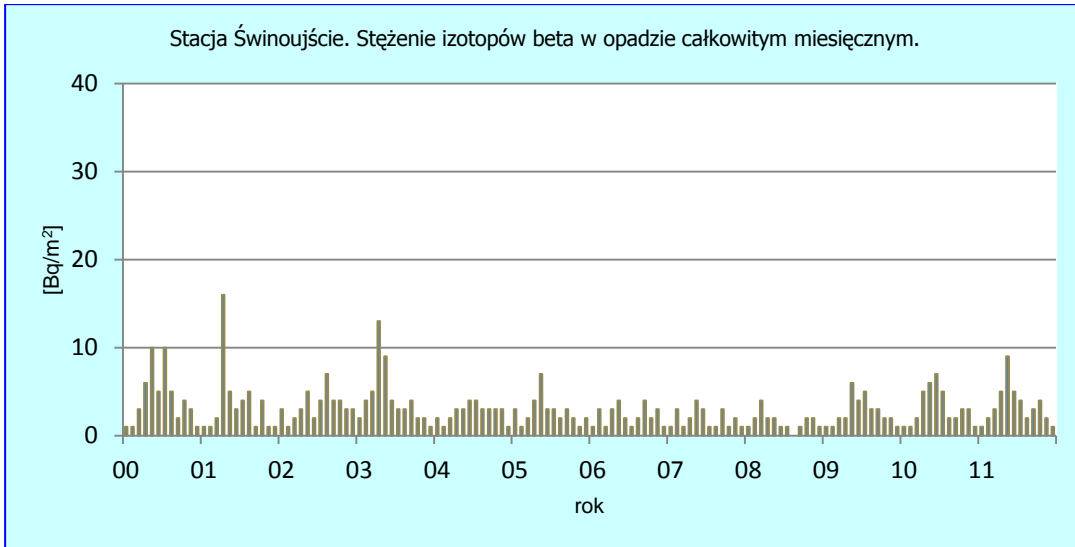
Rys. 42. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Gdynia w latach 2000-2011.



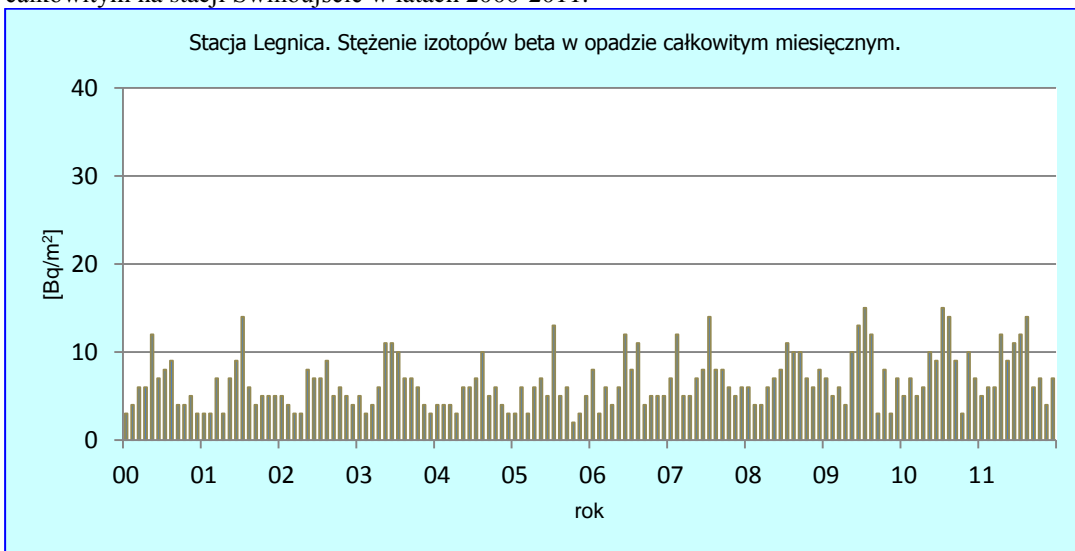
Rys. 43. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Mikołajki w latach 2000-2011.



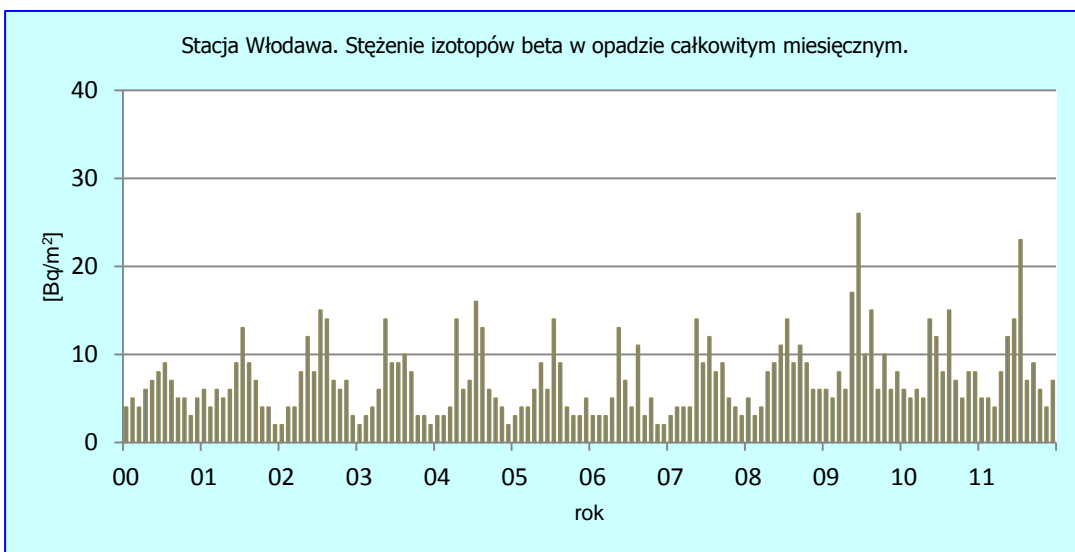
Rys. 44. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Poznań w latach 2000-2011.



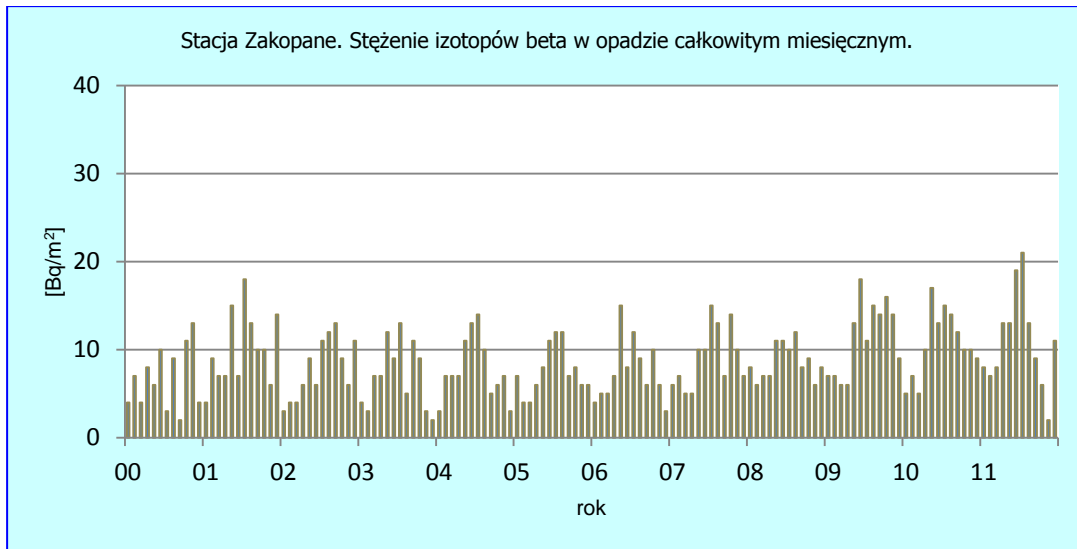
Rys. 45. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Świnoujście w latach 2000-2011.



