

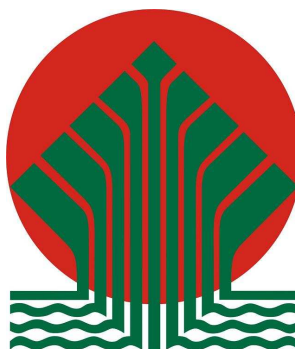


INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
CENTRUM MONITORINGU KLIMATU POLSKI



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

## ETAP I RAPORT PRZEDSTAWIAJĄCY WYNIKI ZA ROK 2010



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 Tamara Zalewska  
Mgr inż. Hubert Karpiński  
Zbigniew Dmitruk

WARSZAWA 2011

## **Spis treści:**

### **Część I**

1. Wstęp – cel i zakres pracy. – str. 4.
2. Metodyka badań prowadzonych na stacjach wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych. – str. 5.
  - 2.1. Pobór próbek. – str. 5.
  - 2.2. Metody analityczne wraz z opisem systemu zapewniania jakości pomiarów. - str. 11.
3. Wyniki. – str. 17.
4. Omówienie wyników. – str. 20.
  - 4.1. Mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu. – str. 20.
    - 4.1.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010.
    - 4.1.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.
  - 4.2. Radioaktywności próbek aerozoli powietrza alfa naturalna i sztuczna oraz beta sztuczna – str. 35.
    - 4.2.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010.
    - 4.2.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.
  - 4.3. Globalna aktywności beta opadu całkowitego i atmosferycznego. – str. 50.
    - 4.3.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010.
    - 4.3.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.
  - 4.4. Aktywność Cs-137 i wybranych sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego. – str. 63.
    - 4.4.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010.
    - 4.4.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.
  - 4.5. Aktywność Sr-90 w zbiorczych próbach miesięcznego opadu całkowitego. – str. 67.
    - 4.5.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010.
    - 4.5.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.
  - 4.6. Aktywność izotopów naturalnych (Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40) w zbiorczych próbach miesięcznego opadu całkowitego. – str. 69.
    - 4.6.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010.
    - 4.6.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów.
5. Wnioski. – str. 73.
6. Podsumowanie. – str. 74.

## **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 76-84.

Słowo wstępne.

Słownik użytych pojęć i terminów.

I. Radioaktywność naturalna w środowisku – wprowadzenie.

1. Wyniki pomiarów beta w opadzie całkowitym.
2. Wyniki pomiarów radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym.
3. Wyniki pomiarów mocy dawki promieniowania gamma.
4. Wyniki pomiarów promieniowania aerozoli alfa naturalnych w powietrzu.
5. Interpretacja wyników oraz odniesienie ich do poprzednich lat.

II. Radioaktywność sztuczna w środowisku – wprowadzenie.

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. – str. 82.

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. – str. 83.

## **1. Wstęp - Cel i zakres pracy**

Pomiary radioaktywności w powietrzu prowadzone przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej 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 realizując podpisaną z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska umowę pt.: „Wykonywanie pomiarów w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych w latach 2011 – 2012.” wykonuje następujące zadania: Pomiary promieniowania gamma w powietrzu przy powierzchni ziemi oraz pomiary radioaktywności próbek aerozoli powietrza i opadu całkowitego prowadzone w okresie od 1 marca 2011 r. do 31 maja 2013 r. Stacje IMGW prowadzące pomiary to Warszawa, Gdynia, Włodawa, Świnoujście, Gorzów Wlkp., Poznań, Lesko, Zakopane, Legnica i Mikołajki z taką uwagą, że z racji uzupełniającego się programu pomiarowego stacja Gorzów Wlkp. oraz Poznań są traktowane jako jedna stacja.

Powyższy 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 w 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 w 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 próbach miesięcznego opadu całkowitego.

W kolejnych rozdziałach jest przedstawiona analiza uzyskanych wyników w roku 2010 w tym także analiza na tle wielolecia. Zaprezentowano również wyniki w postaci graficznej i tabel ze średnimi miesięcznymi wartościami.

---

<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 próbek

Wg Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r (Dz.U. Nr 239 poz. 2030) oraz w ramach umowy z GIOŚ, zakres zadań prowadzonych w związku z monitoringiem na stacjach na stacjach wczesnego wykrywania skażeń pobór próbek obejmuje:

- a) pomiar opadu całkowitego dobowego, gdzie pobór próbek polega na zbieraniu opadu do kuwety o powierzchni 1500 cm<sup>2</sup> napełnionej warstwą wody o grubości 1 cm wystawionych na powietrzu na czas 24 godzin, od godziny 6 UTC.
- b) pomiar opadu całkowitego miesięcznego, gdzie pobór próbek polega na zbieraniu opadu do trzech kuwet o łącznej powierzchni 4500 cm<sup>2</sup> wystawionych na powietrzu na czas jednego miesiąca, od dnia pierwszego danego miesiąca.
- c) pomiar radioaktywności aerozoli powietrza, gdzie pobór próbek odbywa się poprzez zasysanie powietrza przez filtr w cyklach pół godzinnych, poczym detektor umieszczony nad filtrem mierzy radioaktywność alfa i beta zebranych w ten sposób aerozoli.
- d) spektrometryczny pomiar izotopów naturalnych i sztucznych, gdzie odparowana na bibule i spopielona próbka opadu całkowitego miesięcznego jest w postaci popiołu (próbka spektrometryczna) umieszczana w zamkniętym pojemniczku na detektorze germanowym i mierzona
- e) radiochemiczny pomiar, gdzie po zmierzeniu na detektorze germanowym, próbka spektrometryczna jest poddawana procesom chemicznym i mierzona pod kątem zawartości izotopu strontu 90.

### 2.2. Metody analityczne 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 zadanego 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. Pomiary 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 filtru 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. Pomiary 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 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 wyznaczenie ich aktywności.

Współczynniki wydajności urządzenia dla promieniowania alfa i beta są wyznaczone 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 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 oznaczyć 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 ( $A_{a nat}$ ) i beta ( $A_{b nat}$ ) promieniotwórczych i tak :

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

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

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

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

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



### 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. Bez względu na wyniki 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.

Pobieranie próbki dobowego opadu całkowitego polega na zbieraniu do naczynia plastikowego o powierzchni zbierającej 1500 cm<sup>2</sup> opadów atmosferycznych łącznie z opadami suchymi. Powierzchnia zbierania dla próbek miesięcznego opadu całkowitego jest trzykrotnie większa (zbieranie do trzech identycznych kuwet plastikowych). W okresach bezdeszczowych dno naczyń zbierających pokrywa się 2 cm warstwą wody destylowanej. Warstwa wody pokrywająca dno zapobiega wywiewaniu zanieczyszczeń z naczynia.

Na naczynie zbierające nakłada się ramkę osłonową określającą powierzchnię zbierania (0,15 ± 0,01) m<sup>2</sup> oraz siatkę osłonową chroniącą naczynie przed zanieczyszczeniem przez ptaki w okresie letnim.

Czas ekspozycji naczyń zbierających wynosi dla opadu dobowego od 6<sup>00</sup> do 6<sup>00</sup> UTC następnego dnia, zaś dla miesięcznego całkowitą liczbę dni danego miesiąca z tym, że wymiana następuje pierwszego dnia każdego 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 samoabsorbpcji.

Pomiary aktywności prób opadu całkowitego wykonywane są na komputerowych zestawach pomiarowych ze sondą pomiarową typu 51Y1SPFM z przedwzmacniaczem AS-17 lub na 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,

$N_t$  - liczba imp/min pomiaru tła,

S – powierzchnia zbierająca naczyń

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,

$T_t$  – czas pomiaru tła,

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

## Radiochemiczne oznaczanie Sr-90 w opadzie całkowitym

### Stosowane odczynniki:

- Stosowane roztwory:
  - Kwas szczawiowy 8% –  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (106,7 g  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  rozpuścić w 920 ml wody destylowanej)
  - Kwas szczawiowy nasycony (ok.120 g  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  rozpuścić w 100 ml wody destylowanej)
  - Octan amonu  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (263 g  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  rozpuścić w 1 l wody destylowanej)
  - Chromian sodowy  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  (70,2 g  $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  rozpuścić w 1 l wody destylowanej)
  - Kwas octowy  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (340 ml kwasu octowego o gęstości  $1,06 \text{ g cm}^{-3}$  rozcieńczyć wodą destylowaną do 1l)
  - Kwas azotowy  $\text{HNO}_3$  1:1 ( 1 obj.  $\text{HNO}_3$  o gęstości  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  zmieszać z 1 obj. wody destylowanej)
  - Woda amoniakalna  $\text{NH}_4\text{OH}$  25 %
- Nośniki
  - Nośnik baru  $\text{BaCl}_2$  – roztwór wodny zawierający 20mg Ba/1ml roztworu
  - Nośnik strontu  $\text{SrCl}_2$  – roztwór wodny zawierający 20mg Sr/1ml roztworu
  - Nośnik itru  $\text{YCl}_3$  – roztwór wodny zawierający 20mg Y/1ml roztworu
- Wskaźniki
  - Zielen bromokrezolowa
  - Czerwień metylowa

### ETAP I – Chemiczne oczyszczanie próbki

1. Przeprowadzenie izotopu  $^{90}\text{Sr}$  z próby opadu do roztworu  
Próbę opadu miesięcznego o znanej masie umieszcza się w zlewce, zwilża wodą destylowaną i dodaje ok. 200 ml kwasu azotowego  $\text{HNO}_3$  (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 przesączu 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.  $80^\circ\text{C}$  w celu całkowitego wytrącenia osadu. Po opadnięciu osadu roztwór dekantuje się z nad osadu szczawianów.
  - Osad szczawianów rozpuszcza się w roztworze (1:1)  $\text{HNO}_3$  (na początku dodajemy kilka mililitrów kwasu, następnie dozujemy kwas kroplami aż do całkowitego rozpuszczenia osadu).
  - Powtórne wytrącanie szczawianów przebiega w sposób analogiczny do pierwotnego ( do roztworu dodajemy kroplami stężony amoniak do uzyskania pH 4-4,5 i wytrącenia osadu, następnie całość podgrzewamy do  $80^\circ\text{C}$ ). 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  $650 - 700^\circ\text{C}$ . Następnie tygiel wyjmuje się z pieca i studzi.
4. Rozpuszczanie popiołu.

Osad w tyglu zwilża się wodą destylowaną, dodaje kilka mililitrów  $\text{HNO}_3$  (1:1) aż do całkowitego rozpuszczenia osadu. Roztwór z tygla przenosi się ilościowo do zlewki i uzupełnia wodą destylowaną do uzyskania objętości ok. 70 ml.

5. Wytrącanie chromianu baru.

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

6. Wytrącanie wodorotlenku itru.

Do roztworu pozostałego po oddzieleniu chromianu baru dodaje się 1 ml nośnika itru. Roztwór ogrzewa się w temp. ok.  $90^\circ\text{C}$ . Po ostudzeniu dodajemy amoniak do uzyskania pH 8 i wytrącenia osadu wodorotlenku itru, który oddziela się przez sączenie. Pozostały po przesączeniu roztwór zlewa się do butelki polietylenowej, dodaje do niego  $\text{HNO}_3$  (1:1) do uzyskania pH 2-3 i 1 ml nośnika itru. Tak przygotowaną próbę pozostawia się przez 18 dni.

ETAP II – Preparatyka próbki po osiągnięciu równowagi 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  $\text{HNO}_3$ , do wartości 2 - 3 oraz dodaje 1 ml nośnika itru. Tak przygotowany roztwór, pozostawiony na 18 dni, umożliwia powtórne przeprowadzenie analizy oraz kontrolę poprawności oznaczeń.

8. Wytrącanie szczawianów itru.

Osad wodorotlenku itru rozpuszcza się w kilku mililitrach  $\text{HNO}_3$  (1:1). Następnie dodajemy ok. 25 ml wody destylowanej, 15 – 20 kropli nasyconego roztworu kwasu szczawowego oraz amoniak do uzyskania pH 5,5 by wytrąciły się szczawiany. Roztwór ogrzewa się do temp.  $60^\circ\text{C}$  do całkowitego wytrącenia szczawianów.

9. Przygotowanie próbki do pomiarów.

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

ETAP III – Pomiar aktywności

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

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

LLD:

$$LLD = 4,66 \sqrt{\frac{N_0}{t_{pt}}} \times \frac{\eta}{S}, \text{ gdzie:}$$

LLD [Bq m<sup>-2</sup>]

Metoda oznaczania jakościowego oraz ilościowego izotopów promieniotwórczych za pomocą spektrometrii gamma w próbkach opadu całkowitego.

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 osłonnym 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:  $N_i$  – liczba zliczeń w danej linii widmowej po odjęciu tła,  
 $F(E)$  – wydajność detektora dla fotonów o energii E,  
 $p_i$  – liczba fotonów o energii E, przypadająca na jeden rozpad i-tego radionuklidu,  
 $t_p$  - 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 pikie, 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 pikie.

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 ( $1500 \text{ cm}^2$ ),  
k – liczba próbek wziętych do analizy.

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



### 3. Wyniki

Zestawienia średnich miesięcznych wartości dla poszczególnych parametrów radiologicznych uzyskanych na stacjach IMGW.

Tabela 1. Średnie miesięczne wartości mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu w 2010 roku, w nGy/h.

Lp.	Miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Stacja												
1.	001	76	72	80	84	85	84	84	83	83	82	86	77
2.	002	83	81	84	84	86	83	83	82	86	84	85	77
3.	004	95	86	98	107	107	106	111	110	107	107	108	93
4.	006	89	84	91	91	90	91	92	89	86	85	87	81
5.	007	87	83	90	90	91	88	86	86	87	88	83	79
6.	008	95	97	105	106	107	109	113	108	108	107	107	99
7.	151	66	63	68	72	68	62	66	69	67	67	68	40
8.	165	117	107	104	121	124	122	124	122	122	121	123	110
9.	166	74	67	72	74	75	65	76	75	74	73	75	71

Tabela 2. Średnie miesięczne wartości aktywności próbek aerozoli powietrza alfa naturalna w roku 2010, w Bq/m<sup>3</sup>.

Lp.	Miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Stacja												
1.	004	4,71	6,38	3,07	3,87	3,46	2,70	4,68	4,04	3,90	4,18	2,19	2,25
2.	006	3,96	4,90	10,98	16,72	25,67	30,57	28,60	0,00	27,31	41,94	20,86	1,39
3.	007	3,86	4,50	1,87	1,62	1,50	1,65	2,17	2,46	2,51	3,83	2,96	2,98
4.	008	7,76	7,96	2,85	5,25	3,14	9,13	9,15	6,31	5,85	4,66	5,67	8,52
5.	151	4,11	5,14	2,17	2,39	2,81	2,40	3,24	3,84	3,78	4,36	5,18	5,01
6.	165	12,32	10,11	5,11	6,25	5,98	5,92	7,75	7,81	7,30	10,48	9,39	10,67
7.	166	9,59	7,84	4,34	4,42	4,30	3,91	7,99	7,60	6,60	8,36	7,58	6,98

Tabela 3. Średnie miesięczne wartości aktywności próbek aerozoli powietrza alfa sztuczna w roku 2010, w Bq/m<sup>3</sup>.

Lp.	Miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Stacja												
1.	004	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,09	0,10
2.	006	0,01	0,00	0,02	0,09	0,12	0,19	0,13	0,00	0,10	0,01	0,00	0,00
3.	007	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
4.	008	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00
5.	151	0,08	0,11	0,04	0,04	0,05	0,05	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11
6.	165	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7.	166	0,10	0,08	0,04	0,04	0,04	0,00	0,05	0,11	0,10	0,12	0,10	0,08

Tabela 4. Średnie miesięczne wartości aktywności próbek aerozoli beta sztuczna w roku 2010, w Bq/m<sup>3</sup>.

Lp.	Miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Stacja												
1.	004	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,29	0,55	0,69
2.	006	0,03	0,01	0,03	0,09	0,10	0,09	0,11	0,00	0,05	0,09	0,34	0,07
3.	007	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
4.	008	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,07	0,20	0,01	0,00	0,00
5.	151	0,20	0,24	0,12	0,13	0,15	0,19	0,24	0,19	0,21	0,21	0,19	0,25
6.	165	0,00	0,01	0,00	0,03	0,02	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
7.	166	0,08	0,07	0,02	0,03	0,06	0,00	0,03	0,11	0,07	0,08	0,08	0,04

Tabela 5. Średnie miesięczne wartości aktywności beta opadu całkowitego dobowego w 2010 roku, w Bq/m<sup>2</sup>.

Lp.	Miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Stacja												
1.	001	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	0,8	0,7	1,2	0,8	0,7	0,8	0,7
2.	002	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,5	1,0	1,0	0,8	0,5	0,7	0,7
3.	004	0,8	0,8	1,0	1,0	1,4	1,4	1,3	1,4	1,1	1,2	1,4	0,9
4.	006	0,7	0,6	0,5	0,7	0,9	0,8	1,1	1,2	0,9	0,7	1,1	1,0
5.	007	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,6
6.	008	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,3	1,2	1,0	0,9	1,0	1,1
7.	151	1,1	0,9	1,0	0,9	1,2	1,0	1,2	1,2	0,8	0,8	0,9	0,8
8.	165	1,0	1,2	1,1	1,3	1,8	1,6	1,5	1,6	1,4	1,2	1,4	1,4
9.	166	1,0	0,8	0,9	0,9	1,1	1,0	1,1	0,8	1,0	0,7	1,0	1,0

Tabela 6. Średnie miesięczne wartości aktywności beta opadu całkowitego atmosferycznego w 2010 roku, w mBq/l.

Lp.	Miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	Stacja												
1.	001	249	347	425	419	211	70	215	348	186	613	196	313
2.	002	441	621	637	400	284	367	206	239	216	185	180	392
3.	004	502	441	493	438	333	245	243	383	412	543	504	395
4.	006	247	233	195	320	242	256	494	296	312	243	356	343
5.	007	143	48	0	179	271	162	90	63	163	233	27	361
6.	008	335	943	617	402	366	375	402	266	284	875	376	444
7.	151	431	314	591	535	316	394	555	315	323	320	335	320
8.	165	601	591	532	286	345	255	215	312	485	729	402	401
9.	166	342	401	354	270	328	242	190	125	241	342	514	307

Tabela 7. Zestawienia wyników aktywności beta zbiorczych próbek miesięcznego opadu całkowitego zmierzonego w roku 2010, w Bq/m<sup>2</sup>.

Stacja	001	002	004	006	007	008	151	165	166
Miesiąc									
Styczeń	8	6	6	5	1	5	6	5	5
Luty	8	4	6	6	1	7	5	7	6
Marzec	7	7	9	6	2	5	6	5	8
Kwiecień	11	9	7	8	5	6	5	10	11
Maj	19	10	15	12	6	10	14	17	11
Czerwiec	10	5	15	7	7	9	12	13	11
Lipiec	10	13	13	10	5	15	8	15	9
Sierpień	16	9	15	12	2	14	15	14	11
Wrzesień	7	6	9	11	2	9	7	12	7
Październik	7	3	6	7	3	3	5	10	9
Listopad	13	6	7	11	3	10	8	10	7
Grudzień	8	5	6	7	1	7	8	9	7

Oznaczenia stacji:

001 – Warszawa,

002 – Gdynia,

004 – Mikołajki,

006 – Poznań

006 – Gorzów Wlkp.

007 – Świnoujście

008 – Legnica,

151 – Włodawa,

165 – Zakopane,

166 – Lesko.

*Wyniki pomiarów spektrometrii i radiochemii za 2010 rok podane są na stronach 63-72.*

#### 4. Omówienie wyników

##### 4.1. Mocy dawki promieniowania gamma w powietrzu

##### 4.1.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010

W roku 2010 kontynuowano pomiary mocy dawki promieniowania gamma na 9 stacjach IMGW.

W tabeli 8 pokazane są średnie roczne oraz zakresy średnich dobowych wartości mocy dawki promieniowania gamma, zmierzonych w 2010 roku.

Analiza średnich dobowych wyników pomiarów mocy dawki w okresie 12 miesięcy tj. od 01-01-2010 r. do 31-12-2010 r. pokazuje, że na sieci stacji wartości te wahają się w granicach od 53 do 142 nGy/h, minimalną wartość zmierzono we Włodawie a maksymalną w Zakopanem, najbliższej wartości średniej rocznej jest Gorzów Wlkp. (101 nGy/h) a najdalej Zakopane (142 nGy/h). Średnia roczna dla sieci stacji dla 12 miesięcy wynosi 89,6 nGy/h.

Są to wartości na poziomie tła pomiarowego.

Zróznicowanie wartości średnich rocznych mocy dawki dla każdej stacji, wynika głównie z ich położenia geograficznego i tak Zakopane ma największy poziom promieniowania z racji skalistego podłoża i otoczenia. Warto, zauważyć, że mierzone wartości mocy dawki promieniowania gamma są tzw. promieniowaniem tła tzn. promieniowaniem pochodzenia naturalnego.

W celu wizualnej oceny zmienności mocy dawki promieniowania gamma w okresie ostatnich 6 lat, warto zwrócić uwagę na wykresy znajdujące się na stronach 23-29.

Natomiast graficzne przedstawienie wyników tylko z roku 2010 znajduje się na stronach 30-34.

Tabela 8. Wartość mocy dawki promieniowania gamma w nGy/h zmierzona na stacjach wykrywania skażeń IMGW.