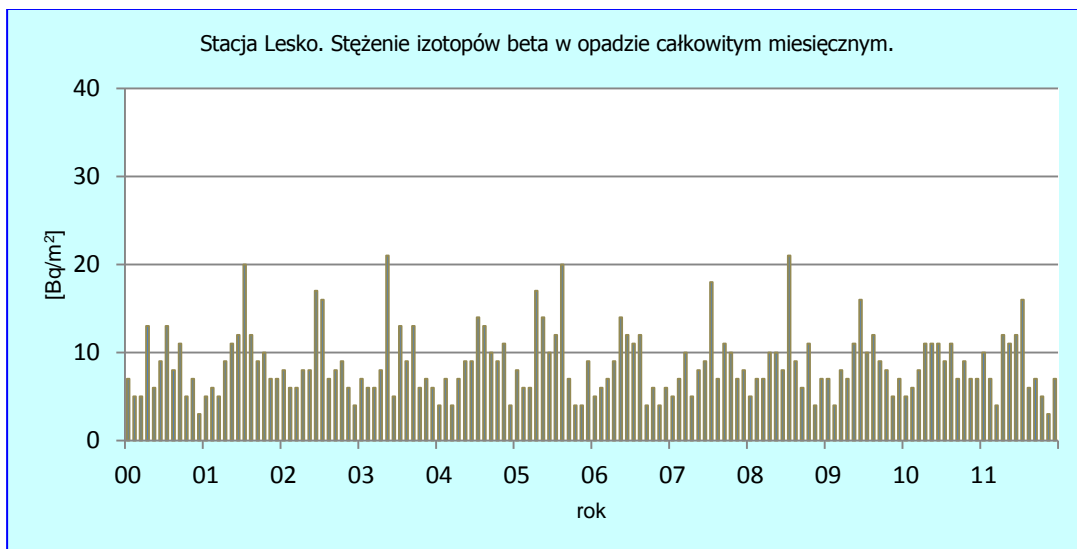
Rys. 46. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Legnica w latach 2000-2011.



Rys. 47. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Włodawa w latach 2000-2011



Rys. 48. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Zakopane w latach 2000-2011.



Rys. 49. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów emitujących promieniowanie beta w miesięcznym opadzie całkowitym na stacji Lesko w latach 2000-2011.

### 3.4 Stężenia promieniotwórcze izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego

#### 3.4.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011

W zintegrowanych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych poprzez łączenie próbek miesięcznych opadu ze wszystkich stacji określono metodą spektrometrii gamma stężenia promieniotwórcze izotopów będących emiterni promieniowania gamma. Głównym izotopem pochodzenia antropogenicznego, który identyfikowany jest w próbkach miesięcznego opadu atmosferycznego jest izotop cezu 137 (Cs-137). W 2011 roku jedynie w sierpniu jego stężenie nie przekroczyło limitu detekcji stosowanej metody. Poza tym aktywności Cs-137 zmieniały się w stosunkowo szerokim zakresie od wartości 0,005 Bq m<sup>-2</sup> obserwowanej w styczniu do wartości 0,377 Bq m<sup>-2</sup> charakterystycznej dla próbki kwietniowej (Tab. 14). Zdecydowanie wyższe stężenia obserwowane w roku 2011 miały bezpośredni związek z awarią elektrowni w Fukushima, w wyniku której część izotopów wprowadzonych do atmosfery przetransportowana została również na Polskę. Pierwszy wzrost aktywności odnotowano już w marcu, w którym aktywność Cs-137 wynosiła 0,181 Bq m<sup>-2</sup>. W kwietniu wzrosła do wartości maksymalnej, o czym wspomniano wyżej, a w maju ponownie zmalała do wartości 0,137 Bq m<sup>-2</sup>. W kolejnych dwóch miesiącach obserwowano istotny spadek, a w lipcu stężenie Cs-137 wzrosło ponownie do wartości 0,214 Bq m<sup>-2</sup>, po czym obserwowano sukcesywny spadek do wartości charakterystycznych dla okresu przed awarią.

Charakterystycznym jest fakt, że w wyniku awarii elektrowni w miesięcznych próbkach opadu atmosferycznego pojawił się również drugi izotop cezu – Cs-134<sup>3</sup> (Tab. 14). W marcu jego stężenie wynosiło 0,137 Bq m<sup>-2</sup>, w kwietniu wzrosło do 0,292 Bq m<sup>-2</sup>, natomiast w maju spadło do 0,063 Bq m<sup>-2</sup>. W kolejnych miesiącach jego aktywność była już poniżej progu detekcji stosowanej metody.

Tabela 14. Stężenie promieniotwórcze Cs-137 i Cs-134 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2011 r.

Miesiąc	Cs-137 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>	Cs-134 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>
Styczeń	0,005	0,002	0,003	-	-	0,005
Luty	0,015	0,002	0,004	-	-	0,006
Marzec	0,181	0,006	0,005	0,137	0,004	0,005
Kwiecień	0,377	0,008	0,004	0,292	0,005	0,004
Maj	0,137	0,005	0,004	0,063	0,003	0,004
Czerwiec	0,071	0,004	0,005	-	-	0,007
Lipiec	0,214	0,006	0,005	-	-	0,006
Sierpień	-	-	0,005	-	-	0,005
Wrzesień	0,021	0,003	0,005	-	-	-
Październik	0,015	0,004	0,002	-	-	-
Listopad	0,02	0,004	0,003	-	-	0,003
Grudzień	0,011	0,003	0,002	-	-	0,002
suma roczna	<b>1,067</b>			<b>0,492</b>		
średnia	0,178			0,246		
maksymalna	0,377			0,292		
minimalna	0,005			0,063		

Izotopami pochodzenia naturalnego oznaczanymi w zintegrowanych próbkach miesięcznego opadu całkowitego były: Ac-228, Be-7, K-40 i Ra-226 (Tab. 15). Stężenia promieniotwórcze Ac-228 były na najniższym poziomie spośród badanych naturalnych radionuklidów i zmieniały się w zakresie od

<sup>3</sup> Cs-134 pojawiał się w wynikach pomiarów już znacznie wcześniej, lecz wartości były poniżej dolnej granicy oznaczalności w związku z czym uzyskane wartości nie są miarodajne. Dlatego też wyniki pomiarów Cs-134 sprzed roku 2011 nie są brane pod uwagę.



0,021 do 0,046 Bq m<sup>-2</sup>, aktywności w zakresie od 0,064 do 0,249 Bq m<sup>-2</sup> obserwowano w przypadku Ra-226. Stężenia K-40 zmieniały się od wartości 0,549 do 2,241 Bq m<sup>-2</sup>, natomiast najwyższe aktywności obserwowano w przypadku Be-7, które jednocześnie zmieniały się w bardzo szerokim zakresie (11,9 – 111,5 Bq m<sup>-2</sup>).

Tabela 15. Stężenie promieniotwórcze Ra-226, Be-7, Ac-228 i K-40 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2011r.

Miesiąc	Ac-228 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>	Be-7 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>	K-40 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>	Ra-226 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>
Styczeń	-	-	0,013	29,8	0,3	0,062	0,549	0,077	0,076	-	-	0,083
Luty	0,046	0,012	0,017	24,0	0,3	0,108	1,065	0,095	0,086	-	-	0,097
Marzec	-	-	0,019	26,2	0,3	0,087	1,156	0,097	0,089	-	-	0,111
Kwiecień	-	-	0,022	46,6	0,4	0,115	1,808	0,101	0,087	0,104	0,049	0,093
Maj	-	-	0,019	66,2	0,5	0,085	2,241	0,106	0,085	0,249	0,056	0,095
Czerwiec	-	-	0,023	111,5	0,8	0,145	2,202	0,117	0,097	0,123	0,065	0,112
Lipiec	-	-	0,021	22,6	1,1	0,085	0,972	0,103	0,006	-	-	0,140
Sierpień	0,021	0,011	0,014	82,4	0,6	0,237	1,792	0,109	0,099	-	-	0,095
Wrzesień	0,028	0,011	0,020	32,1	0,3	0,119	1,053	0,085	0,089	-	0,109	0,099
Październik	0,031	0,013	0,008	32,8	0,5	0,056	1,481	0,131	0,050	0,119	0,085	0,089
Listopad	0,044	0,014	0,009	11,9	0,2	0,037	1,661	0,136	0,051	0,064	0,055	0,042
Grudzień	0,024	0,011	0,007	31,6	0,5	0,043	0,706	0,097	0,044	-	-	0,039
suma roczna	<b>0,194</b>			<b>517,8</b>			<b>16,686</b>			<b>0,659</b>		
średnia	0,055			79,7			2,567			0,220		
maksymalna	0,046			111,6			2,241			0,249		
minimalna	0,021			11,9			0,549			0,064		

### 3.4.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian

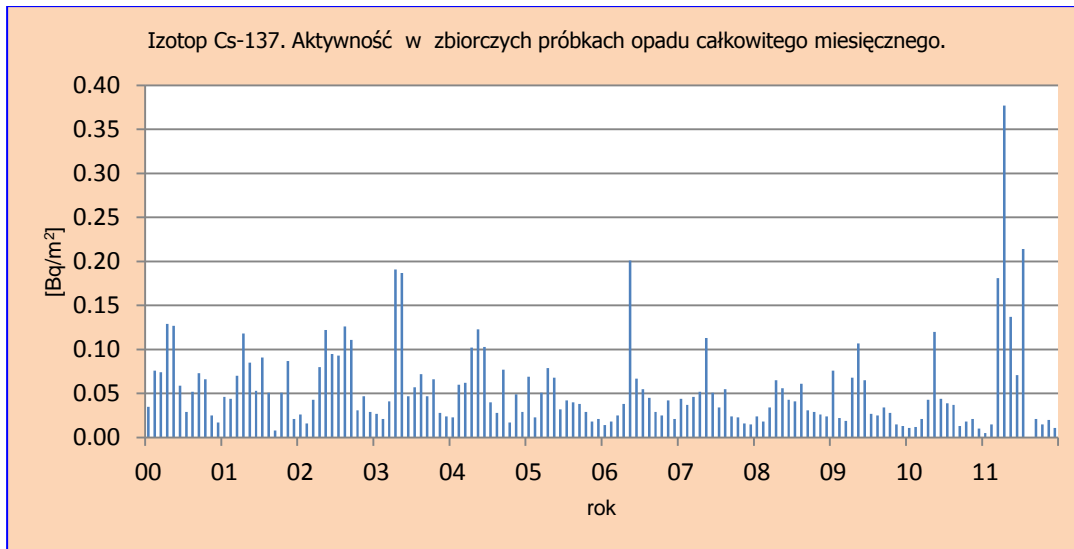
Z porównania sumy rocznej aktywności Cs-137 uzyskanej przez zsumowanie wartości miesięcznych stężeń uzyskanych w kolejnych latach jednoznacznie wynika, że sumaryczna aktywność w roku 2011 równa 1,067 Ba m<sup>-2</sup> była najwyższą w okresie 2000 – 2011 i stanowiła około trzykrotność wartości uzyskanej w roku poprzednim (Tab. 16). Jest to bezpośrednio związane z dopływem omawianego izotopu z opadem atmosferycznym, który dotarł nad obszar Polski po awarii elektrowni atomowej, która miała miejsce w marcu 2011 w Japonii. Potwierdzeniem tego są widocznie wyższe stężenia obserwowane w zintegrowanych próbkach opadu miesięcznego w miesiącach bezpośrednio po awarii w porównaniu do wartości obserwowanych w latach poprzednich (Rys. 50)

Sumaryczna aktywność roczna Ac-228 (0,194 Bq m<sup>-2</sup>) była najniższą w okresie od 2000 d 2011 (Tab. 17). W przypadku Be-7 sumaryczna aktywność roczna w 2011 roku (517,8 Bq m<sup>-2</sup>) była nieco niższa od wartości średniej obliczonej dla rozważanego okresu, ale jednocześnie była o połowę niższa od wartości charakterystycznej dla roku 2010. Sumaryczne stężenie K-40 (16,7 Bq m<sup>-2</sup>) było na podobnym poziomie jak w latach 2009 i 2010, natomiast sumaryczna aktywność roczna Ra-226 (3,385 Bq m<sup>-2</sup>) była najwyższa w odniesieniu do omawianego okresu.

Tabela 16. Roczna suma aktywności Cs-137 w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2011.

Rok	Cs-137 Bq/m <sup>2</sup>
2000	0,762
2001	0,725
2002	0,819
2003	0,808
2004	0,713

2005	0,51
2006	0,58
2007	0,51
2008	0,452
2009	0,499
2010	0,389
<b>2011</b>	<b>1,067</b>
Średnia	0,653
Minimalna	0,389
Maksymalna	1,067



Rys. 50 Stężenie promieniotwórcze Cs-137 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w latach 2000-2011.

Tabela 17. Suma roczna aktywności Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40 w latach 2000-2011.

Rok	Ac-228, Bq/m <sup>2</sup>	Be-7, Bq/m <sup>2</sup>	K-40, Bq/m <sup>2</sup>	Ra-226, Bq/m <sup>2</sup>
2000	*	531,96	19,14	2,53
2001	*	618,03	15,34	2,49
2002	*	559,7	19,06	2,49
2003	*	489,52	19,72	2,33
2004	*	439,582	20,447	2,974
2005	0,402	614,147	16,064	2,584
2006	0,45	670,895	16,184	1,068
2007	0,493	764,63	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
<b>2011</b>	<b>0,194</b>	<b>517,800</b>	<b>16,686</b>	<b>0,659</b>
Średnia	0,456	677,513	17,560	1,872
Minimalna	0,194	439,582	15,340	0,659
Maksymalna	0,676	1029,896	20,447	2,974

### 3.5 Aktywność Sr-90 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

#### 3.5.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2011

Analizy Sr-90 prowadzono w zintegrowanych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych poprzez łączenie próbek miesięcznych opadu ze wszystkich stacji, które uprzednio poddane zostały nieniszczącym pomiarom metoda spektrometrii gamma. W 2011 roku stężenia promieniotwórcze Sr-90 zmieniały się w zakresie od 0,004 do 0,030 Bq m<sup>-2</sup> (Tab.18). Najniższe aktywności obserwowano w miesiącach zimowych. Wzrost aktywności do 0,013 Bq m<sup>-2</sup> odnotowano w marcu, podobnie jak miało to miejsce w przypadku izotopów cezu, w wyniku napływu nad Polskę izotopów uwolnionych w wyniku awarii elektrowni w Fukushima. W kwietniu i maju aktywności Sr-90 pozostawały na zbliżonym maksymalnym poziomie, a od czerwca obserwowano sukcesywny ich spadek do wartości zbliżonych do charakterystycznych dla lat poprzednich.

Tabela 18. Stężenie promieniotwórcze Sr-90 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w 2011 r.

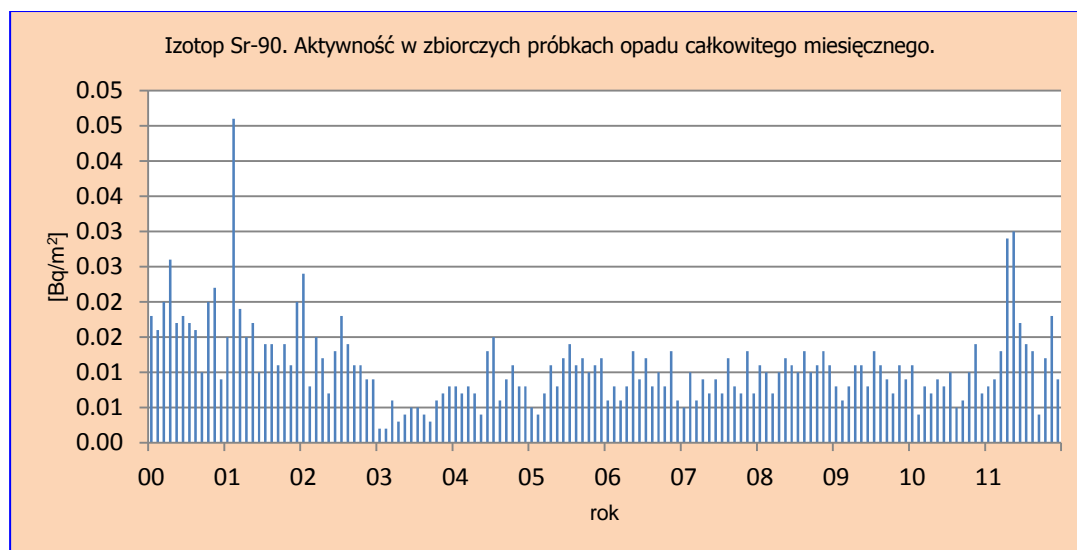
Miesiąc	Sr-90 Bq/m <sup>2</sup>	Błąd Bq/m <sup>2</sup>	LLD Bq/m <sup>2</sup>
Styczeń	0,008	0,002	0,003
Luty	0,009	0,002	0,003
Marzec	0,013	0,003	0,002
Kwiecień	0,029	0,003	0,003
Maj	0,030	0,003	0,003
Czerwiec	0,017	0,003	0,003
Lipiec	0,014	0,003	0,003
Sierpień	0,013	0,002	0,002
Wrzesień	0,004	0,002	0,003
Październik	0,012	0,002	0,003
Listopad	0,018	0,002	0,003
Grudzień	0,009	0,003	0,003
suma roczna	<b>0,176</b>		
średnia	0,027		
maksymalna	0,030		
minimalna	0,004		

### 3.5.2 Porównanie wyników z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian

Sumy rocznych aktywności Sr-90 obliczone dla poszczególnych lat w okresie 2000 – 2011 zmieniały się w zakresie od 0,055 do 0,209 Bq m<sup>-2</sup>, przy czym wartość maksymalna odnotowana w roku 2000 była bliska wartości charakterystycznej dla roku 2011 (Tab.19). Podobnie jak w przypadku Cs-137 miało to bezpośredni związek z ładunkiem wniesionym wraz z opadem atmosferycznym, którego źródłem była Fukushima (rok 2011) oraz pożarami lasów w Europie Wschodniej (rok 2000). Znalazło to również odzwierciedlenie w podwyższonych w stosunku do lat poprzednich aktywnościach (rok 2010) obserwowanych w miesięcznych próbkach opadu całkowitego które charakteryzowały niższymi wartościami (Rys. 51)

Tabela 19. Roczna suma aktywności Sr-90 w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2011.