Stacja	Wartość minimalna roczna	Wartość maksymalna roczna	Wartość średnia roczna
Warszawa	69	101	81,3
Gdynia	70	110	83,1
Mikołajki	83	122	103,1
Gorzów Wlkp.	72	101	<b>88,1</b>
Świnoujście	73	95	86,5
Legnica	90	140	105,1
Włodawa	53	90	67,1
Zakopane	92	142	118,2
Lesko	63	102	73,7
Wartość minimalna	<b>53</b>		
Wartość maksymalna		<b>142</b>	
Wartość średnia			<b>89,6</b>

*Aby się przekonać jak małe są uzyskane wartości obliczmy wkład naturalnego promieniowania gamma do całkowitej dawki, którą otrzymuje człowiek w ciągu roku. Policzmy roczną moc dawki pochodzącą tylko z promieniowania gamma: Średnia moc dawki w roku 2010 wynosiła ok. 90 nGy/h. Przemnażamy ją przez ilość godzin w roku, czyli 8760 h. Otrzymujemy wartość pochłoniętej rocznej mocy dawki:  $8760 \text{ h} \times 90 \text{ nGy/h} = 0,8 \text{ mGy/rok}$ . Dla promieniowania gamma, możemy używać zamiennie jednostek Sv i Gy, czyli otrzymujemy **0,8 mSv/rok**. Natomiast całkowita dawka roczna pochodząca od źródeł naturalnych i sztucznych **3,2 mSv/rok**<sup>2</sup>. Z powyższego wyliczenia wynika, że promieniowanie gamma odpowiada tylko za jedną czwartą całej dawki, jaką otrzymuje człowiek w ciągu roku ze źródeł sztucznych i naturalnych.*

<sup>2</sup> Źródło: Raport Prezesa PAA o stanie środowiska za 2009 r. <http://www.paa.gov.pl>

#### 4.1.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Analizując średnie roczne wartości mocy dawki na tle sześćciolecia, czyli od roku 2005 do 2010, można się przekonać, że średnia roczna dla roku 2010 jest najniższą średnią w tym zakresie lat. Wartości zmierzone w roku 2010 mieściły się ramach tła pomiarowego.

Poniżej zamieszczono tabelę nr 9 przedstawiającą moc dawki w okresie ostatnich 6 lat.

Tabela 9. Wartość średniej rocznej mocy dawki promieniowania gamma w nGy/h zmierzona na stacjach wykrywania skażeń IMGW w latach 2005 - 2010.

Rok	Średnia roczna
2005	97,2
2006	96,7
2007	96,6
2008	97,7
2009	93,1
<b>2010</b>	<b>89,6</b>
Średnia	95,1
Minimalna	89,6
Maksymalna	97,7

Analizując rysunki 1-14 przedstawiające zmierzone w ciągu ostatnich 6 lat wartości mocy dawki promieniowania gamma na tle wysokości opadu deszczu a także na tle grubości śniegu można przyjąć hipotezę o istnieniu związków pomiędzy promieniowaniem gamma a parametrami meteorologicznymi. Można to tym uzasadnić, iż zanieczyszczenia wszelkiego rodzaju (w tym i cząstki radioaktywne) obecne w różnych warstwach atmosfery przenoszone są przez opad deszczu oraz opad śniegu. Przyjmijmy, że zjawiska meteorologiczne w postaci deszczu powinny przyczyniać się do zwiększania wartości wielkość mocy dawki mierzonej przez sondę pomiarową. Spowodowane będzie to faktem wymywania przez deszcz do gleby radioaktywnych cząstek znajdujących się w powietrzu.

I odwrotnie, w wyniku opadu śniegu, przy sprzyjających warunkach, na powierzchni gleby tworzy się pokrywa śnieżna, która naturalnie ekranuje glebę, zmniejszając tym samym poziom mocy dawki promieniowania gamma wykrywany przez sondę.

W celu statystycznej weryfikacji hipotezy o związkach między wartościami mocy dawki a wysokością opadu deszczu (dobową) obliczone zostały współczynniki korelacji liniowej. Ocena została przeprowadzona dla wszystkich stacji pomiarowych.

Wartości korelacji zamieszczone są w tabelach 10 i 11.

Pomiędzy badanymi przez nas wielkościami istnieją niezerowe korelacje. Co więcej, przyglądając się dokładniej współczynnikowi korelacji można zauważyć, że nie ma on charakteru chaotycznego tylko oscyluje on w okolicach wartości 0,241. Dowodzi to po raz kolejny tezy, że opad deszczu pociąga za sobą jednoznacznie i wyraźnie wzrost mocy dawki promieniowania gamma w skali określonej przez nas współczynnikiem korelacji.

W przypadku pokrywy śnieżnej obserwujemy istnienie niezerowych korelacji. Wartość

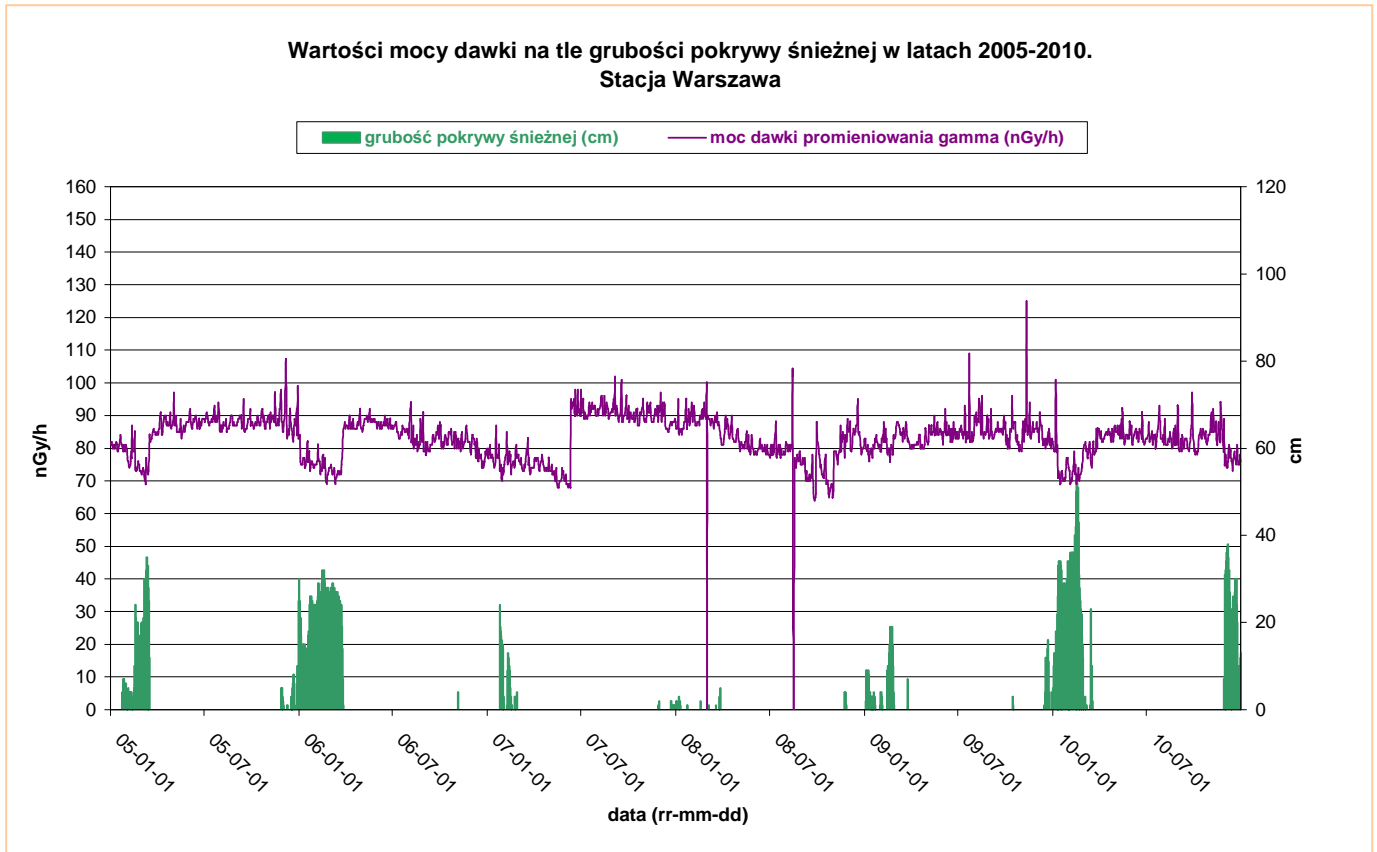
ujemna wynika z wspomnianego już ekranowania promieniowania gamma przez warstwę śniegu. Obliczona wartość średnia współczynnika tj. -0,631 pokazuje, że również w tym wypadku współczynnik nie jest przypadkowy tylko również jednoznacznie i wyraźnie wiąże się z osłabieniem mocy dawki przy pojawieniu się pokrywy śnieżnej.

Tabela 10. Korelacje pomiędzy wartościami mocy dawki promieniowania gamma a dobową sumą opadu atmosferycznego w okresie od 2005 do 2010 roku.

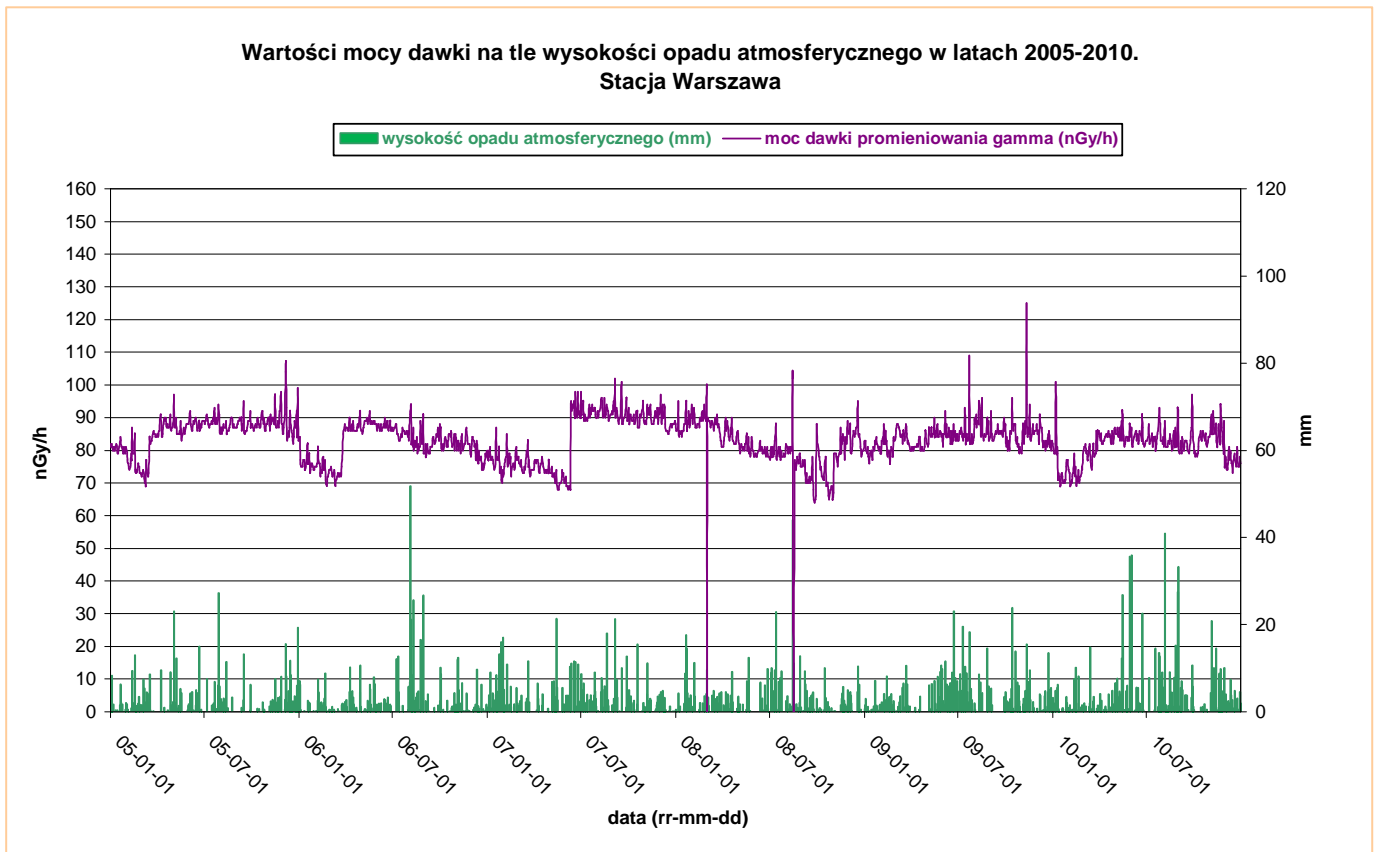
Nr stacji	Stacja	Współ Korelacji
1	Warszawa	0,325
2	Gdynia	0,192
4	Mikołajki	0,111
6	Gorzów Wlkp.	0,234
7	Świnoujście	0,225
8	Legnica	0,377
151	Włodawa	0,218
165	Zakopane	0,360
166	Lesko	0,128
	Średnia	<b>0,241</b>

Tabela 11. Korelacje pomiędzy wartościami mocy dawki promieniowania gamma a opadem śniegu w okresie od 2005 do 2010 roku.

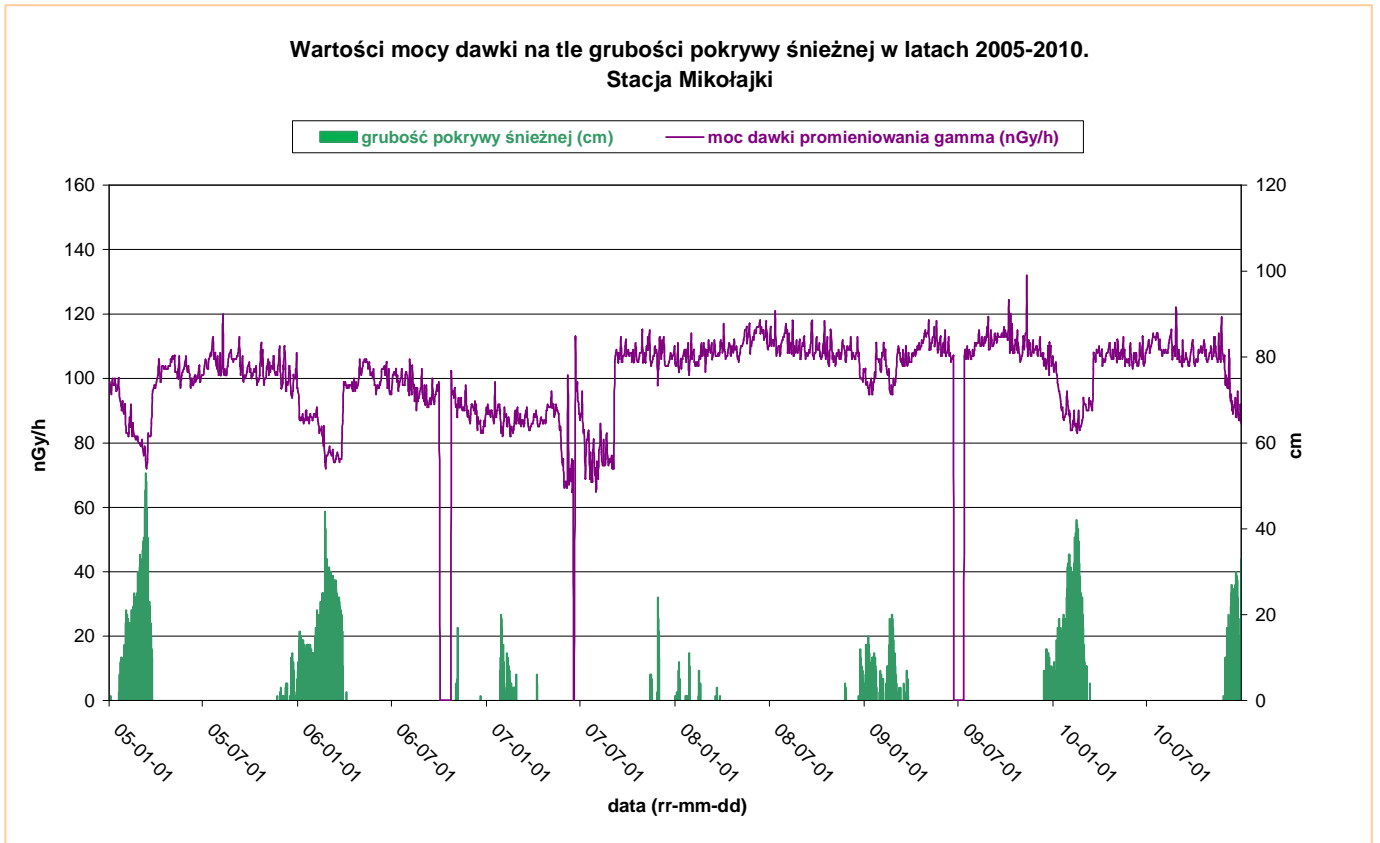
Nr stacji	Stacja	Współ Korelacji
1	Warszawa	-0,690
2	Gdynia	-0,654
4	Mikołajki	-0,716
6	Gorzów Wlkp.	-0,724
7	Świnoujście	-0,569
8	Legnica	-0,737
151	Włodawa	-0,480
165	Zakopane	-0,777
166	Lesko	-0,330
	Średnia	<b>-0,631</b>



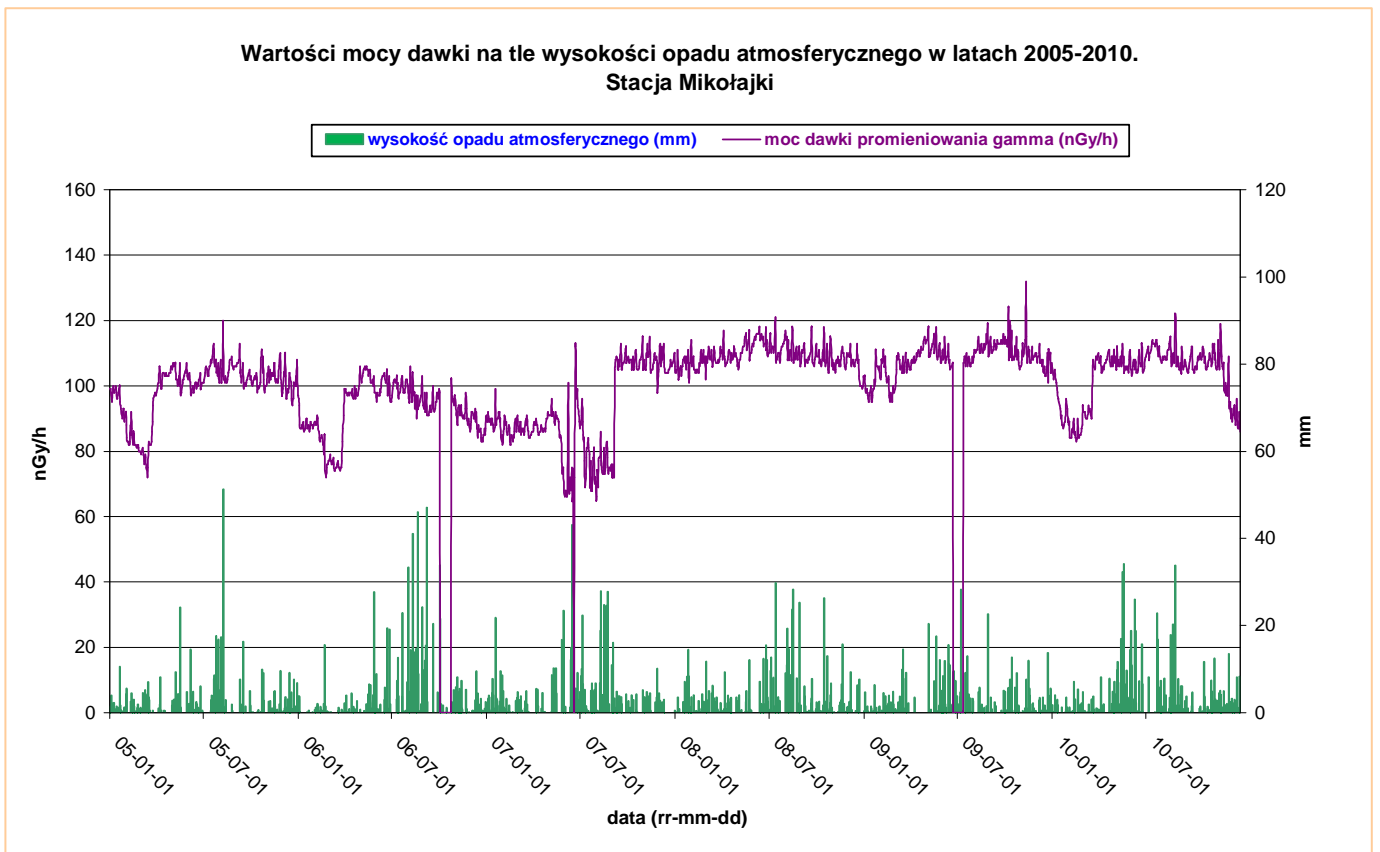
Rys. 1. Wartości mocy dawki w Warszawie na tle grubości pokrywy śnieżnej opadu w latach 2005-2010.



Rys. 2. Wartości mocy dawki w Warszawie na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.