Rok	Sr-90, Bq/m <sup>2</sup>
2000	0,209
2001	0,206
2002	0,151
2003	0,055
2004	0,104
2005	0,117
2006	0,107
2007	0,1
2008	0,129
2009	0,112
2010	0,099
<b>2011</b>	<b>0,176</b>
Średnia	<b>0.130</b>
Minimalna	<b>0.055</b>
Maksymalna	<b>0.209</b>



Rys. 51 Stężenie promieniotwórcze Sr-90 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego w latach 2000-2011.

### 3.6 Pomiary uzupełniające po awarii elektrowni Fukushima Daiichi

17 dni po awarii elektrowni Fukushima Daiichi, która miała miejsce 11 marca 2011 r., 7 stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW rozpoczęło pobór aerozolu atmosferycznego z zastosowaniem pompy jodowej i przystosowanych do poboru filtrów węglowych. Pobór prowadzono od 28 marca do 1 kwietnia rejestrując objętość powietrza (pobór IA - Tab.1). Na trzech stacjach pomiar został powtórzony (pobór IB – Tab. 20). W Poznaniu próba została pobrana po raz pierwszy w terminie od 1 do 6 kwietnia. Pod koniec roku, w celu skontrolowania sytuacji, pobory próbek zostały powtórzone na 8 stacjach (pobór II – Tab. 21). Wszystkie próby przesłano do laboratorium skażeń radioaktywnych w Oddziale Morskim IMGW-PIB w Gdyni, gdzie z zastosowaniem metody spektrometrii gamma określone zostały stężenia promieniotwórczych izotopów jodu (I-131) i cezu (Cs-137). Do pomiarów wykorzystano detektor HPGe o wydajności 18% współpracujący z analizatorem (8000 kanałów) oraz oprogramowaniem Genie – 2000.

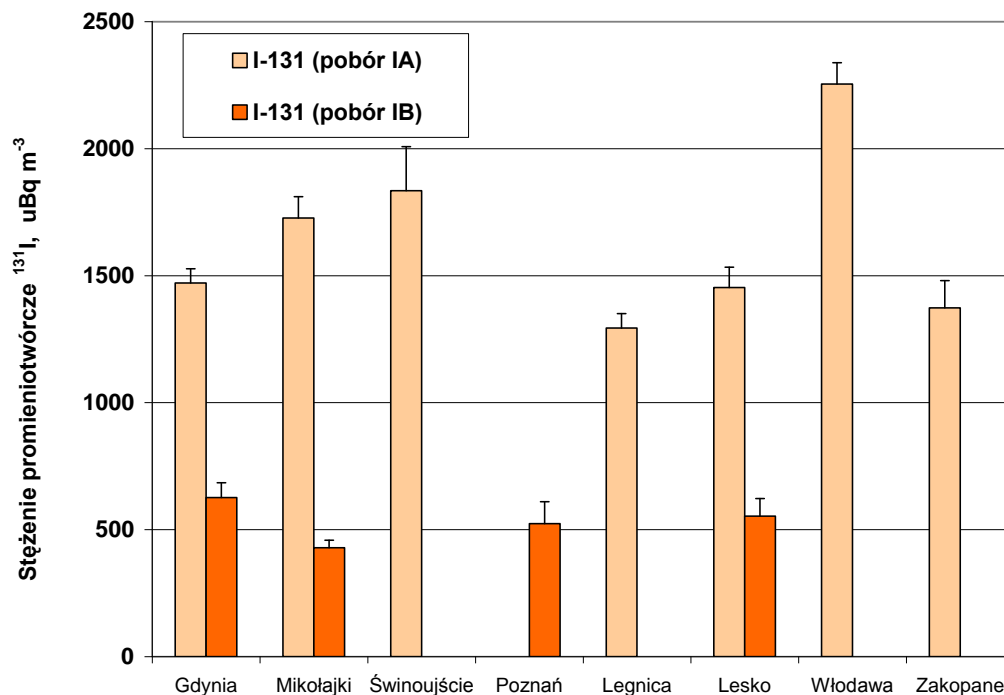
Tabela 20. Wyniki pomiarów prowadzonych od 28 marca do 12 kwietnia– Pobór I (A i B)

Pobór	Stacja	Początek pomiaru	Koniec pomiaru	Objętość powietrza [m <sup>3</sup> ]	Aktywność, $\mu\text{Bq m}^{-3}$	
					I-131	Cs-137
IA	Legnica	28.03.2011	01.04.2011	400,5	1293,2 ± 57,3	431,7 ± 39,6
	Lesko	28.03.2011	31.03.2011	266,8	1453,3 ± 80,1	598,5 ± 58,9
	Świnoujście	29.03.2011	01.04.2011	161,6	1834,4 ± 173,2	1006,9 ± 99,7
	Gdynia	28.03.2011	01.04.2011	377,0	1471,2 ± 55,9	484,1 ± 45,2
	Mikołajki	28.03.2011	01.04.2011	418,5	1727,2 ± 83,9	398,1 ± 38,1
	Włodawa	28.03.2011	01.04.2011	400,6	2254,1 ± 83,9	324,5 ± 36,1
	Zakopane	28.03.2011	01.04.2011	345,4	1372,9 ± 107,6	480,9 ± 45,3
IB	Poznań	1.04.2011	6.04.2011	322,5	523,2 ± 86,3	447,9 ± 47,4
	Lesko 2	31.03.2011	05.04.2011	452,8	552,7 ± 69,0	329,6 ± 34,5
	Gdynia 2	05.04.2011	09.04.2011	397,2	626,1 ± 58,2	505,8 ± 42,3
	Mikołajki 2	05.04.2011	12.04.2011	764,3	428,9 ± 29,2	225,1 ± 20,2

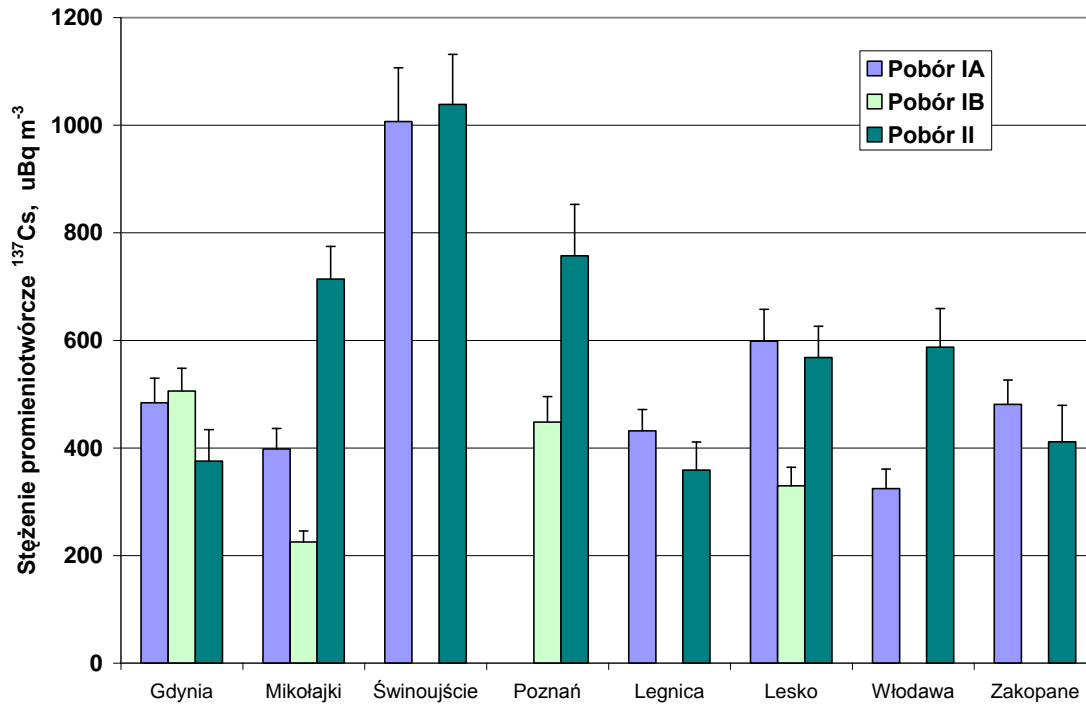
Tabela 21. Wyniki pomiarów prowadzonych od 9 do 13 grudnia 2011 – pobór II

Lp.	Stacja	Początek pomiaru	Koniec pomiaru	Objętość powietrza [m <sup>3</sup> ]	Aktywność, $\mu\text{Bq m}^{-3}$	
					I-131	Cs-137
1	Gdynia	09.12.2011	13.12.2011	392,8	-	375,4 ± 58,5
2	Legnica	09.12.2011	13.12.2011	409,0	-	358,7 ± 52,5
3	Lesko	09.12.2011	12.12.2011	373,6	-	568,1 ± 58,1
4	Mikołajki	09.12.2011	13.12.2011	426,5	-	714,0 ± 60,5
5	Poznań	09.12.2011	13.12.2011	270,5	-	757,0 ± 95,6
6	Zakopane	09.12.2011	13.12.2011	352,0	-	411,5 ± 67,8
7	Włodawa	09.12.2011	13.12.2011	350,5	-	587,1 ± 72,1
8	Świnoujście	09.12.2011	13.12.2011	257,3	-	1038,6 ± 92,9

Stężenia promieniotwórcze I-131 zmieniały się od 1293  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  w Legnicy do 2254  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  we Włodawie (Rys.52). W Gdyni, Lesku i Zakopanem wartości były tylko nieznacznie wyższe od odnotowanych w Legnicy, natomiast w Mikołajkach i Świnoujściu były na poziomie 1700 – 1800  $\mu\text{Bq m}^{-3}$ . Stężenia promieniotwórcze <sup>131</sup>I w próbkach pobranych po kilku dniach były zdecydowanie niższe. W Gdyni i Lesku wartości spadły ponad dwukrotnie, a Mikołajkach aż czterokrotnie. W próbkach pobranych w grudniu 2011 roku stężenia promieniotwórcze <sup>131</sup>I były poniżej poziomu detekcji (160  $\mu\text{Bq m}^{-3}$ ). Stężenia promieniotwórcze Cs-137 w próbkach pobranych na przełomie marca i kwietnia zmieniały się w zakresie od 324,5  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  we Włodawie do 1007 w Świnoujściu (Tab.20, Rys. 53). W Gdyni stężenie promieniotwórcze omawianego izotopu wynosiło 484,1  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  i pozostało praktycznie niezmiennie w podczas powtórzonego w odstępie kilku dni pomiaru. W próbkach pobranych w grudniu stężenia promieniotwórcze Cs-137 były na zbliżonym poziomie jak obserwowane na przełomie marca i kwietnia i zmieniały się również w stosunkowo szerokim zakresie od 358,9  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  w Legnicy do 1038,6  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  w Świnoujściu.



Rys. 52. Stężenia promieniotwórcze I-131 w próbkach pobranych na przełomie marca i kwietnia 2011.



Rys. 53. Stężenia promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs w próbkach pobranych na przełomie marca i kwietnia oraz w grudniu 2011.

#### 4. Wnioski.

W 2011 roku poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery związany z obecnością izotopów promieniotwórczych sztucznych i naturalnych nie odbiegał od poziomu, który obserwowano w poprzednich latach.

Nieznaczny wzrost aktywności izotopów Cs-137, Cs-134 i Sr-90 związany z transportem mas powietrza po awarii elektrowni w Fukushima (Japonia) miał charakter incydentalny i okresowy.

W okresie 2-3 miesięcy od chwili odnotowania wzrostów mierzone parametry wróciły do wartości charakterystycznych dla poziomu tła. Obserwowany, nieznaczny wzrost aktywności nie miał istotnego wpływu dla zdrowia.

Zróżnicowanie wartości mocy dawki na obszarze Polski wynikało głównie z lokalizacji stacji rejestrujących. Aktywności alfa i beta związane z obecnością izotopów naturalnych i sztucznych w aerozolach powietrza były na poziomie zbliżonym do lat poprzednich. Nie odnotowano również istotnych zmian aktywności beta w opadach całkowitych: dobowym i miesięcznym.

## 5. Podsumowanie

Monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy powietrza prowadzono w roku 2011 w ramach Umowy nr 13/2009/F pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym

Pomiar prowadzono na stacjach sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych działających w ramach infrastruktury IMGW. Stacje IMGW są położone w następujących miastach: Warszawa, Gdynia, Włodawa, Świnoujście, Gorzów Wlkp., Poznań<sup>4</sup>, Lesko, Zakopane, Legnica i Mikołajki. W niniejszym raporcie zaprezentowano analizę wyników uzyskanych pomiarów w roku 2011.

Oceniane parametry:

1. Aktywność próbek beta opadu całkowitego dobowego oraz wody opadowej
2. Aktywność próbek beta opadu całkowitego miesięcznego
3. Moc dawki promieniowania gamma.
4. Radioaktywność alfa naturalna aerozoli powietrza.
5. Radioaktywność alfa sztuczna aerozoli powietrza.
6. Radioaktywność beta sztuczna aerozoli powietrza.
7. Pomiar spektrometryczny aktywności izotopów sztucznych w zbiorczych próbkach
8. Pomiar spektrometryczny izotopów naturalnych w zbiorczych próbkach.
9. Pomiar radiochemiczny aktywności izotopu Sr-90 w zbiorczych próbkach opadu całkowitego miesięcznego.

Zmierzone parametry przedstawiono również na tle wartości pomiarów wieloletnich.

Wyniki uzyskane w roku 2011 przedstawiono w Tabeli 23.

Tabela 23. Zestawienie wyników uzyskanych w roku 2011

Lp.	Rodzaj pomiaru	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia	Suma roczna
1.	Wartość mocy dawki promieniowania gamma.	60 nGy/h	146 nGy/h	93,3 nGy/h	
2.	Aktywność alfa naturalnych radionuklidów w powietrzu.	0,29 Bq/m <sup>3</sup>	58,42 Bq/m <sup>3</sup>	7,50 Bq/m <sup>3</sup>	
3.	Aktywność beta sztucznych radionuklidów w powietrzu.	0,000 Bq/m <sup>3</sup>	0,969 Bq/m <sup>3</sup>	0,081 Bq/m <sup>3</sup>	
4.	Aktywność (Stężenie) alfa sztucznych radionuklidów w powietrzu.	0,000 Bq/m <sup>3</sup>	0,666 Bq/Bq/m <sup>3</sup>	0,039 Bq/m <sup>3</sup>	
5.	Aktywność beta opadu całkowitego dobowego oraz roczna suma aktywności beta opadu całkowitego dobowego.	0,0 Bq/m <sup>2</sup>	7,0 Bq/m <sup>2</sup>	0,9 Bq/m <sup>2</sup>	334 Bq/m <sup>2</sup>
6.	Aktywność beta opadu miesięcznego.	1,0 Bq/m <sup>2</sup>	8,0 Bq/m <sup>2</sup>	23,0 Bq/m <sup>2</sup>	
7.	Aktywność beta wody opadowej.	0 Bq/m <sup>2</sup>	2200 Bq/m <sup>2</sup>	351,8 Bq/m <sup>2</sup>	
8.	Aktywność Cs-137 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym	0,005 Bq/m <sup>2</sup>	0,377 Bq/m <sup>2</sup>	0,178 Bq/m <sup>2</sup>	1,067 Bq/m <sup>2</sup>
9.	Aktywność Cs-134 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.	0,063 Bq/m <sup>2</sup>	0,292 Bq/m <sup>2</sup>	0,246 Bq/m <sup>2</sup>	0,492 Bq/m <sup>2</sup>
10.	Aktywność Sr-90 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.	0,004 Bq/m <sup>2</sup>	0,030 Bq/m <sup>2</sup>	0,027 Bq/m <sup>2</sup>	0,176 Bq/m <sup>2</sup>
12.	Sumy roczne aktywności Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.	Ac-228	Be-7	K-40	Re-226
		0,194 Bq/m <sup>2</sup>	517,8 Bq/m <sup>2</sup>	16,686 Bq/m <sup>2</sup>	0,659 Bq/m <sup>2</sup>

<sup>4</sup> Z racji uzupełniającego się programu pomiarowego stacja Gorzów Wlkp. oraz Poznań są traktowane jako jedna stacja.



## Część II

### Syntetyczne opracowanie informacji dla ogółu społeczeństwa (dla osób niezwiązanych bezpośrednio z pomiarami radioaktywności) o stanie radiacyjnym powietrza w kraju w oparciu o dane pomiarowe z części I

Radioaktywność (promieniotwórczość): to zdolność jąder atomowych do rozpadu promieniotwórczego, który najczęściej jest związany z emisją cząstek alfa, cząstek beta oraz promieniowania gamma.

Szczególnym rodzajem promieniotwórczości jest rozszczepienie jądra atomowego, podczas którego radioaktywne jądro rozpada się na dwa lub więcej fragmentów oraz emituje liczne cząstki, między innymi neutrony, które mogą indukować rozszczepienia w sąsiednich jądrach. Zjawisko takiej reakcji łańcuchowej jest wykorzystane w bombach jądrowych oraz w sposób kontrolowany w elektrowniach jądrowych.

Promieniowanie towarzyszące przemianom jądrowym (zarówno elektromagnetyczne jak i w postaci strumienia cząstek) przechodząc przez substancję ośrodka powoduje jonizację (wybijanie elektronów z orbit w atomach). Promieniowanie to, po przekroczeniu pewnego poziomu, ma szkodliwy wpływ na żywe organizmy. Narażenie się na dużą dawkę promieniowania może spowodować choroby.