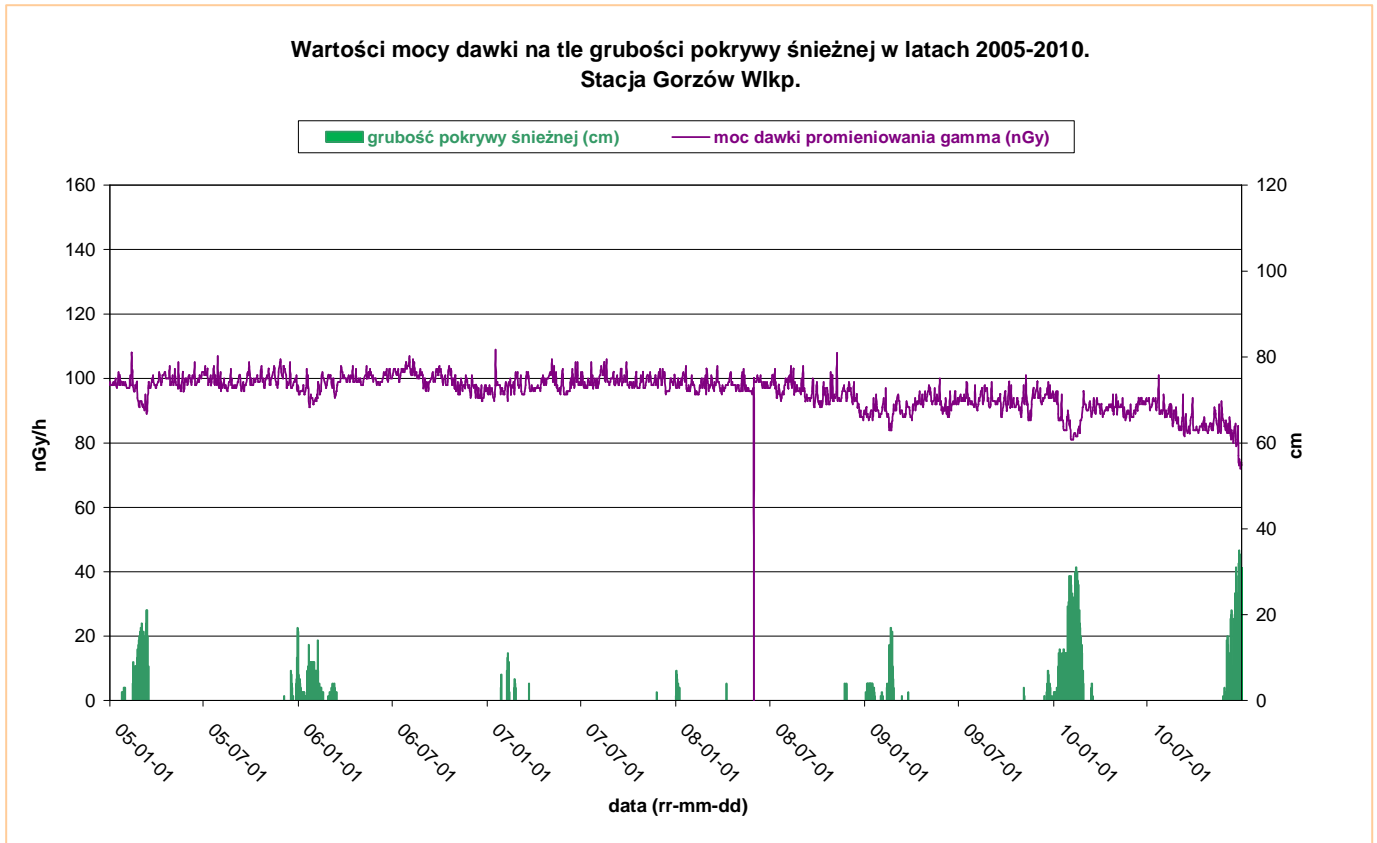


Rys. 3. Wartości mocy dawki w Mikołajkach na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010.

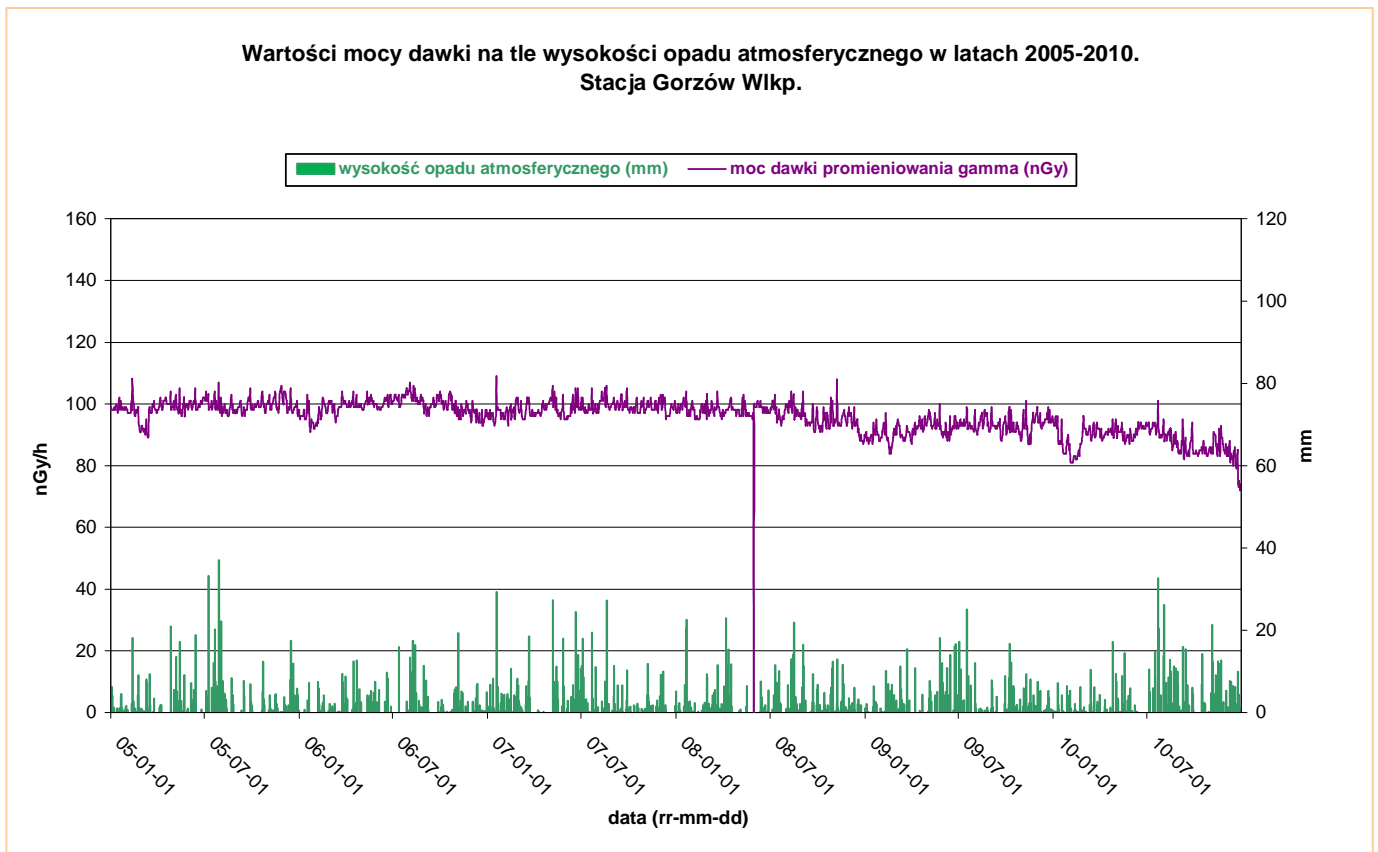


Rys. 4. Wartości mocy dawki w Mikołajkach na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.

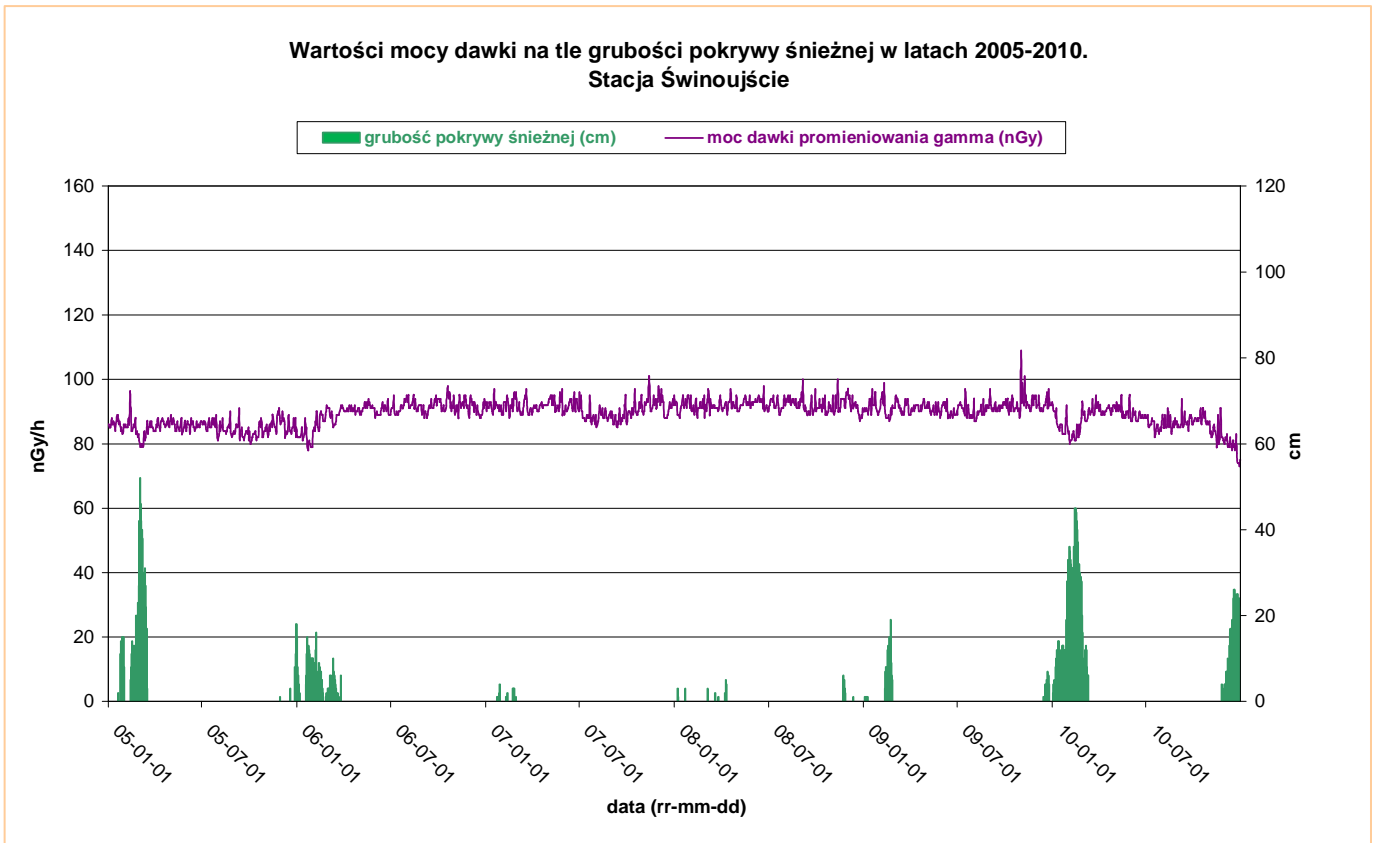




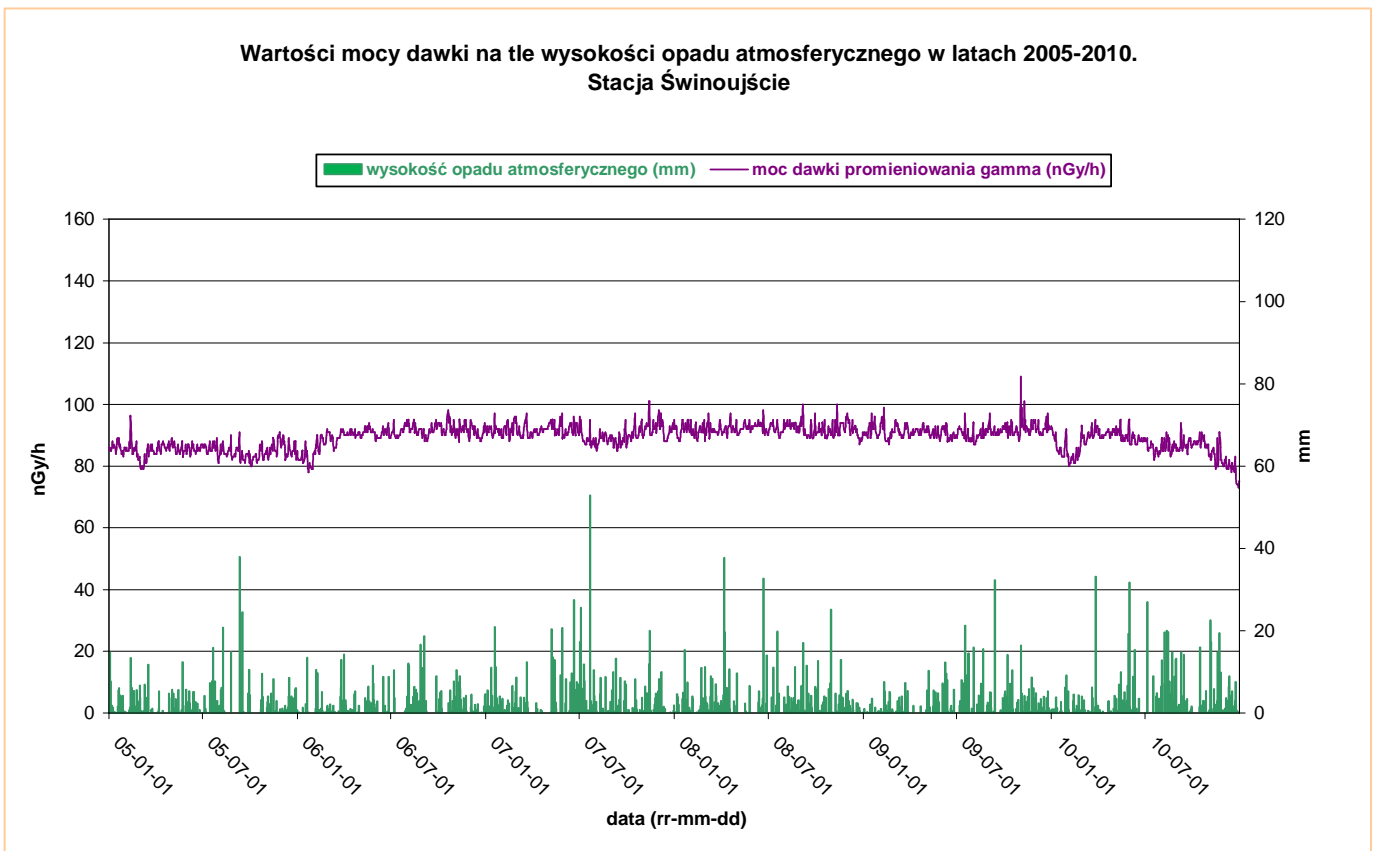
Rys. 5. Wartości mocy dawki w Gorzowie Wlkp. na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010.



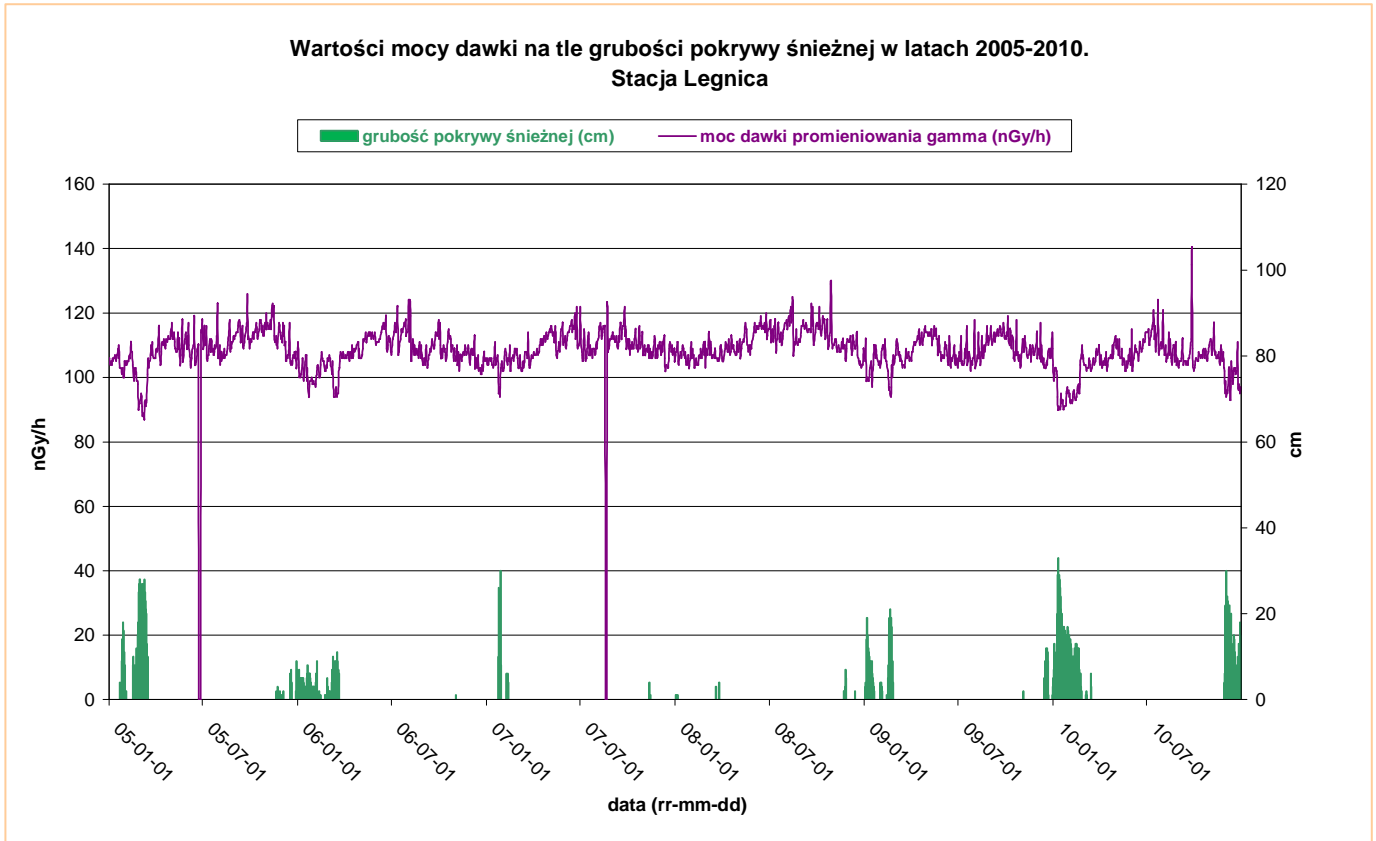
Rys. 6. Wartości mocy dawki w Gorzowie Wlkp. na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.



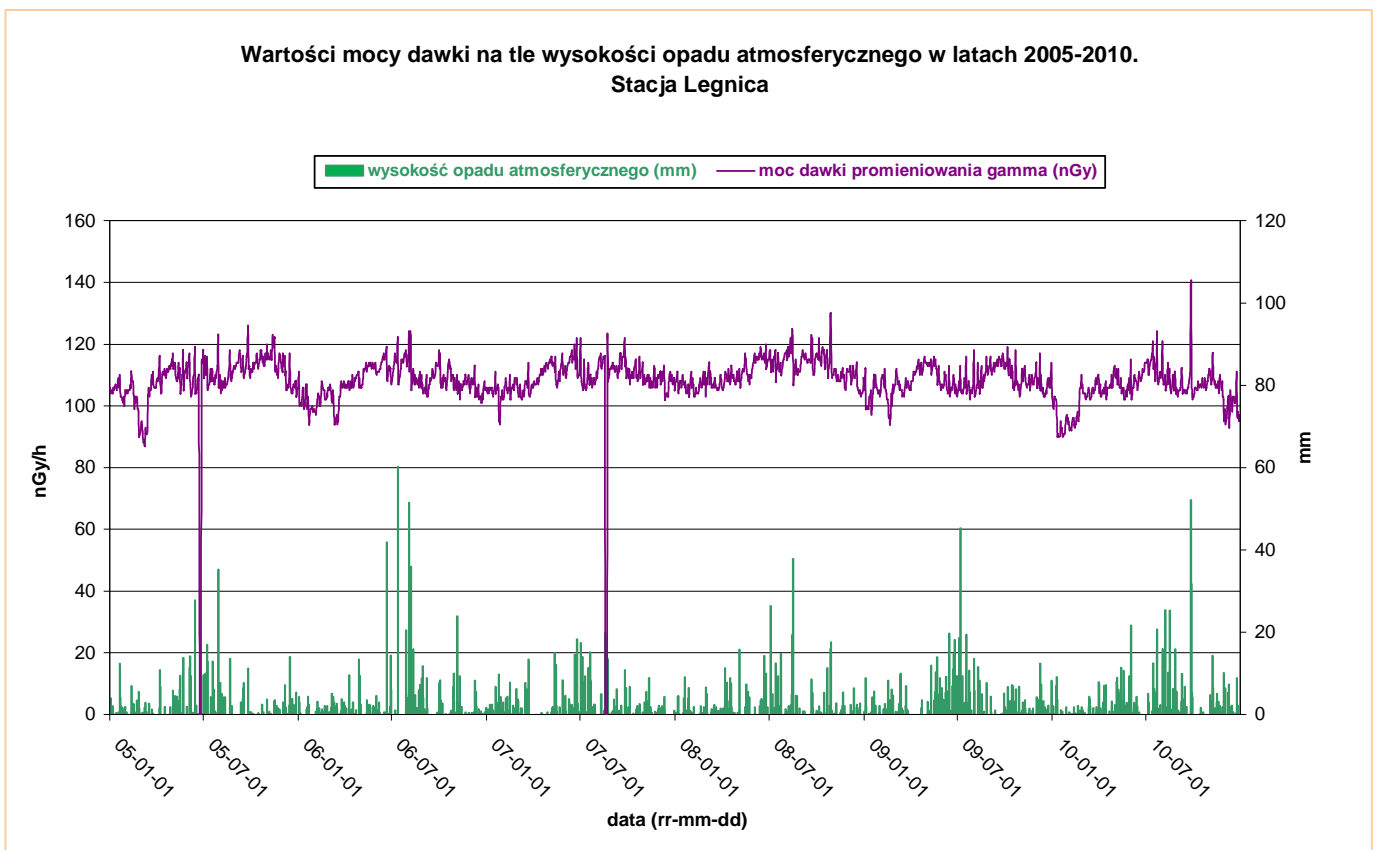
Rys. 7. Wartości mocy dawki w Świnoujściu na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010.



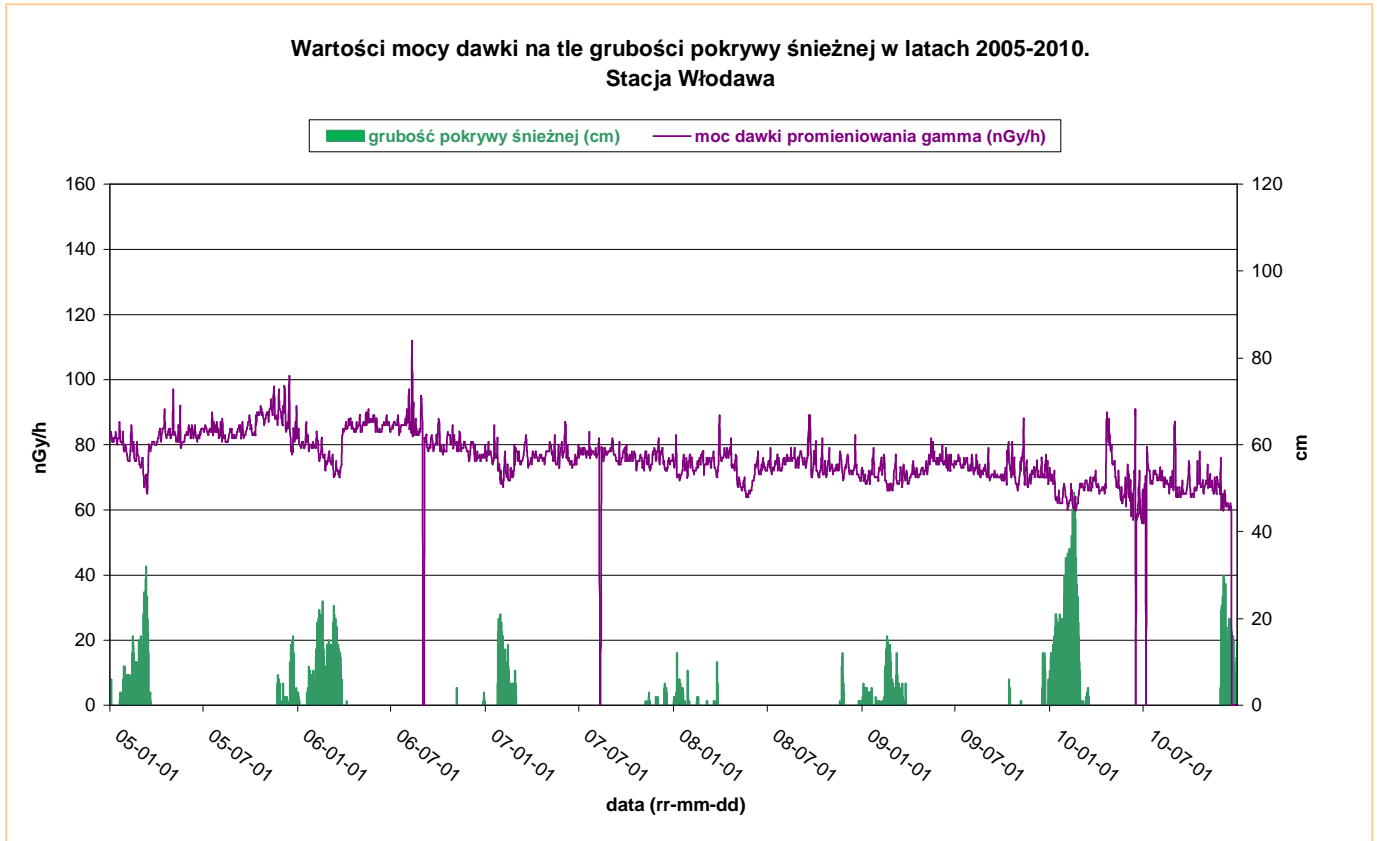
Rys. 8. Wartości mocy dawki w Świnoujściu na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.



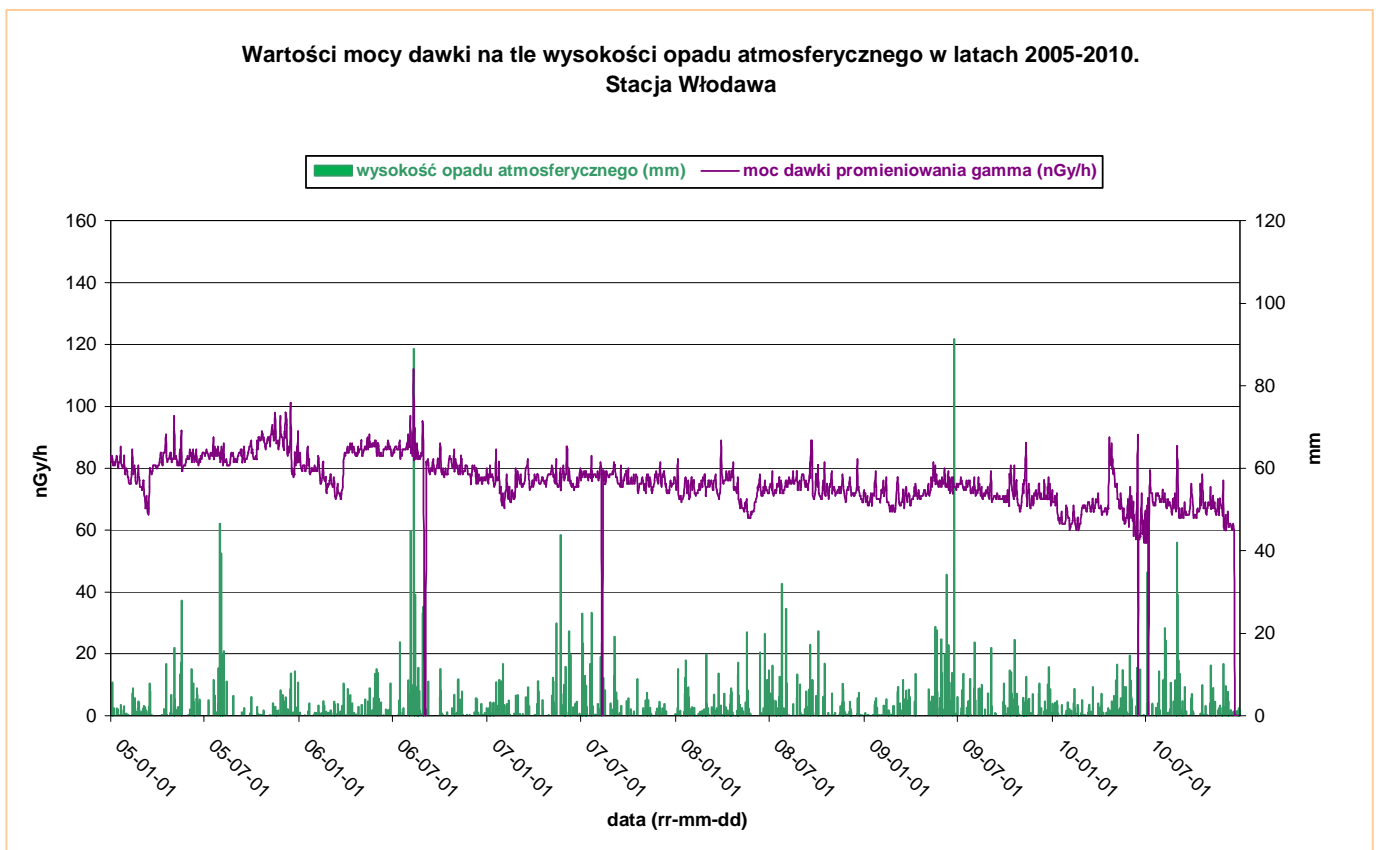
Rys. 9. Wartości mocy dawki w Legnicy na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010.



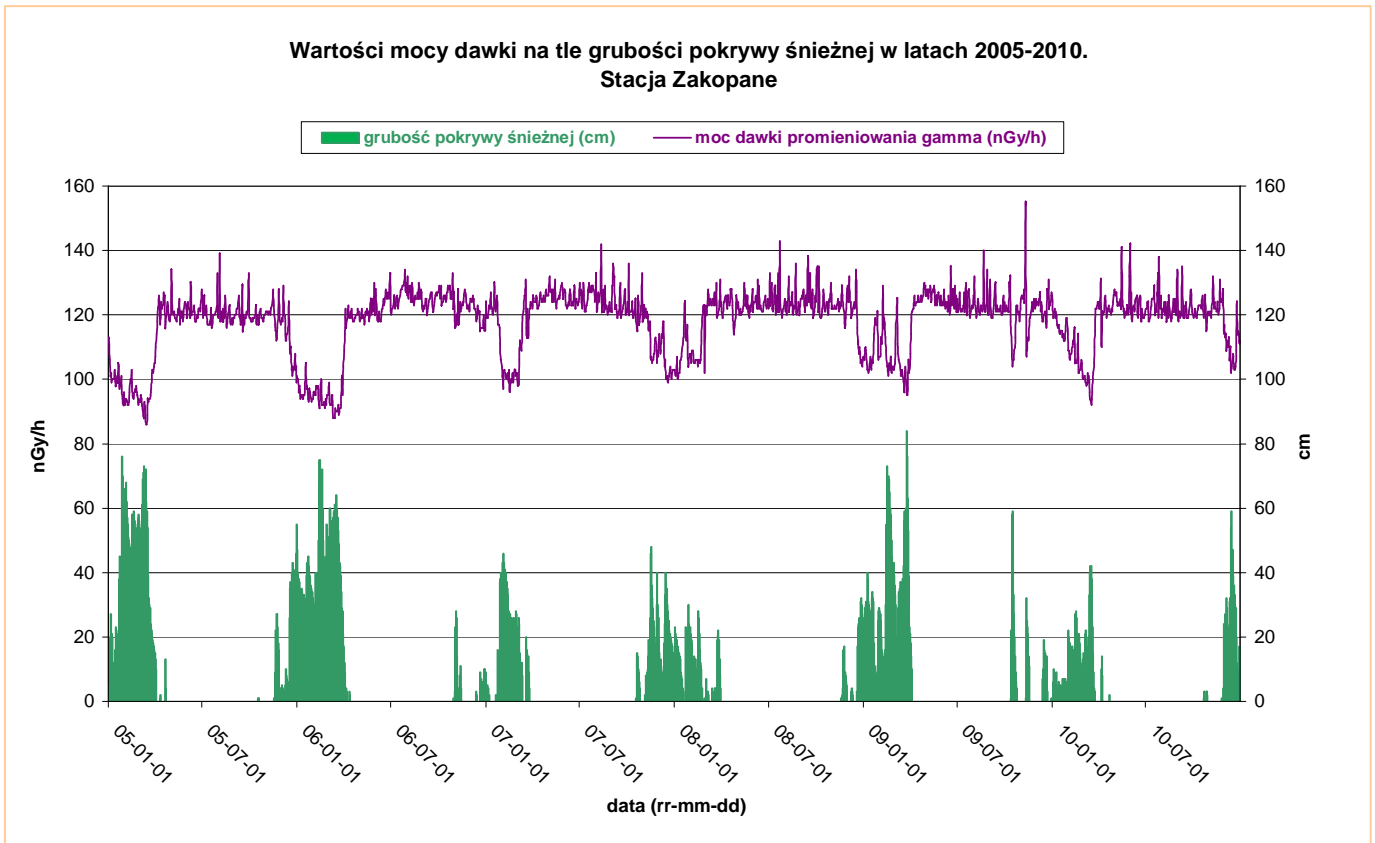
Rys. 10. Wartości mocy dawki w Legnicy na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.



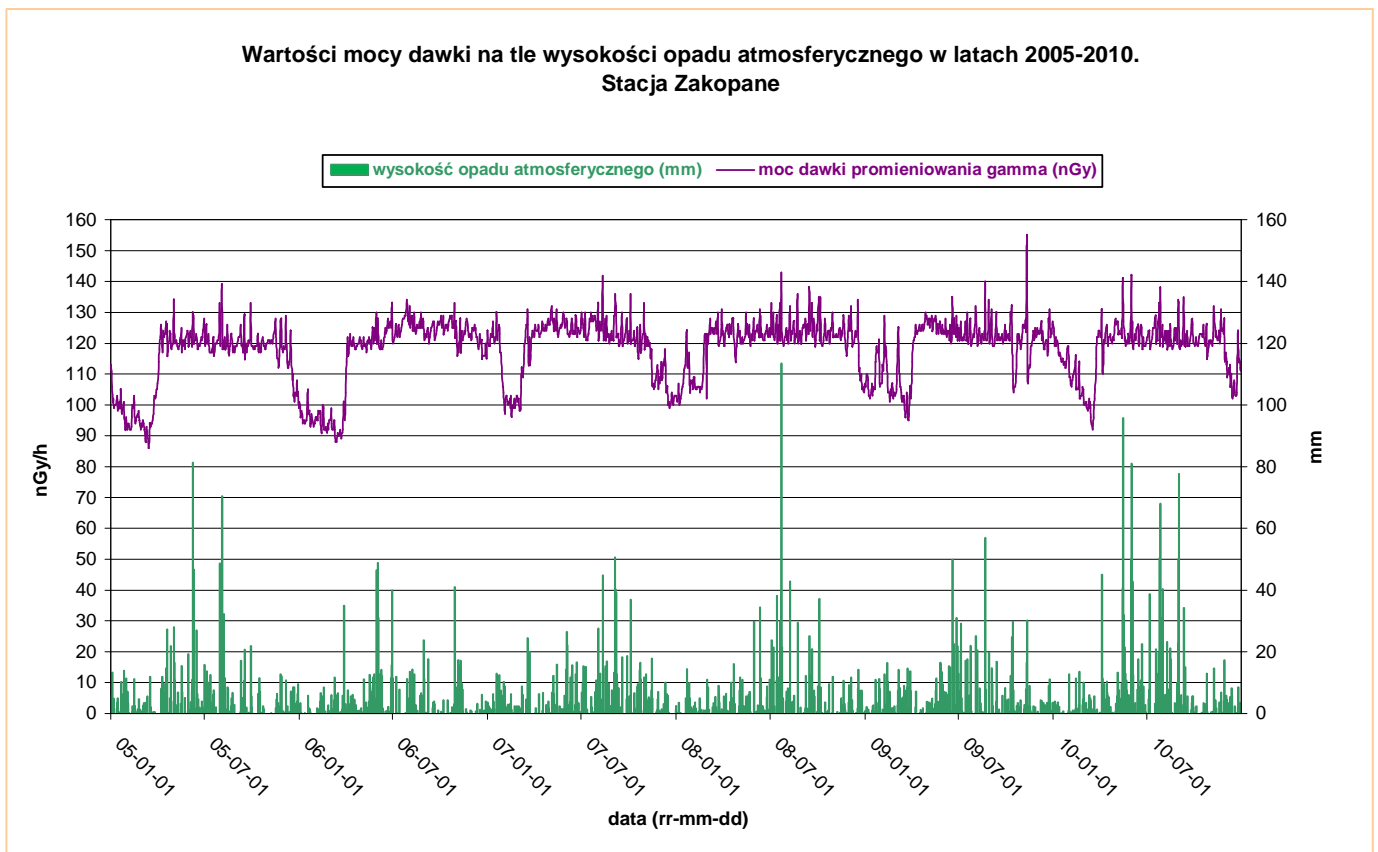
Rys. 11. Wartości mocy dawki we Włodawie na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010.



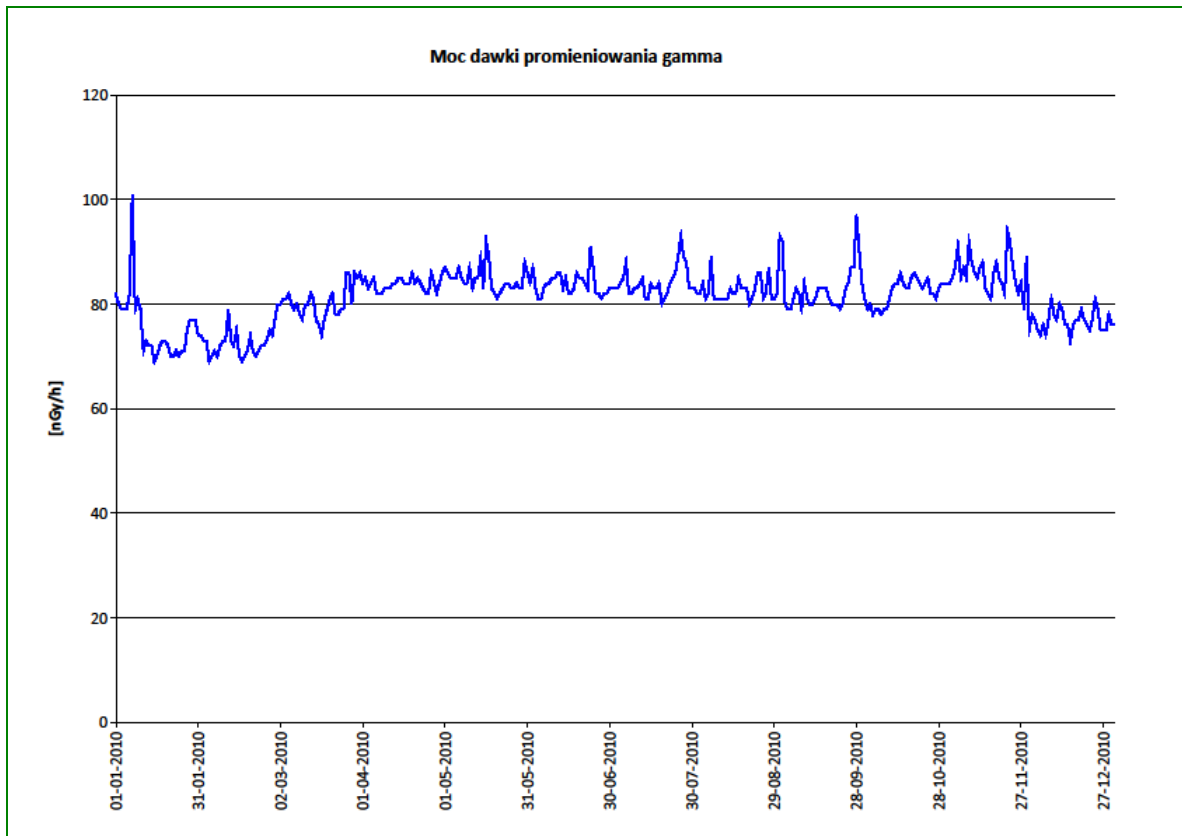
Rys. 12. Wartości mocy dawki we Włodawie na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.



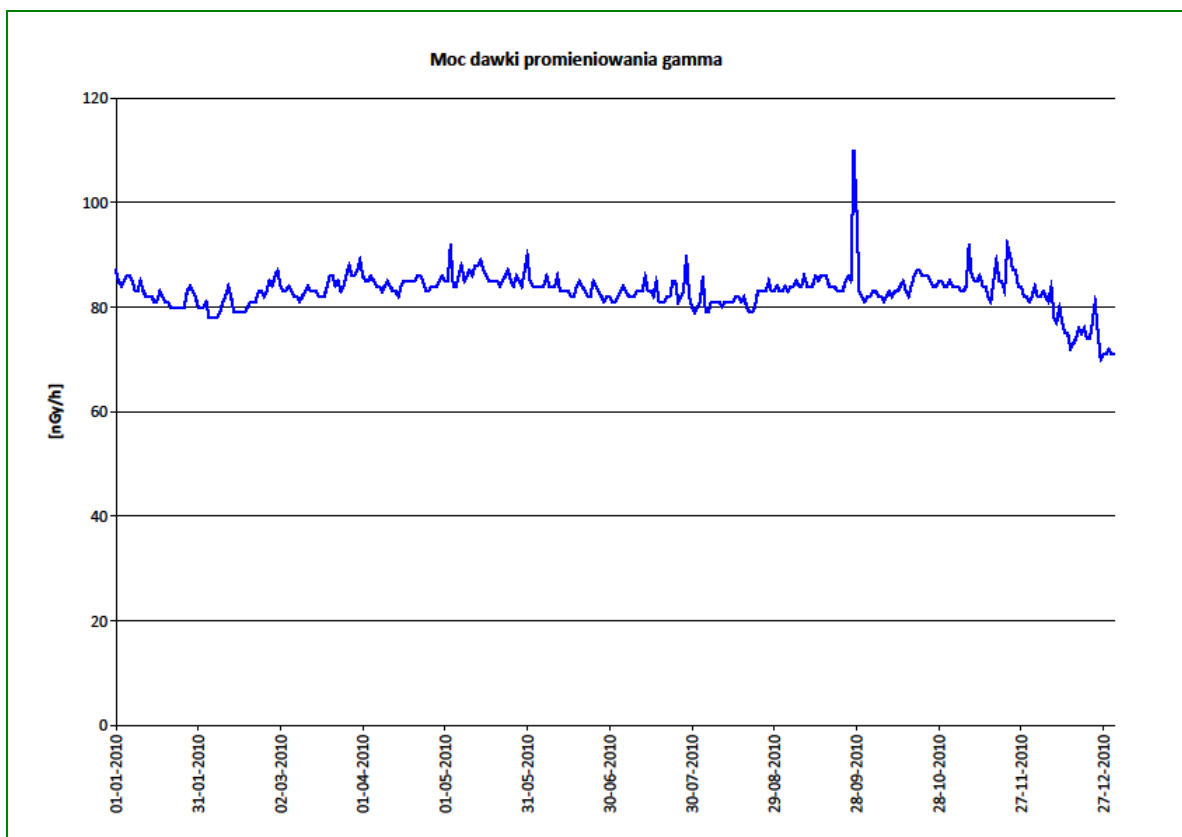
Rys. 13. Wartości mocy dawki w Zakopanem na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010.