Źródłami radioaktywności są niestabilne izotopy pierwiastków, zarówno występujących w naturze, jak i wytworzonych przez człowieka. Do najbardziej znaczących należą:

- H-3, wytwarzany m.in. w wyniku eksperymentów termojądrowych, a także w wyniku reakcji jądrowych zachodzących w atmosferze
- C-14, stale produkowany przez promieniowanie kosmiczne w górnych warstwach atmosfery, obecny we wszystkich organizmach żywych, w tym w ciele człowieka
- K-40, obecny m.in. w minerałach i kościach, stanowiący 0,0117% całej zawartości potasu
- Rn, krótko żyjący element tzw. szeregow promieniotwórczych; jest gazem, więc może uwalniać się z miejsca powstania, np. z gleby, materiałów budowlanych itp.; największe znaczenie ma  $^{222}\text{Rn}$ , pochodzący z szeregu  $^{238}\text{U}$ , jego okres połowicznego zaniku wynosi 3,8 dnia
- Ra, także pierwiastek występujący w szeregach promieniotwórczych; największe znaczenie ma izotop Ra-226 z szeregu U-238, którego okres połowicznego zaniku wynosi 1599 lat
- Th-232, długo żyjący izotop obecny w niektórych minerałach i w glebie
- U, występujący w minerałach i w glebie; największe znaczenie mają:  $^{238}\text{U}$ , mniej obfity izotop  $^{235}\text{U}$  oraz sztucznie uzyskany  $^{233}\text{U}$  – dzięki podatności na rozszczepienie są wykorzystywane w reaktorach i bombach jądrowych
- Pu, uzyskiwany sztucznie z uranu; izotop  $^{239}\text{Pu}$ , także podatny na rozszczepienie, stosowany jest podobnie jak uran.

Radioaktywność tych i wielu innych izotopów ma zastosowania w medycynie (diagnostyka, terapia nowotworów), archeologii i geologii (datowanie izotopowe), technice oraz badaniach naukowych.

Czytelnik bardziej zainteresowany edukacyjnym ujęciem tematu promieniotwórczości powinien sięgnąć do broszury Pt. „Promieniowania w środowisku człowieka” oraz innych znajdujących się na stronie Państwowej Agencji Atomistyki<sup>5</sup> w dziale „Informacja i edukacja”.

#### Słownik użytych pojęć i terminów:

- Promieniowanie alfa, cząstki alfa - atomu helu pozbawione powłok elektronowych powstające podczas reakcji jądrowych. Składają się z dwóch protonów i dwóch elektronów.
- Promieniowanie beta - elektrony powstające w wyniku reakcji jądrowych jak np. zderzeń jąder atomowych z cząstkami.
- Promieniowanie gamma i X - fale elektromagnetyczne o częstotliwości rzędu  $10^{18}$  Hz, fale elektromagnetyczne posiadające właściwości nie tylko fal ale też cząstek, zdolnych do wybijania z atomów różnych cząstek elementarnych.

<sup>5</sup> <http://www.paa.gov.pl/?frame=13.7>

- Promieniowania kosmiczne - promieniowanie jonizujące składające się z cząstek pierwotnych pochodzenia pozaziemskiego charakteryzujących się wysoką energią i cząstek wtórnych wytworzonych w wyniku wzajemnego oddziaływania cząstek pierwotnych z atmosferą.
- Aktywność - ilość reakcji jądrowych (związanych z emisją cząstek, jąder atomowych oraz promieniowania gamma) w jednostce czasu.
- Bq - czytamy Bekerel, jednostka rozpadu promieniotwórczego mówiąca o rozpadzie jednego jądra atomu w ciągu sekundy, określamy tak ilościowo stopień radioaktywności danego izotopu, np. 5 Bq oznacza 5 rozpadów jąder w ciągu sekundy.
- Promieniowanie jonizujące - promieniowanie alfa, beta, gamma lub X wywołujące skutki fizyczne w materii jak np. wybijanie elektronów z powłok atomowych.
- Moc dawki promieniowania gamma - ilość energii promieniowania jonizującego przekazana jednostce masy w jednostce czasu  
Moc dawki promieniowania gamma mierzymy w  $J/kg*s$  (jednostka podstawowa dżul na kilogram na sekundę)
- Dawka promieniowania - ilość energii jonizującego promieniowania pochłonięta w jednostce masy, dawkę mierzymy w  $J/kg$  (dżulach na kilogram)
- Jednostka podstawowa mocy dawki to  $Gy/h$ , czytamy, jako (grej na godzinę) i interpretujemy, jako działanie przez 1 godzinę, promieniowania gamma o energii 1 J (1 dżula – jednostki energii) na kilogram. Zamiennikiem dla  $Gy/h$  jest  $Sv/h$  (Siwert na godzinę).  $Sv/h$  odnosi do efektów na materię żywą. W przypadku promieniowania gamma  $1 Gy = 1 Sv$
- nGy lub nSv – nanoGrej lub nanoSiwert, oznacza jedną miliardową część Gy lub Sv
- mGy lub mSv – miliGrej/miliSiwert, oznacza jedną tysięczną część Gy lub Sv.
- Izotop, nuklid - odmiany tego samego pierwiastka różniące się liczbą neutronów w jądrze
- Radioizotop, radionuklid radioaktywne izotopy, nuklidy ulegające samorzutnemu rozpadowi na inne pierwiastki i emitujące podczas tych procesów cząstki elementarne i fale elektromagnetyczne gamma.
- Opad całkowity - opad pierwiastków promieniotwórczych z wyższych warstw atmosfery na powierzchnię ziemi,
- Aktywność opadu całkowitego mierzymy go za pomocą ilości rozpadów promieniotwórczych na jednostkę powierzchni czyli  $Bq/m^2$  oraz krotności czyli  $kBq/m^2$  ( $1 kBq/m^2 = 1000 Bq/m^2$ )
- Aerozole powietrza - płynne i stałe radioaktywne cząstki zawierające radioizotopy znajdujące się/zawieszone w powietrzu. Aktywność aerozoli mierzymy w  $Bq/m^3$  (oraz krotnościach), co oznacza ilość rozpadów promieniotwórczych w metrze sześciennym.
- Pomiar spektrometryczny – pomiar rozkładu energii promieniowania gamma emitowanej przez daną substancję w celu wykrycia zawartych w niej izotopów (pomiar ilościowy i/lub jakościowy)
- Cs-137 – Izotop cezu
- Sr-90 – Izotop strontu
- Be-7 – Izotop berylu
- Ra-226 – Izotop radu
- Ac-228 – Izotopu aktynu
- K-40 – Izotop potasu
- U-233, U-238 – Izotopy uranu
- Th-232 – Izotop toru
- Pu-239- Izotop plutonu
- Rn-222 – Izotopu radonu
- H-3, Tryt – Izotop wodoru
- C-14 – Izotop węgla

## I. Radioaktywność naturalna w środowisku - wprowadzenie

W naszym życiu mamy styczność z promieniotwórczością naturalną oraz sztuczną wytworzoną przez człowieka i wprowadzoną do środowiska. Trzeba zaznaczyć, że promieniotwórczość jest nieodłącznym składnikiem naszego życia i środowiska. Pochodzenie promieniotwórczości naturalnej jest związane z oddziaływaniem promieni kosmicznych na jądra atomów gazów w atmosferze oraz z radioizotopami znajdującymi się w skorupie ziemskiej i glebie. W wyniku oddziaływania promieni kosmicznych na jądra atmosferycznego azotu, tlenu i argonu powstają nowe izotopy radioaktywne.

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

Stacje Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu badawczego<sup>6</sup> działają w służbie pomiarów skażeń promieniotwórczych już od ponad 50 lat.

Stacje IMGW prowadzące pomiar poziomu radioaktywności w przyziemnej warstwie powietrza zlokalizowane są obecnie w Warszawie, Gdyni, Mikołajkach, Gorzowie Wlkp., Poznaniu, Świnoujściu, Legnicy, Włodawie, Zakopanem oraz w Lesku.