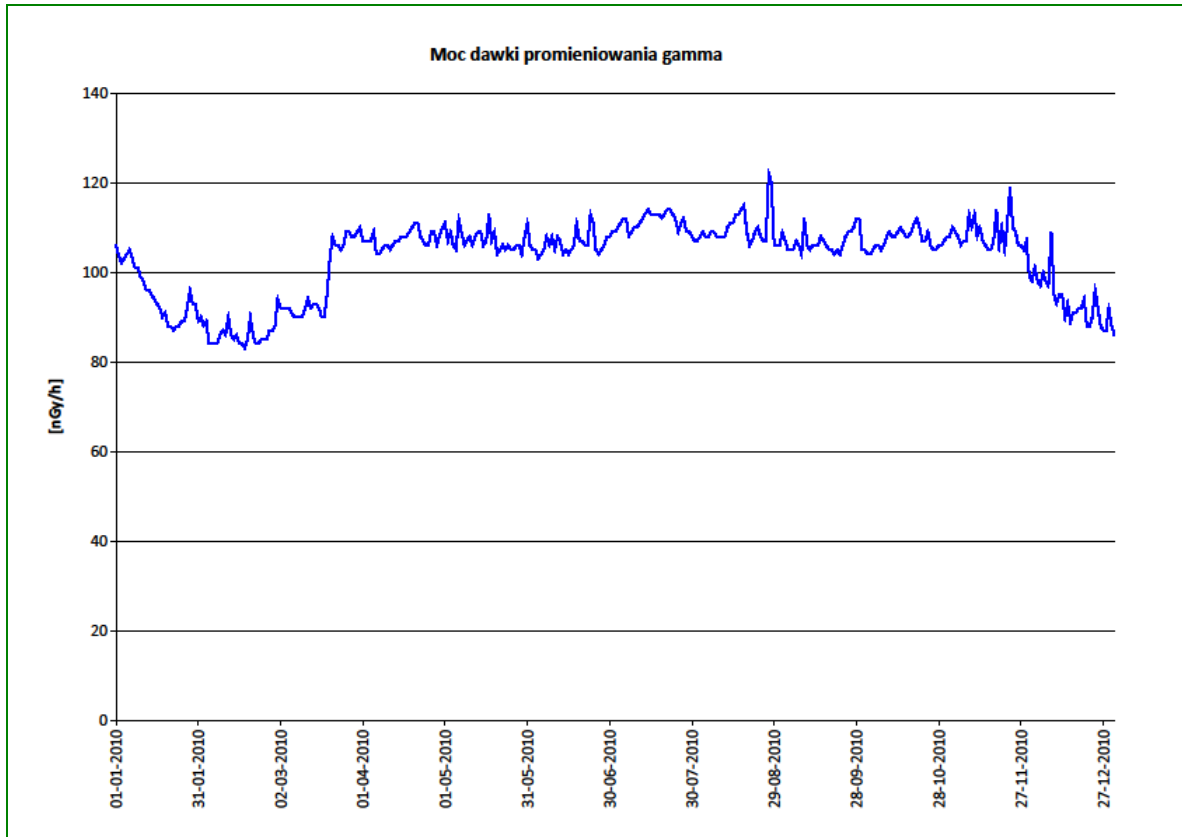
Rys. 14. Wartości mocy dawki w Zakopanem na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010.



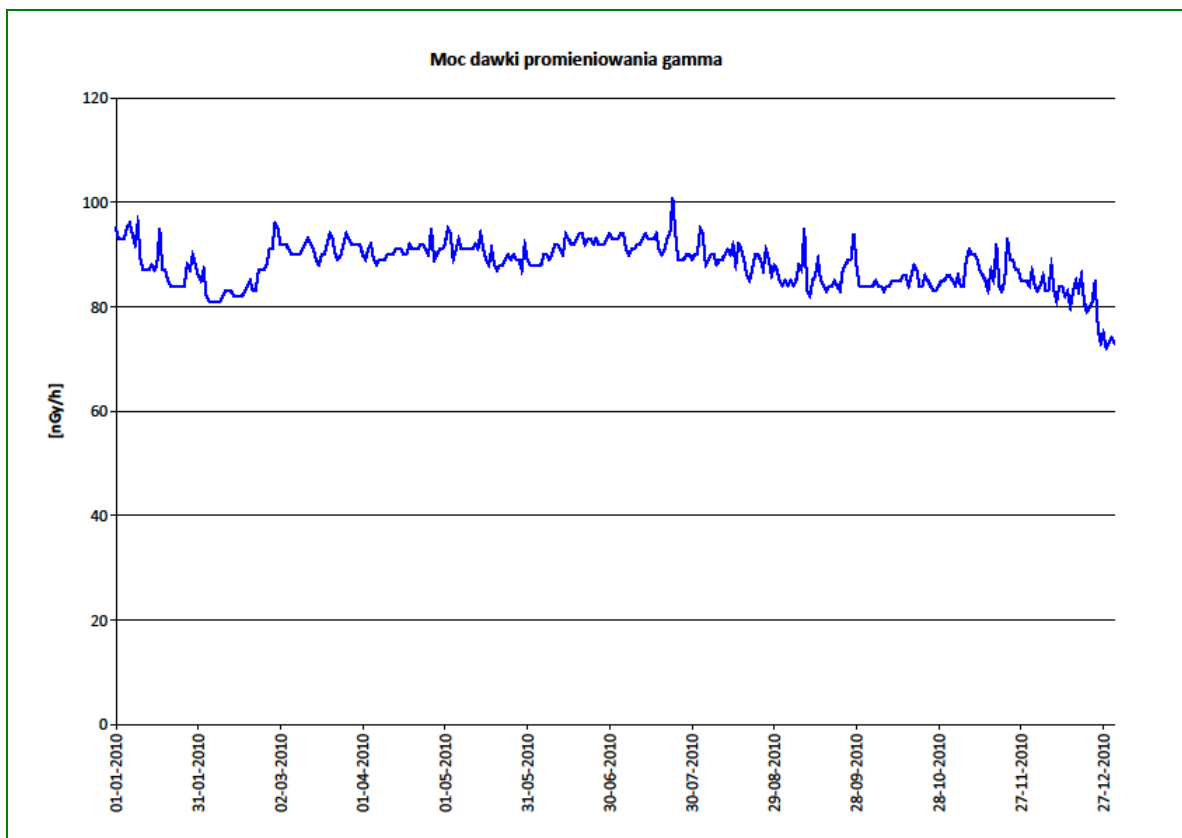
Rys. 15. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Warszawie w roku 2010.



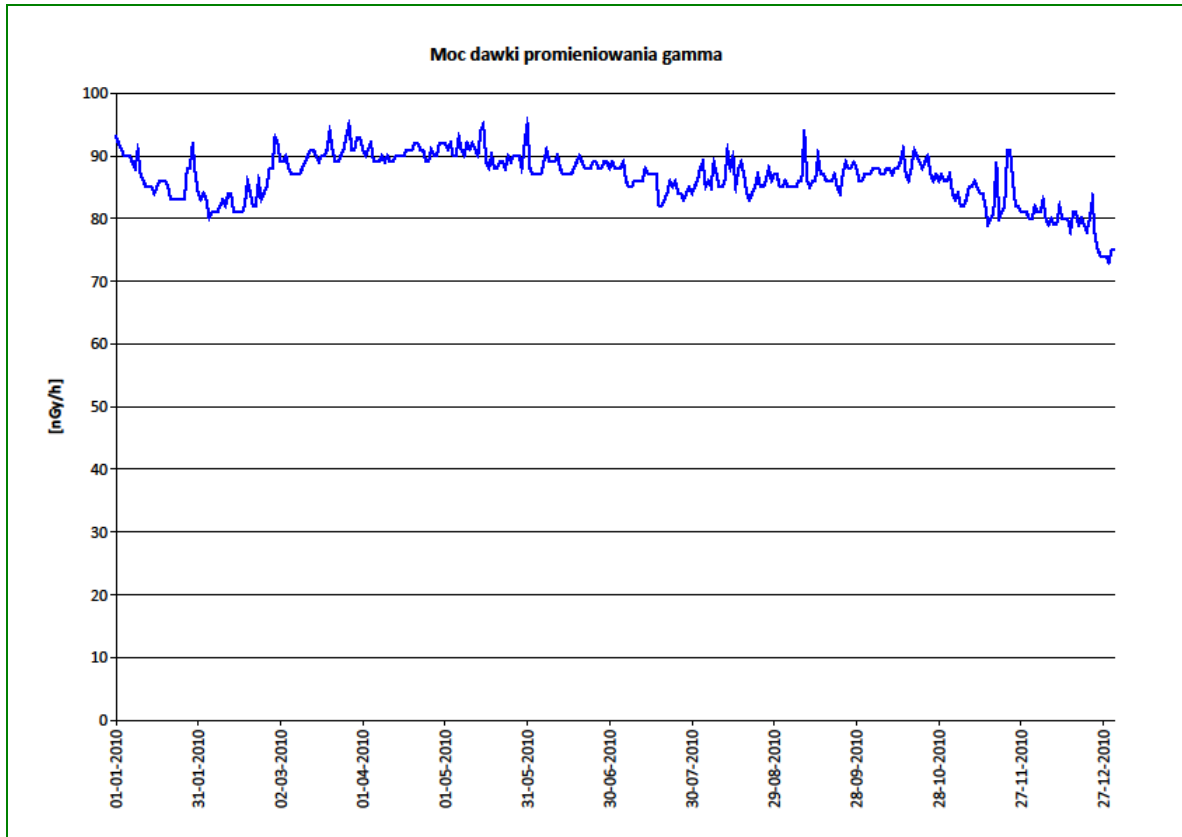
Rys. 16. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Gdyni w roku 2010.



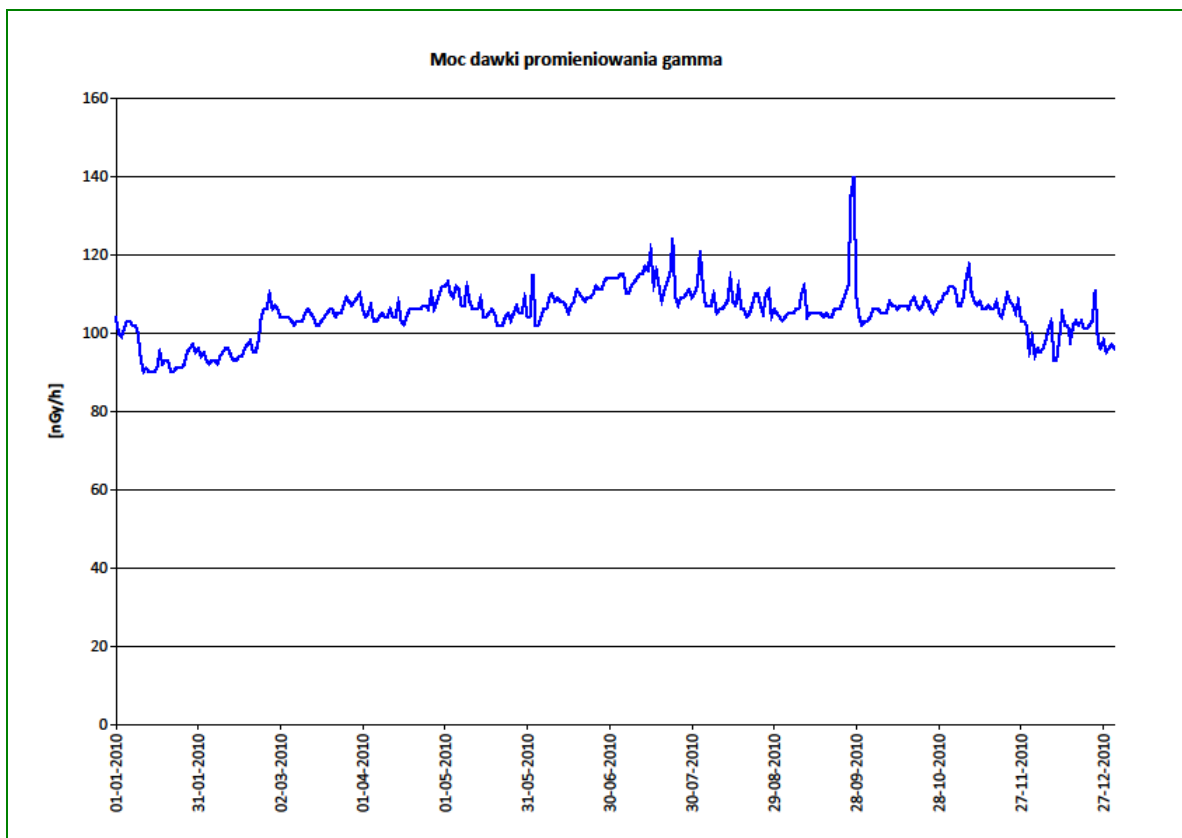
Rys. 17. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Mikołajkach w roku 2010.



Rys. 18. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Gorzowie Wlkp. w roku 2010.

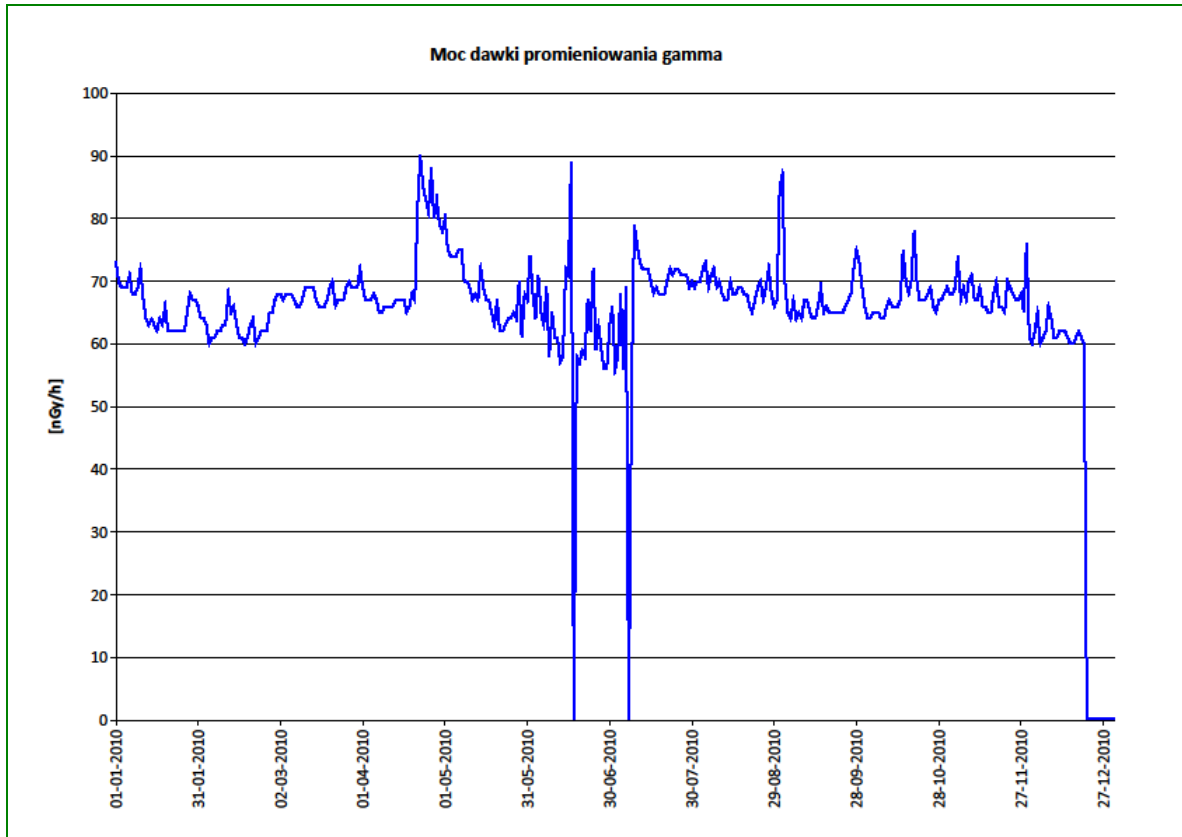


Rys. 19. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Świnoujściu w roku 2010.

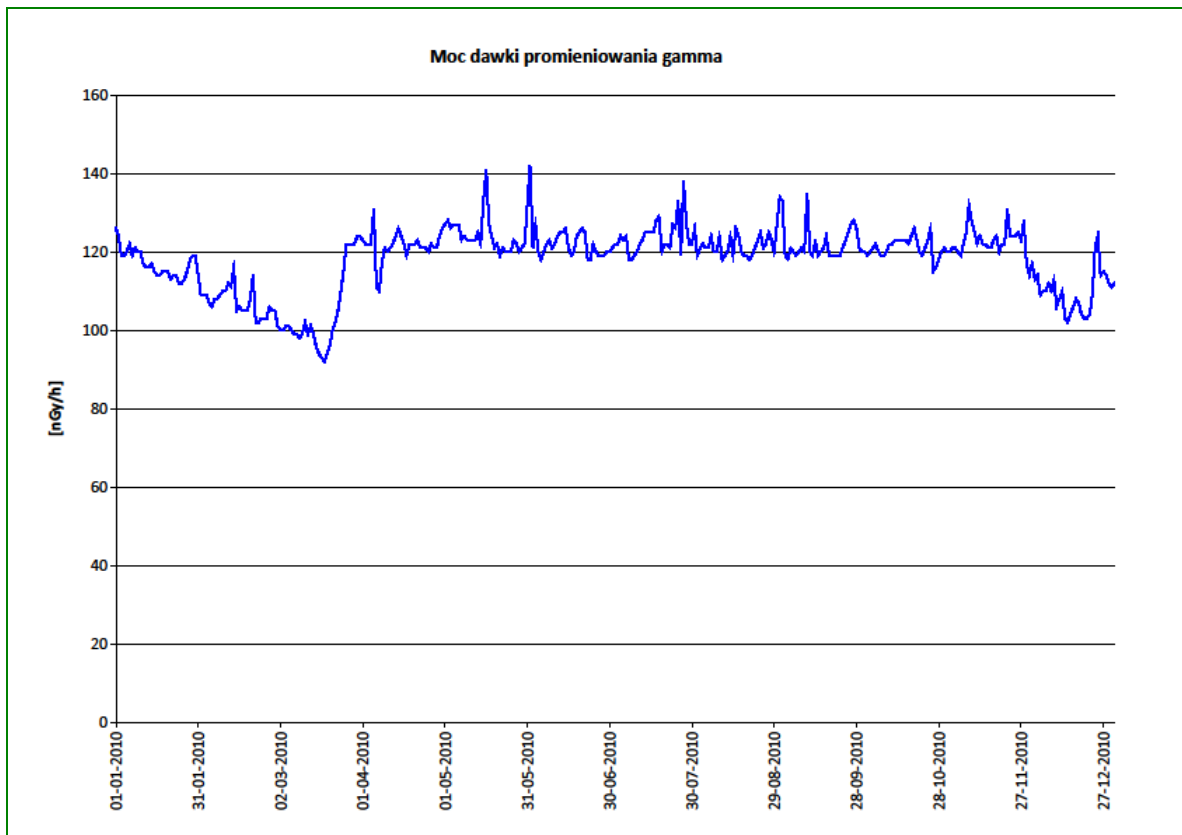


Rys. 20. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Legnicy w roku 2010.