Przedstawmy teraz w postaci skondensowanej uzyskane w roku 2011 wyniki dla całej sieci pomiarowej wraz z interpretacją wyników oraz odniesieniem ich do poprzednich lat:

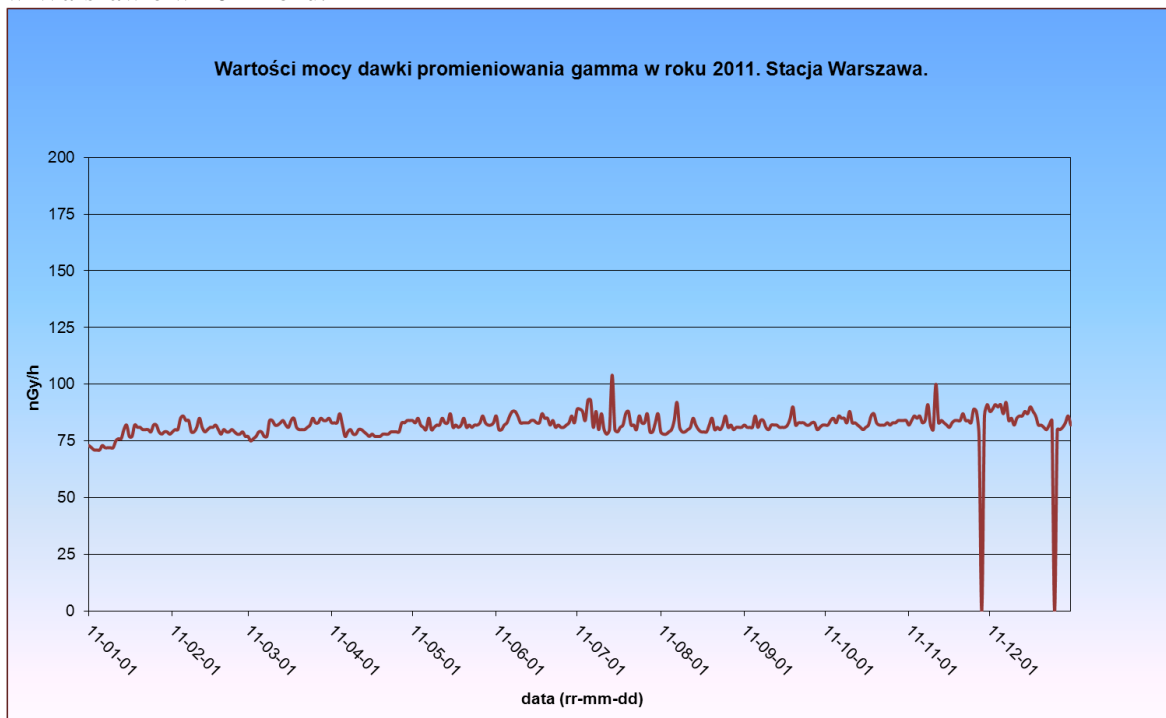
Lp.	Rodzaj pomiaru	Opis pomiaru	Średnie roczna wartość w roku 2011	Zakresy średnich rocznych w latach 2000-2010	Interpretacja wyników
1.	<b>Pomiar beta opadu całkowitego dobowego</b>	Pomiar polega na wystawianiu na czas 24 godzin kuwet z wodą destylowaną. Następnie woda jest parowana na bibule i spalana. Mierzona jest aktywność otrzymanego popiołu. Średnia sumaryczna roczna aktywność beta opadu całkowitego (suma aktywności 365 próbek w ciągu roku):	<b>334 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>300-340 Bq/m<sup>2</sup></b>	Wyniki na poziomie tła. Nie stwierdzono skażeń.
2.	<b>Pomiar beta opadu całkowitego miesięcznego</b>	Pomiar polega na wystawianiu kuwet z wodą destylowaną na okres 1 miesiąca. Następnie woda jest parowana na bibule i spalana. Mierzona jest aktywność otrzymanego popiołu.	<b>8,0 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>6,0 – 8,2 Bq/m<sup>2</sup></b>	Wyniki na poziomie tła. Nie stwierdzono skażeń.
3.	<b>Wyniki pomiarów radionuklidów</b>	Pomiar radionuklidów naturalnych i sztucznych	<b>Ac-228 – 0,194 Ra-226 – 0,659</b>	<b>Ac-228: 0,194 – 0,676</b>	Wyniki na poziomie tła.

<sup>6</sup> <http://www.imgw.pl> <http://pogodynka.pl>

	<b>naturalnych w opadzie całkowitym</b>	polega na analizie spektrometrycznej zbiorczych próbek opadu miesięcznego w poszczególnych miesiącach. Średnie sumaryczne roczne aktywności radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym, mierzone metodami spektrometrycznymi.	<b>Be-7 – 518 K-40 – 17 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>Ra-226: 0,814 – 2,974 Be-7: 440-1030 K-40: 15-20 Bq/m<sup>2</sup></b>	Radionuklidy naturalnie występujące
4.	<b>Wyniki pomiarów mocy dawki promieniowania gamma</b>	Pomiar jest dokonywany za pomocą sondy pomiarowej umiejscowionej ok. 1 metra nad ziemią.	<b>93,3 nGy/h</b>	<b>97,7 - 89,6 nGy/h</b>	Wyniki na poziomie tła. Nie stwierdzono skażeń.
	<b>Wyniki pomiarów promieniowania aerozoli alfa naturalnych w powietrzu</b>	Pomiar aerozoli sztucznych i naturalnych jest dokonywany za pomocą urządzeń zasysających powietrze na specjalny filtr. Następnie detektor półprzewodnikowy mierzy radioaktywność cząstek osadzonych na filtrze.	<b>7,5 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>7,7 - 8,6 Bq/m<sup>3</sup></b>	Wyniki na poziomie tła. Nie stwierdzono skażeń.

Zmienność uzyskanych wartości promieniowania naturalnego wynika z procesów krążenia izotopów naturalnych w środowisku. Uzyskane wartości promieniowania są na poziomie naturalnego tła notowanego w poprzednich latach.

Poniżej przedstawiono wykres dla pomiarów mocy dawki promieniowania gamma uzyskanej w Warszawie w 2011 roku.



## II. Radioaktywność sztuczna w środowisku – wprowadzenie

Sztuczne skażenie promieniotwórcze atmosfery powstaje w wyniku działalności człowieka w wielu obszarach działalności technicznej (medycznej, energetycznej etc.) Może również być efektem awarii reaktora jądrowego. Wybuchy jądrowe przeprowadzane w powietrzu w drugiej połowie XX wieku również miały istotny wkład w skażenie środowiska.

Więcej informacji o poziomach promieniotwórczości zmierzonych na obszarze kraju znajduje się w Raporcie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki pt. „OCENA STANU BEZPIECZEŃSTWA JĄDROWEGO I OCHRONY RADIOLOGICZNEJ W POLSCE W 2011 ROKU”.<sup>7</sup>

### 1. Wyniki pomiarów radionuklidów sztucznych w opadzie całkowitym.

Izotopy Cs-137, Cs-134 oraz Sr-90 są pozostałością eksperymentów jądrowych na powierzchni ziemi jak również pozostałością awarii w Czarnobylu jak oraz w Elektrowni Jądrowej Fukushima.

Sumy roczne aktywności radionuklidów sztucznych w opadzie całkowitym w roku 2011.

Cs-137	Cs-134	Sr-90
1,067 Bq/m <sup>2</sup>	0,492 Bq/m <sup>2</sup>	0,176 Bq/m <sup>2</sup>

### 2. Wyniki pomiarów promieniowania aerozoli alfa i beta sztucznych w powietrzu

Średnia wartość aktywności aerozoli alfa i beta sztucznych dla całej sieci stacji w 2011 r. wyniosła:

Alfa sztuczne	Beta sztuczne
0,39 Bq/m <sup>3</sup>	0,81 Bq/m <sup>3</sup>

### 3. Interpretacja wyników oraz odniesienie ich do poprzednich lat, określenie zmian

Dla porównania z pomiarami w roku 2011 przedstawimy zakresy sum roczne w pomiarach w latach 2000-2010 w pomiarach radionuklidów sztucznych w zbiorczym opadzie całkowitym:

Cs-137	Cs-134	Sr-90
0,389 - 1,067 Bq/m <sup>2</sup>	0 Bq/m <sup>2</sup>	0,492 Bq/m <sup>2</sup>

Największe wartości izotopów Cs-zmierzono w roku 2011. Przyczyną tego zjawiska było pojawienie się w atmosferze produktów rozszczepienia pochodzących z Japonii. W przypadku izotopu Cs-134, jego wartości uzyskane przed 2010 rokiem były w granicach błędu pomiarowego dlatego też nie są miarodajne i zostały odrzucone. Przyczyną pojawienia się izotopu Cs-134 w roku 2011 była również awaria Elektrowni Atomowej w Japonii.

Przejdźmy do przedstawienia zakresu wartości aktywności promieniowania aerozoli alfa i beta sztucznych zmierzonych w latach 2005-2010:

Alfa sztuczne	Beta sztuczne
0,20-0,41 Bq/m <sup>3</sup>	0,37-0,81 Bq/m <sup>3</sup>

Porównując wartości z roku 2011 na tle lat 2005-2011 można się zauważyć, że są to bardzo małe wartości oraz na poziomie zmierzonych w poprzednich latach.

<sup>7</sup> <http://www.paa.gov.pl>

### III. Meteorologia a radioaktywność powietrza

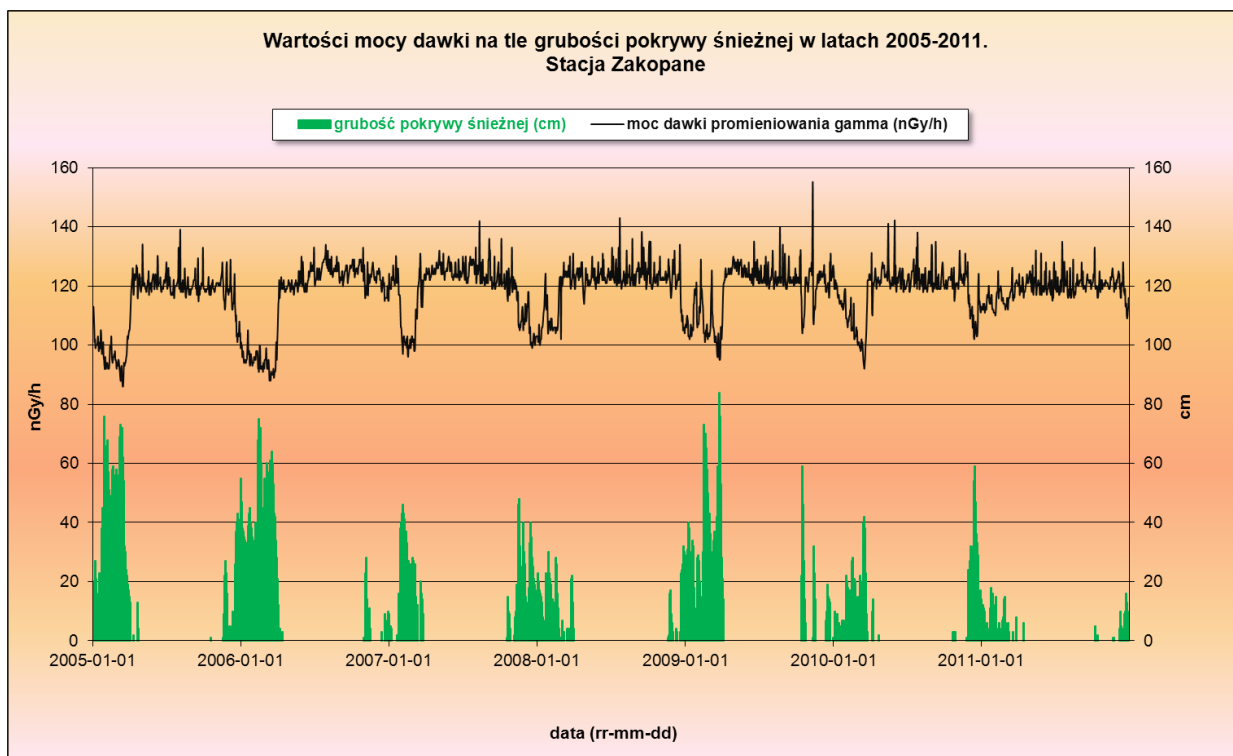
#### 1. Związki parametrów meteorologicznych i wartości promieniowania gamma oraz radioaktywności aerozoli powietrza

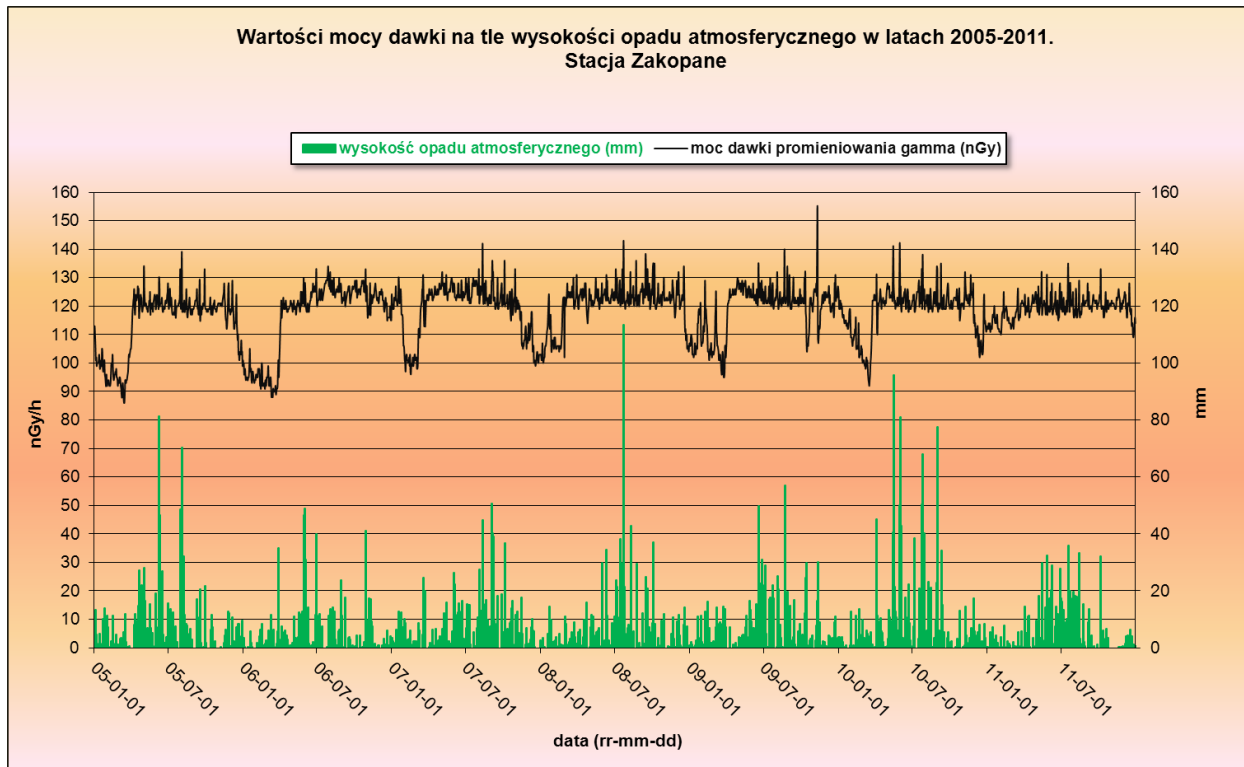
Opad deszczu skutkuje zwiększeniem mierzonych wartości mocy dawki promieniowania gamma. Przyczyną tego jest usuwanie przez deszcz cząstek radioaktywnych z powietrza na powierzchnię ziemi. Z kolei opad śniegu zmniejsza wartości mierzonej mocy dawki. Chodzi mianowicie o to, że warstwa śniegu ekranuje promieniowanie gamma pochodzące z powierzchni ziemi.

Natomiast opad deszczu zmniejsza mierzone wartości alfa naturalnego. Spowodowane jest to usunięciem z powietrza cząstek alfa naturalnych. Z kolei opad śniegu powoduje zwiększenie mierzonych wartości aktywności aerozoli alfa naturalnych. Najprawdopodobniej przyczyną jest zgęszczenie cząstek alfa w przyziemnej warstwie atmosfery.

Trzeba zaznaczyć, że zmian ww. parametrów radiologicznych nie możemy tylko wiązać z opadem deszczu i śniegu. Dodatkowe elementy wpływające na wzrost lub osłabienie to: temperatura powietrza, pora roku a także nasłonecznienie.

#### 2. Przykładowe wykresy nałożonych na siebie odpowiednich parametrów meteorologicznych (śniegu oraz deszczu) oraz radiologicznych zmierzonych w latach 2005-2011 na stacji Zakopane na tej i kolejnej stronie.





#### IV. Wnioski

- Zmierzone w roku 2011 wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu były na poziomie tła i w zakresie notowanym w poprzednich latach.
- Zmierzone w roku 2011 wartości aktywności opadu całkowitego dobowego i miesięcznego były również na poziomie tła i w zakresie notowanym w poprzednich latach.
- Zmierzone w roku 2011 wartości aktywności alfa i beta aerozoli w powietrzu były również na poziomie tła i w zakresie notowanym w poprzednich latach.
- Średni poziom mocy dawki promieniowania gamma jest zróżnicowany w zależności o położenia geologicznego. Największe wartości zanotowano w Zakopanym i Lesku z racji skalistego podłoża i otoczenia, które jest źródłem naturalnych izotopów w większym stężeniu niż sama tylko warstwa gleby
- Stwierdzono związki pomiędzy wartościami promieniowania alfa i gamma a parametrami meteorologicznymi. Opad deszczu zwiększa mierzone wartości mocy dawki promieniowania gamma a zmniejsza radioaktywność aerozoli alfa w powietrzu. Opad śniegu zmniejsza wartości mocy dawki promieniowania oraz zwiększa radioaktywność aerozoli w powietrzu.
- Zaobserwowano wpływ awarii Elektrowni Jądrowej w Japonii w 2011 roku na obecne wyniki pomiarów spektrometrycznych i radiochemicznych zbiorczych próbek opadu całkowitego miesięcznego. Wpływ ten jest jednak teraz bardzo niski a możliwość jego obserwacji wynika z zastosowania bardzo czułych metod pomiarowych.
- Uzyskane wyniki pomiarów w roku 2011 świadczą o tym, że poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery nie odbiega od poziomu, który był zmierzony w poprzednich latach.