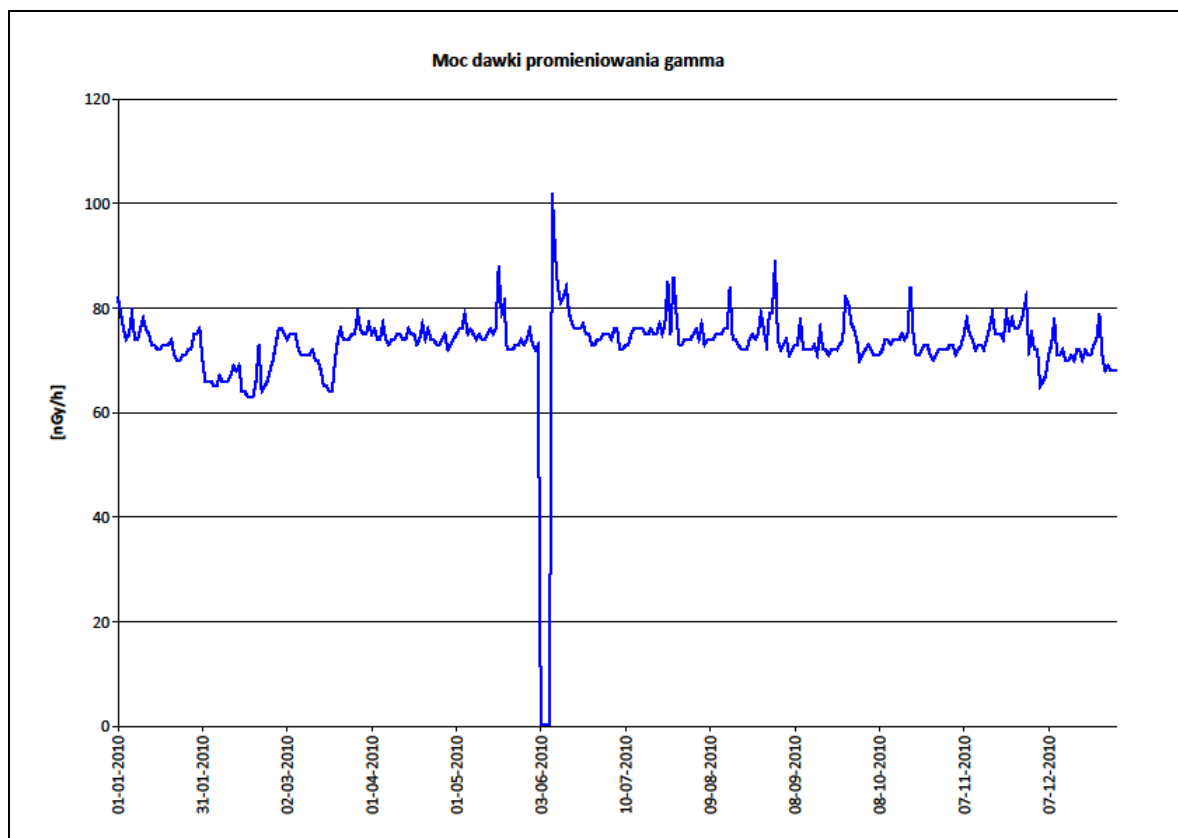




Rys. 21. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona we Włodawie w roku 2010.



Rys. 22. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Zakopanem w roku 2010.



Rys. 23. Moc dawki promieniowania gamma zmierzona w Lesku w roku 2010.

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

### 4.2.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010

W roku 2010 kontynuowano zgodnie z zakresem zadań program pomiarowy radioaktywności aerozoli powietrza na 7 stacjach IMGW pod kątem radionuklidów alfa naturalnych, beta i alfa sztucznych.

W tabeli 12 pokazane są średnie roczne oraz zakresy średnich dobowych wartości aktywności promieniowania alfa naturalnych radionuklidów, zmierzonych w 2010 roku aparaturą aerozolową typu FHT59Si.

Wyniki pomiarów średniej dobowej aktywności promieniowania alfa naturalnych radionuklidów w okresie od 01-01-2010 r. do 31-12-2010 r. wahały się w przedziale od 0,0 do 113,4 Bq/m<sup>3</sup>, minimalną i maksymalną wartość zmierzono w Gorzowie Wlkp., najbliższej wartości średniej rocznej jest Zakopane a najdalej Gorzów Wlkp.

Średnia roczna dla sieci stacji dla 12 miesięcy wynosi 7,7 Bq/m<sup>3</sup>. Jest to mała wartość. Z tabeli widać również, że pojedyncze większe dobowe wartości nie wpływają znacząco na wynik średniej wartości rocznej.

Tabela 12. Aktywność alfa naturalnych radionuklidów zmierzona w 2010 r.

Stacja	Wartość minimalna roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )	Wartość maksymalna roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )	Wartość średnia roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )
Mikołajki	0,5	11,4	3,8
Gorzów Wlkp.	0,0	113,4	21,6
Świnoujście	0,5	12,0	2,7
Legnica	0,8	27,1	6,8
Włodawa	0,7	15,1	3,7
Zakopane	1,1	27,0	8,3
Lesko	1,3	25,9	6,8
Wartość minimalna roczna	0,0		
Wartość maksymalna roczna		113,4	
Wartość średnia roczna			<b>7,7</b>

W tabelach nr 13 i 14 pokazane są średnie roczne oraz zakresy średnich dobowych wartości aktywności promieniowania beta i alfa sztucznych radionuklidów, zmierzonych w 2010 roku aparaturą aerozolową typu FHT59Si.

Wyniki pomiarów średnich dobowych aktywności promieniowania alfa sztucznego w roku 2010 zawierały się w przedziale od 0,0 do 0,771 Bq/m<sup>3</sup>. Natomiast wartości pomiaru beta sztucznych radionuklidów w roku 2010 znajdowały się w przedziale 0,0 do 1,172 Bq/m<sup>3</sup>. Maksymalną wartość sztucznego beta zmierzono w Gorzowie Wlkp. tj. 1172 Bq/m<sup>3</sup>. Z kolei maksymalną wartość sztucznego alfa zmierzono w Legnicy (0,771 Bq/m<sup>3</sup>). Średnia roczna dla sieci stacji dla 12 miesięcy wynosi 0,080 Bq/m<sup>3</sup> dla sztucznej bety oraz 0,041 Bq/m<sup>3</sup> dla sztucznej alfy.

Średnia wartość z Leska (0,058 Bq/m<sup>3</sup>) jest najbliższej wartości średniej rocznej dla sztucznej bety. Dla sztucznej alfy najbliższej wartości średniej rocznej są Mikołajki (0,023 Bq/m<sup>3</sup>).

Są to wartości bardzo małe na tle wyniku średniej alfy naturalnej w roku 2010.

Tabela 13. Zakres aktywności beta sztucznych radionuklidów zmierzonych na stacjach wykrywania skażeń, 2010 r.

Stacja	Wartość minimalna roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )	Wartość maksymalna roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )	Wartość średnia roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )
Mikołajki	0	0,983	0,139
Gorzów Wlkp.	0	1,172	0,103
Świnoujście	0	0,102	0,012
Legnica	0	0,683	0,036
Włodawa	0,04	0,499	0,193
Zakopane	0	0,32	0,017
Lesko	0	0,269	0,058
Wartość minimalna	0		
Wartość maksymalna		1,172	
Wartość średnia			<b>0,080</b>

Tabela 14. Zakres aktywności alfa sztucznych radionuklidów zmierzonych na stacjach wykrywania skażeń, 2010 r.

Stacja	Wartość minimalna roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )	Wartość maksymalna roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )	Wartość średnia roczna (w Bq/m <sup>3</sup> )
Mikołajki	0	0,323	0,023
Gorzów Wlkp.	0	0,688	0,069
Świnoujście	0	0,055	0,014
Legnica	0	0,771	0,028
Włodawa	0,012	0,78	0,077
Zakopane	0	0,08	0,004
Lesko	0	0,263	0,074
Wartość minimalna	0,000		
Wartość maksymalna		0,780	
Wartość średnia			<b>0,041</b>

#### 4.2.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Badając średnią roczną dla alfy naturalnej na tle ostatnich 6 lat, czyli od roku 2005 do 2010, można się przekonać, że średnia roczna dla roku 2010 jest najniższą średnią w tym okresie.

Na stronie 37 zamieszczono tabelę nr 15 przedstawiającą wyliczenia średniej rocznej aktywności alfa naturalnej w okresie ostatnich 6 lat. Warto, zauważyć, że mierzone wartości mieszczą się w ramach tzw. tła, czyli są pochodzenia naturalnego.

Dla oceny zmienności powyższego parametru warto zwrócić uwagę na rysunki na stronach 39-42.

Analizując tabelę zawierającą średnie roczne dla alfy i bety sztucznej w okresie od 2005 do 2010, można się przekonać, że są one poniżej wartości 0,1 Bq/m<sup>3</sup> co jest znacznie mniejszą wartością od średniej wartości aktywności alfy naturalnej (100 razy mniejszą) a co za tym idzie, możemy wywnioskować, że w roku 2010 zmierzone wartości mieściły się w ramach tła.

Tabela 15. Średnia roczna aktywność alfa naturalnych radionuklidów (w Bq/m<sup>3</sup>) zmierzona na stacjach wykrywania skażeń IMGW w latach 2005 - 2010.

Rok	Średnia roczna
2005	7,9
2006	8,2
2007	7,9
2008	8,6
2009	8,3
2010	<b>7,7</b>
Średnia	8,1
Minimalna	<b>7,7</b>
Maksymalna	8,6

Tabela 16. Średnia roczna aktywność alfa i beta sztucznych radionuklidów (w Bq/m<sup>3</sup>) zmierzona na stacjach wykrywania skażeń IMGW w latach 2005 - 2010.

Rok	Średnia roczna	Średnia roczna
	beta sztuczna	alfa sztuczna
2005	0,058	0,020
2006	0,061	0,029
2007	0,052	0,027
2008	0,037	0,034
2009	0,059	0,040
2010	<b>0,080</b>	<b>0,041</b>
Średnia	0,058	0,032
Maksymalna	0,080	0,041
Minimalna	0,037	0,020

Średnie wartości roczne z powyższej tabeli zarówno dla alfy jak i dla bety, pokazują, że wartości z roku 2010 są największe w ostatnim sześcioleciu oraz są sto razy mniejsze od średnich wartości alfa naturalnych. Uzyskane średnie roczne możemy uznać za poziom tła. Wykresy dla alfy i bety sztucznej są tak wyskalowane, żeby pokazać dokładność pomiarową aparatury, natomiast nie świadczą o skażeniach a ich gwałtowne wzrosty i spadki wynikają tylko z przyjętej skali rysunków.

Na stronach 39-42 znajdują się wykresy średnich dobowych wartości aktywności aerozoli alfa i beta sztucznych zmierzonych na stacjach pomiarowych sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych IMGW w roku 2010.

Analizując wykresy pokazujące zależności między mierzonymi wartościami promieniowania alfa i beta sztucznego, a wartościami elementów meteorologicznych można przyjąć założenie o istnieniu korelacji pomiędzy nimi. Różnego rodzaju zanieczyszczenia (w tym zanieczyszczenia promieniotwórcze) transportowane są w atmosferze, której stan można scharakteryzować między innymi poprzez takie parametry jak temperatura, deszcz, śnieg, wiatr itp. W związku z tym i poziom promieniowania, zależy od stanu atmosfery opisanej powyższymi wielkościami.

Opad w postaci deszczu powinien zmniejszyć wartości naturalnego promieniowania alfa aerozoli, gdyż w zasadzie wymywa on do gleby część aerozoli przenoszonych w powietrzu, która to część jest źródłem promieniowania, normalnie wykrywanego przez urządzenia pomiarowe. Opad w postaci śniegu powinien zwiększać wartość naturalnego promieniowania alfa gdyż spowalnia opad zanieczyszczeń w powietrzu a co za tym większa możliwość zebrania (zgęszcza) ich poprzez zasysanie do urządzeń pomiarowych.

Jako zakres czasowy oceny przyjęto lata 2005-2010. Dla tego okresu elementy meteorologiczne – opad atmosferyczny w postaci wody oraz w postaci śniegu – zostały dokładniej zbadane pod kątem ewentualnych związków z wielkościami naturalnego promieniowania alfa. Do oceny wybrano przykładowe stacje sieci pomiaru skażeń: Mikołajki, Świnoujście, Włodawa Zakopane i Lesko.

Dla statystycznej weryfikacji hipotez o relacjach między wartościami promieniowania alfa i beta sztucznymi a poszczególnymi elementami meteorologicznymi obliczone zostały współczynniki korelacji, przedstawione w tabelach 17 i 18.

Wyliczone niezerowe korelacje potwierdzają nasze tezy o istnieniu relacji, ale także pokazują, że wartości współczynników korelacji są mniejsze niż w przypadku mocy dawki promieniowania gamma analizowanej w poprzednim rozdziale.

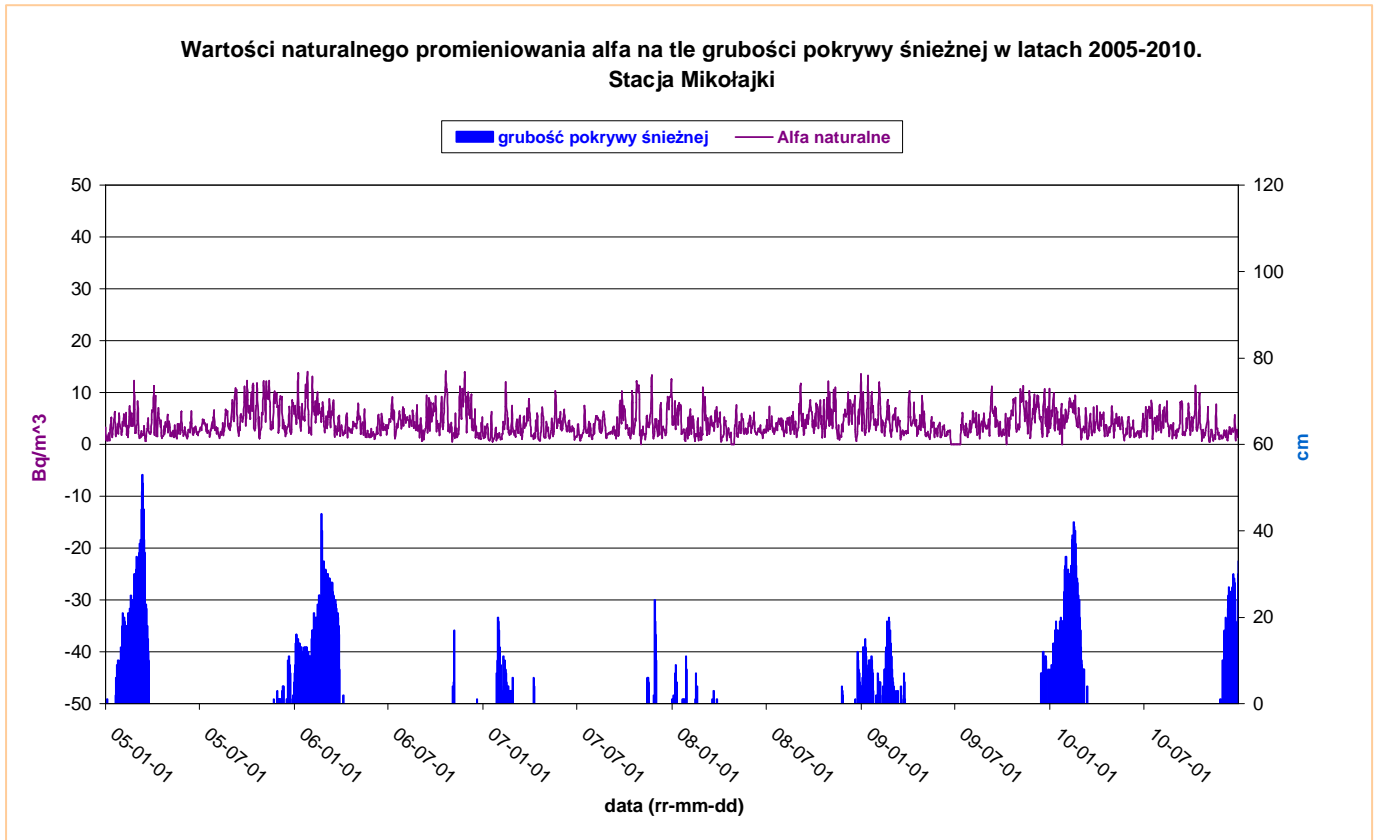
Wnioskujemy stąd, że mierzone wartości promieniowania alfa są mniej czułe na opady atmosferyczne oraz opad śniegu niż moc dawki.

Tabela 17. Korelacje dla lat 2005-2010 pomiędzy wartościami aktywności nuklidów alfa naturalnych w powietrzu a opadem śniegu.

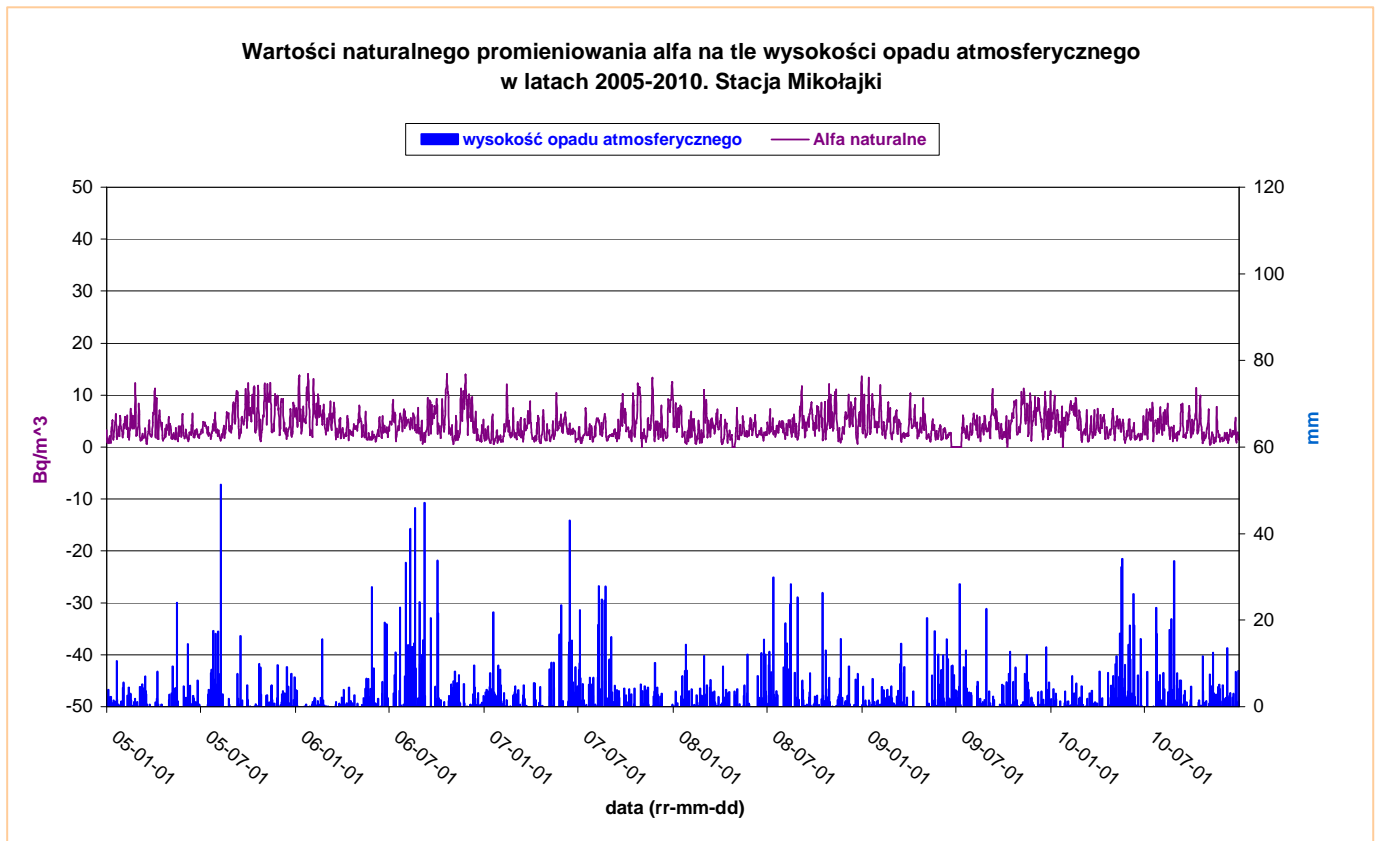
Nr stacji	Stacja	Współczynnik korelacji
4	Mikołajki	0,039
7	Świnoujście	0,201
151	Włodawa	0,078
165	Zakopane	0,017
166	Lesko	0,016
	Średnia	0,070

Tabela 18. Korelacje dla lat 2005-2010 pomiędzy wartościami aktywności nuklidów alfa naturalnych w powietrzu a sumą dobową opadu atmosferycznego.

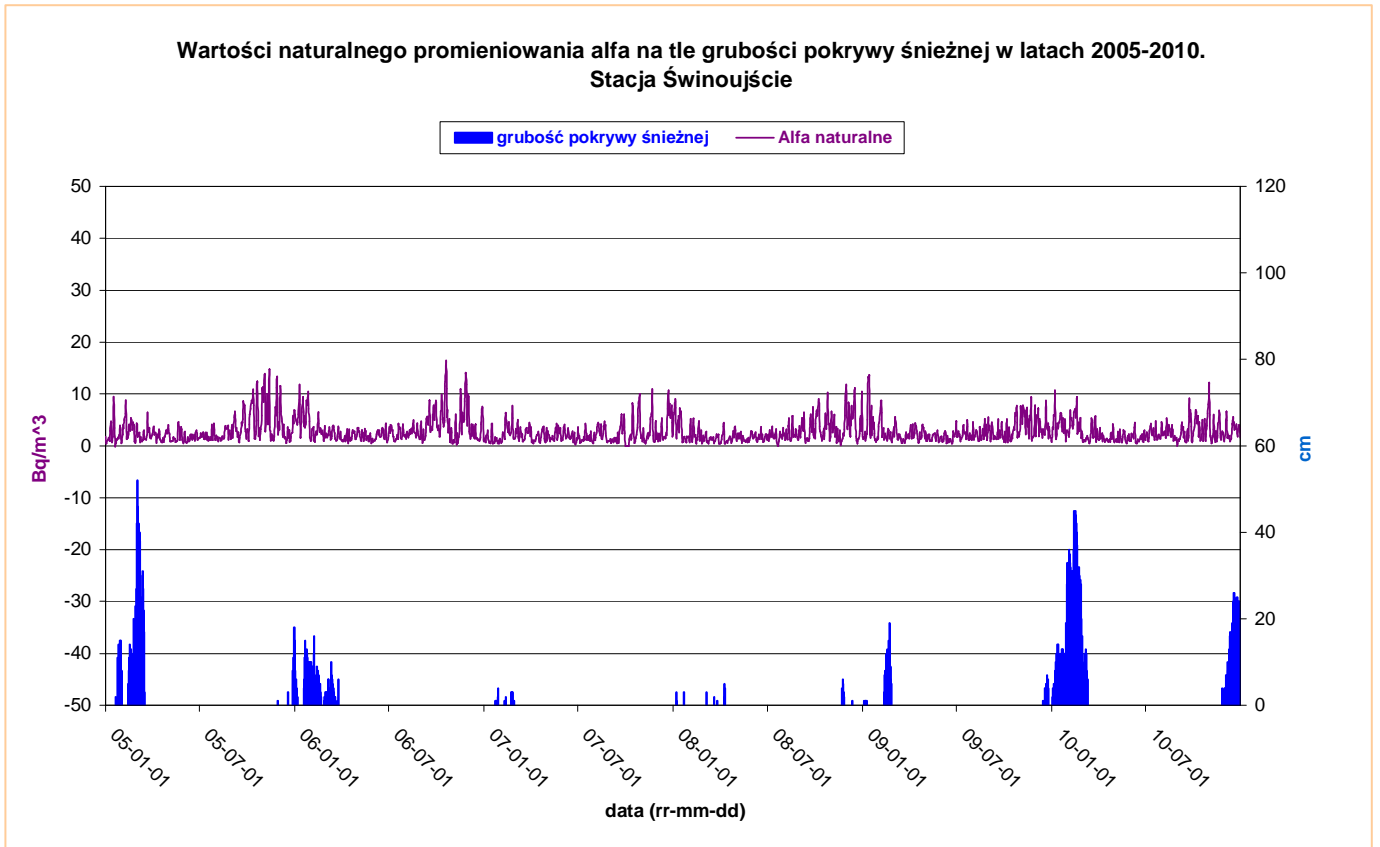
Nr stacji	Stacja	Współczynnik korelacji
4	Mikołajki	-0,068
7	Świnoujście	-0,078
8	Legnica	-0,108
151	Włodawa	-0,096
165	Zakopane	-0,237
166	Lesko	-0,165
	Średnia	-0,125



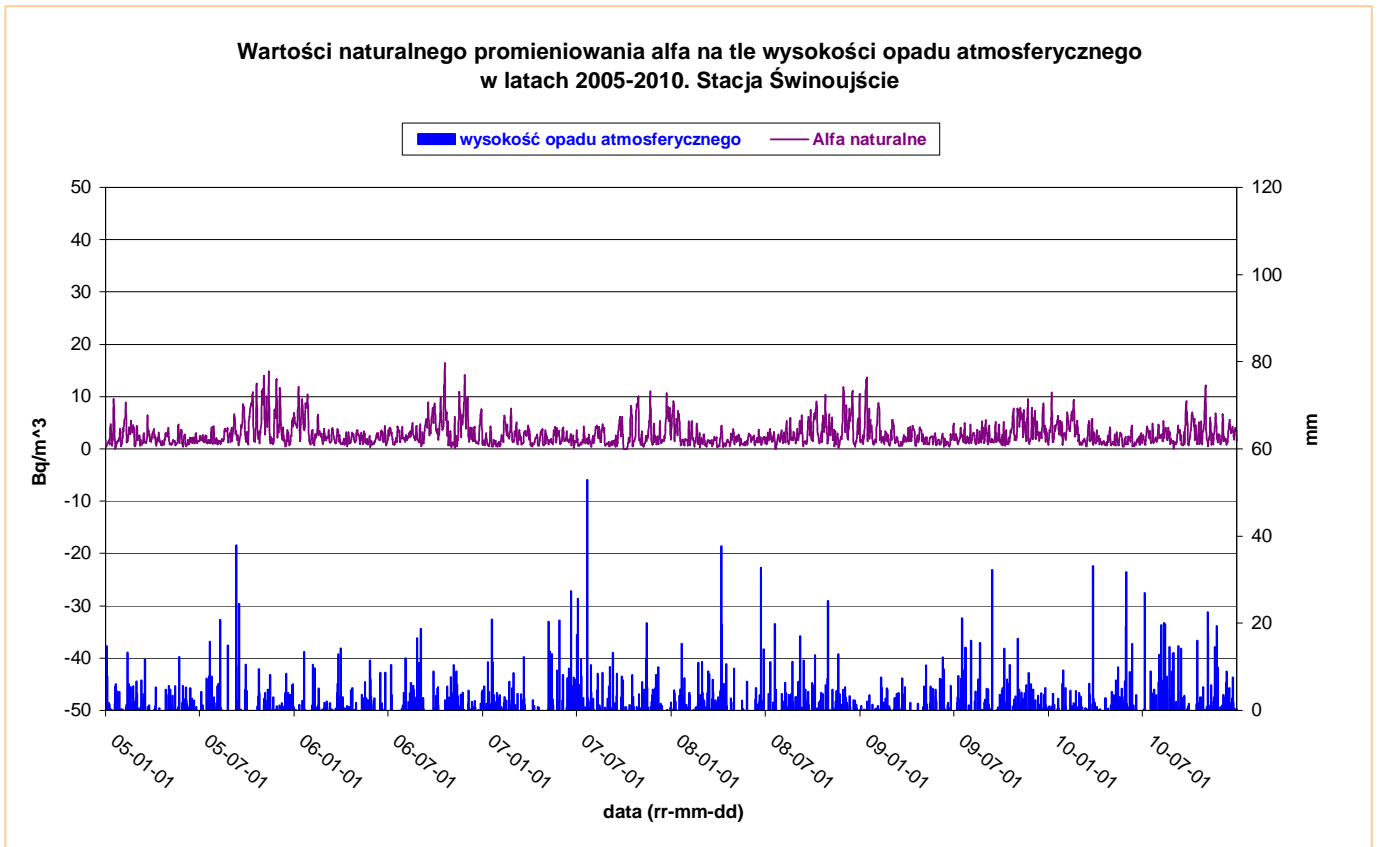
Rys. 24. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010. Stacja Mikołajki



Rys. 25. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010. Stacja Mikołajki.

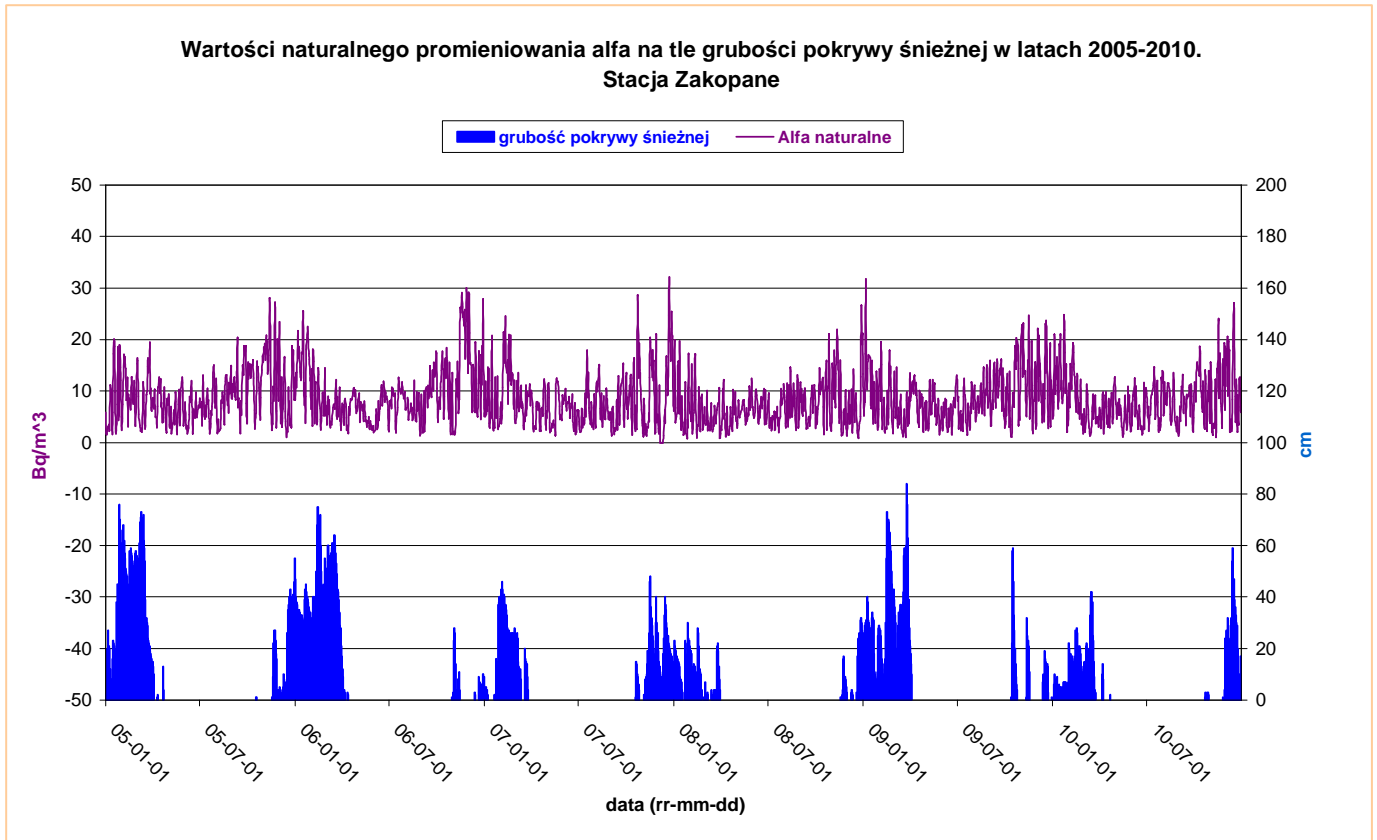


Rys. 26. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010. Stacja Świnoujście.

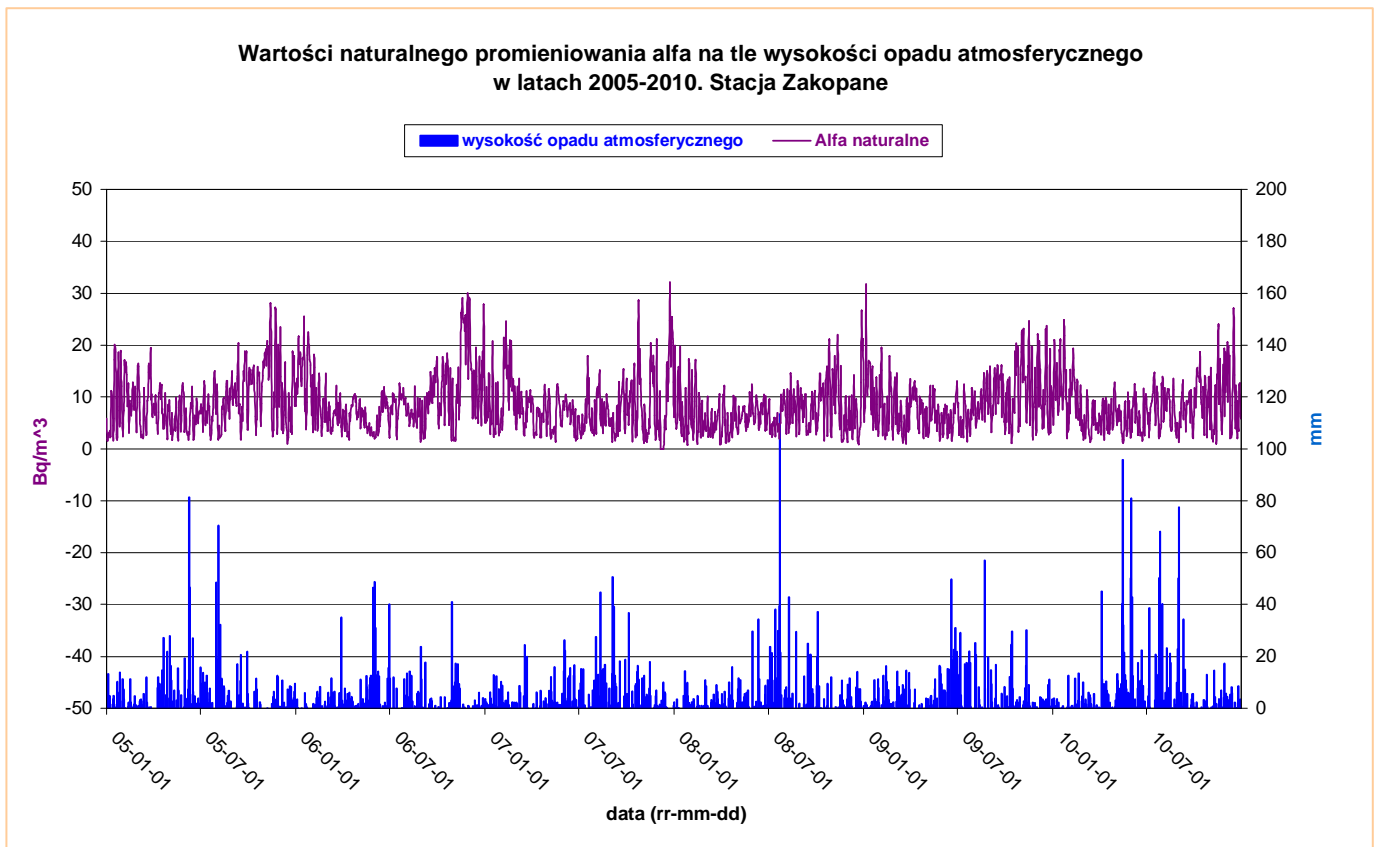


Rys. 27. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010. Stacja Świnoujście.

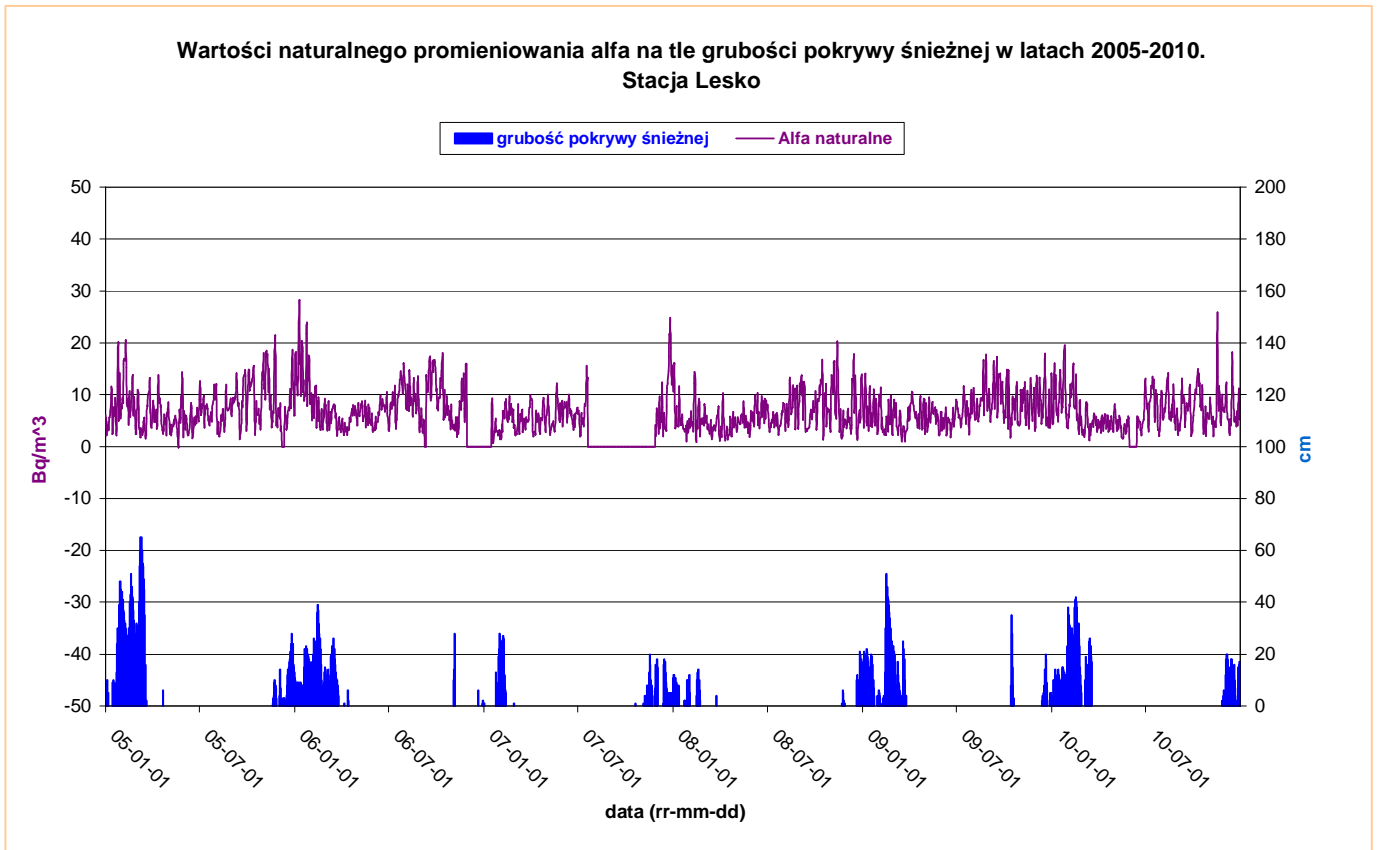




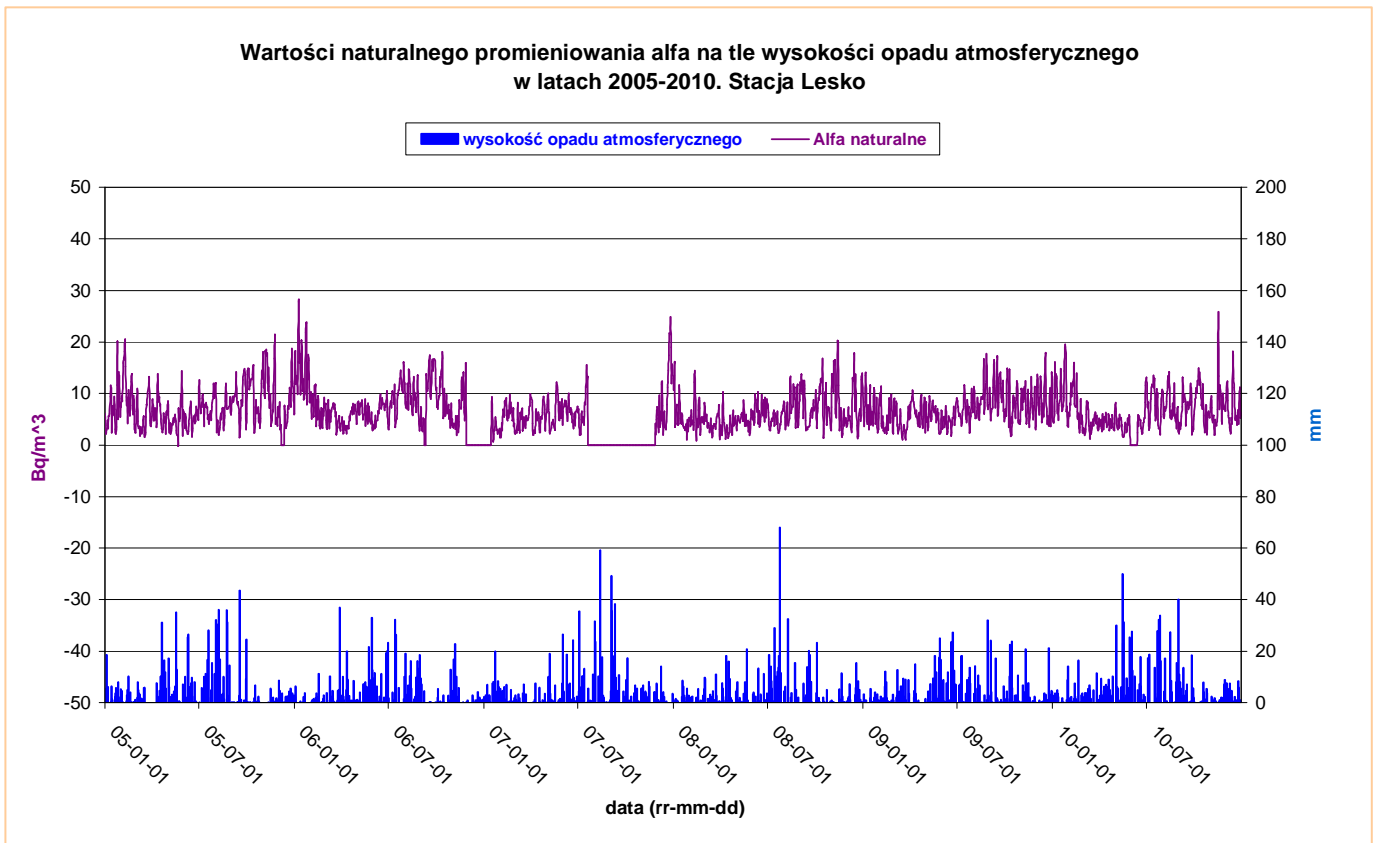
Rys. 28. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010. Stacja Zakopane.



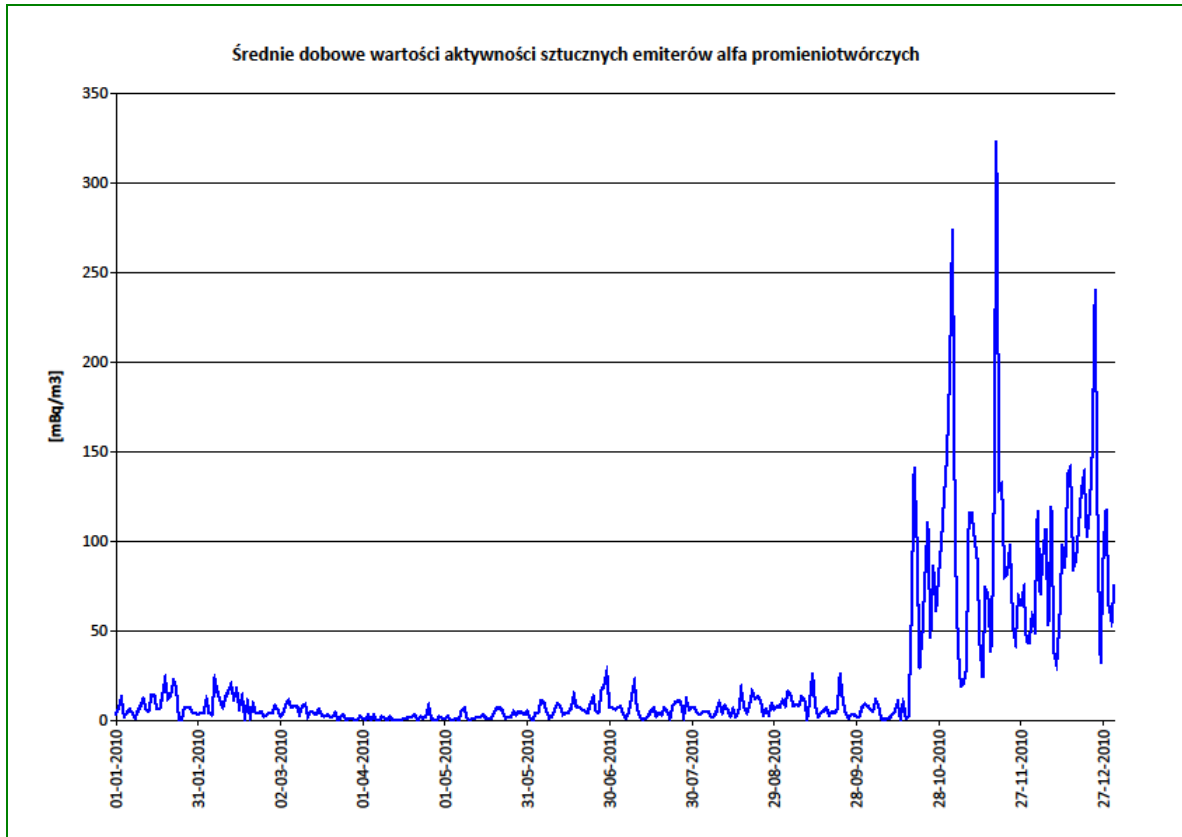
Rys. 29. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010. Stacja Zakopane.



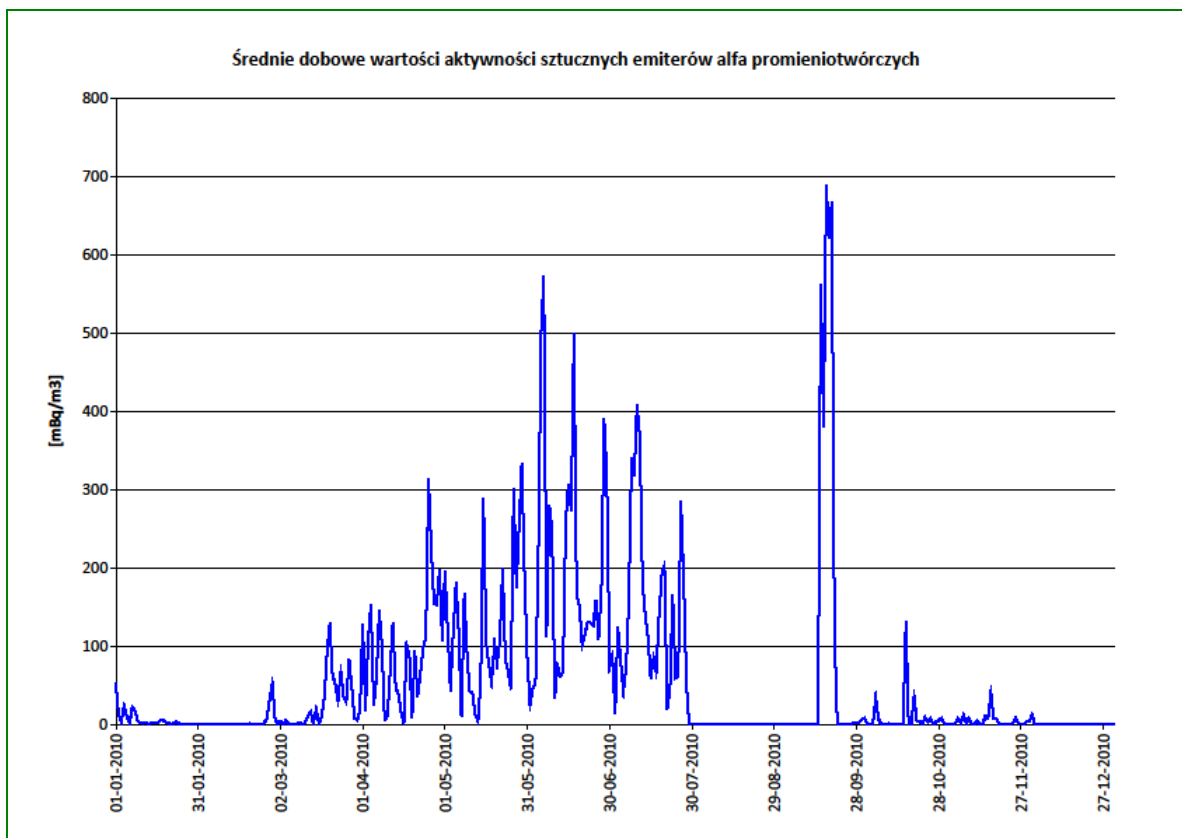
Rys. 30. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle grubości pokrywy śnieżnej w latach 2005-2010. Stacja Lesko.



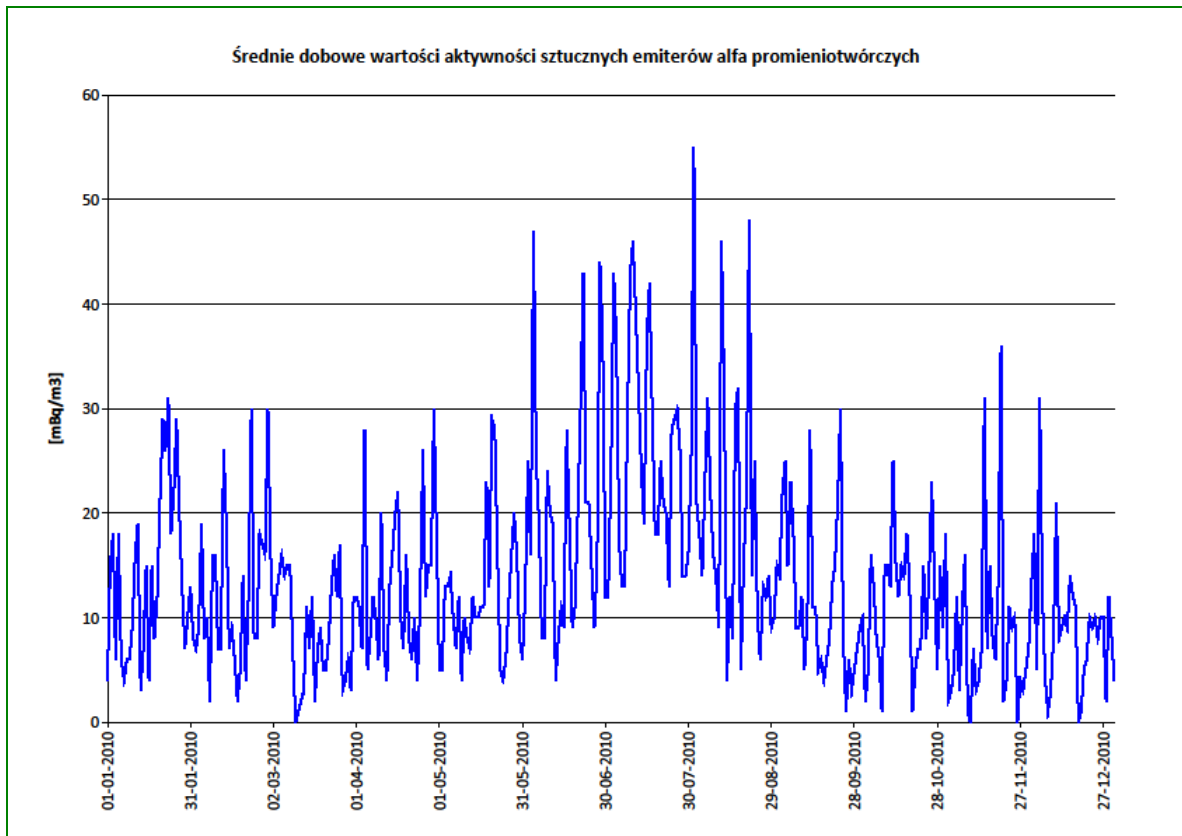
Rys. 31. Wartości naturalnego promieniowania alfa na tle wysokości opadu atmosferycznego w latach 2005-2010. Stacja Lesko.



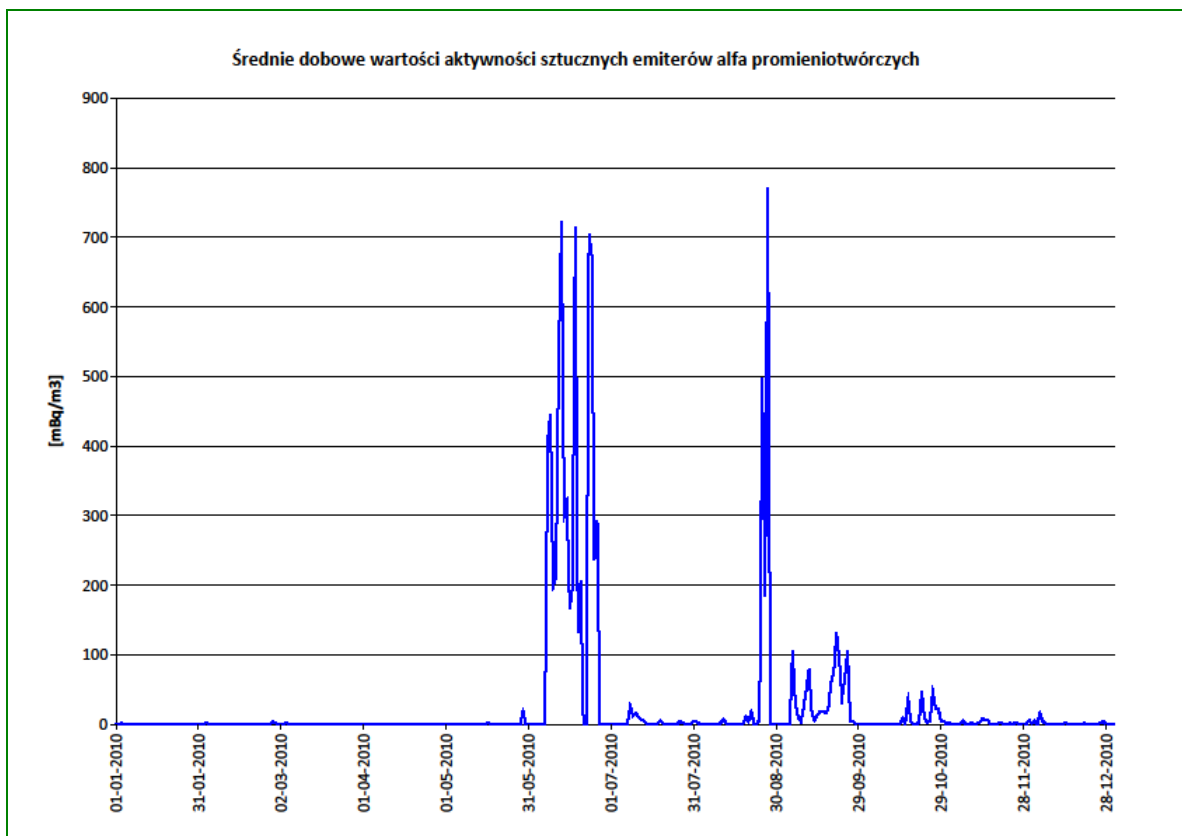
Rys. 32. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Mikołajki w 2010.



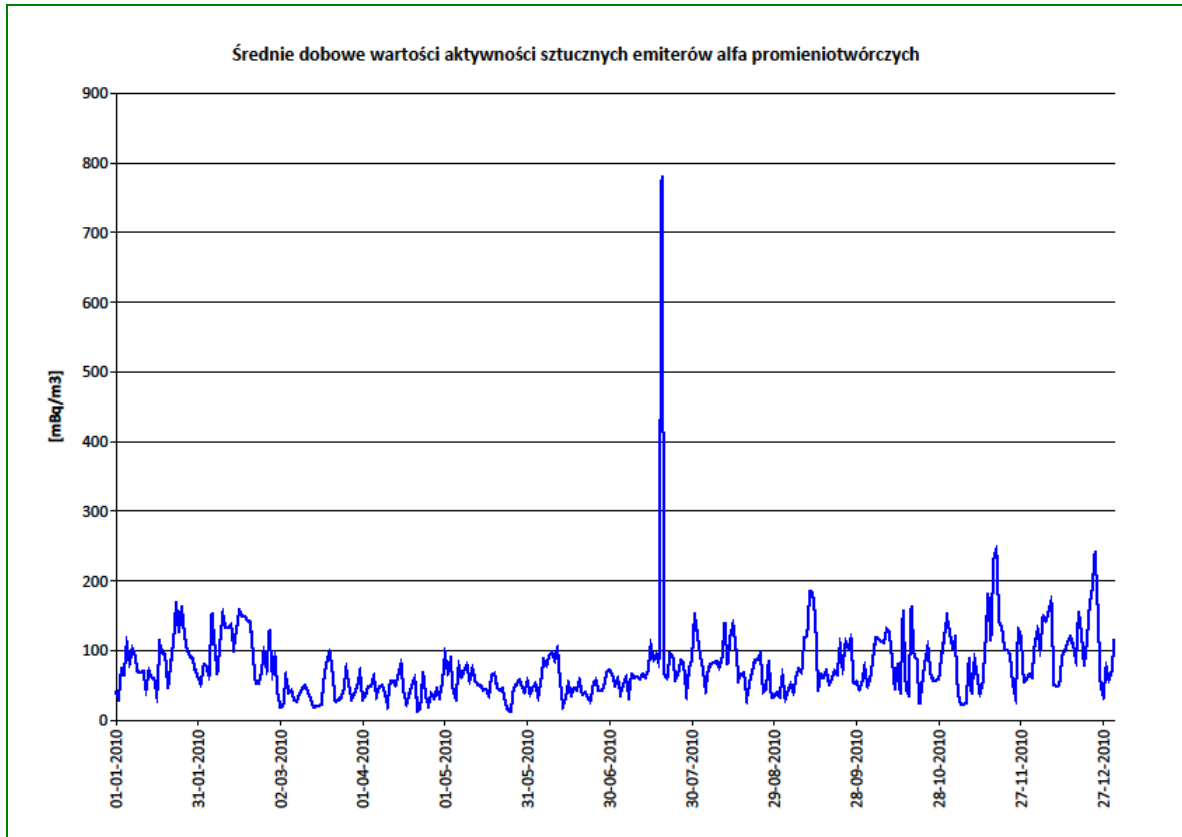
Rys. 33. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Gorzów Wlkp. w 2010.



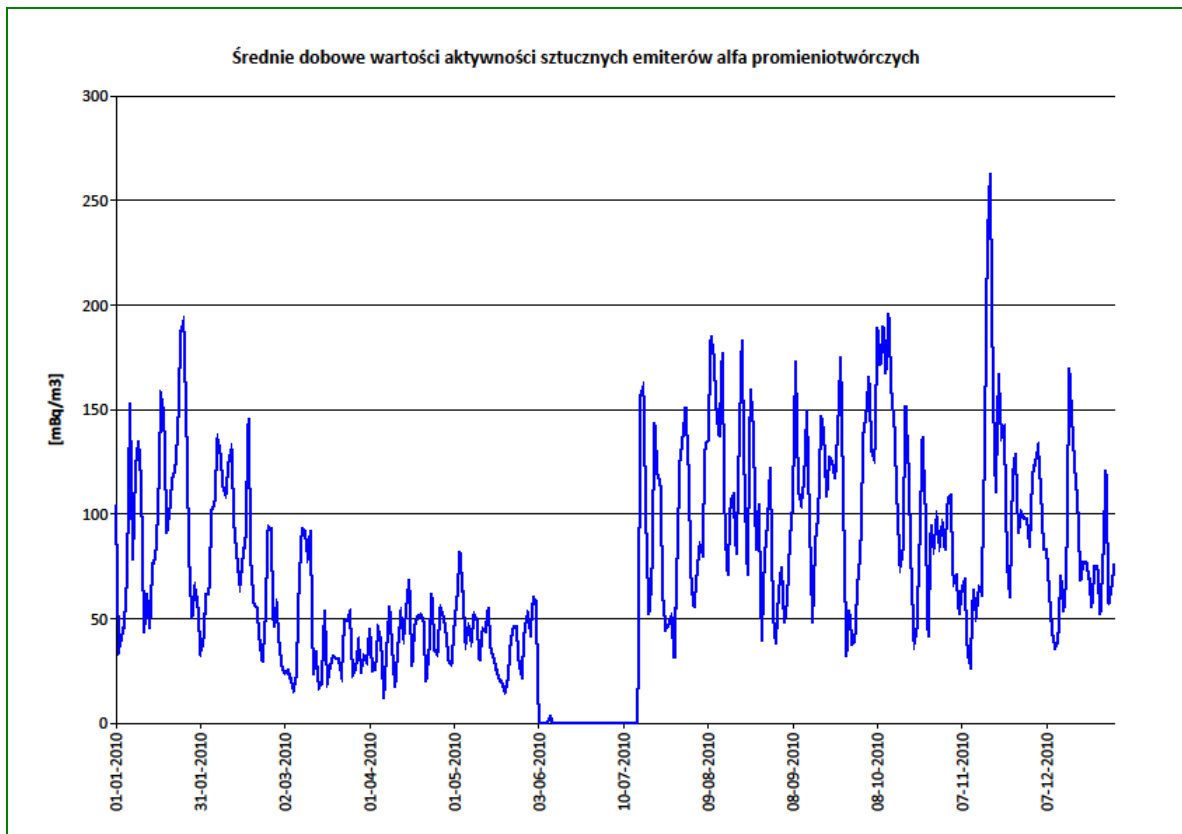
Rys. 34. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych na zmierzone na stacji Świnoujście w 2010 r.



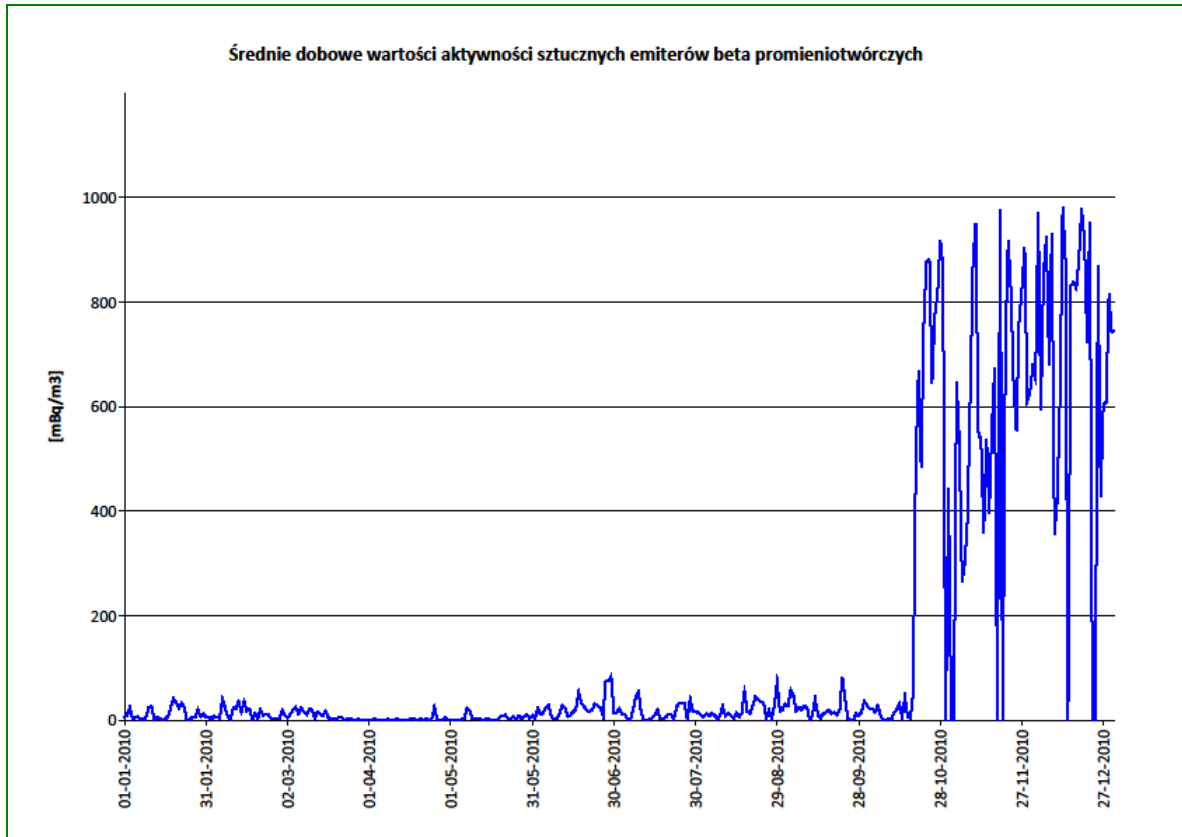
Rys. 35. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Legnica w 2010 r.



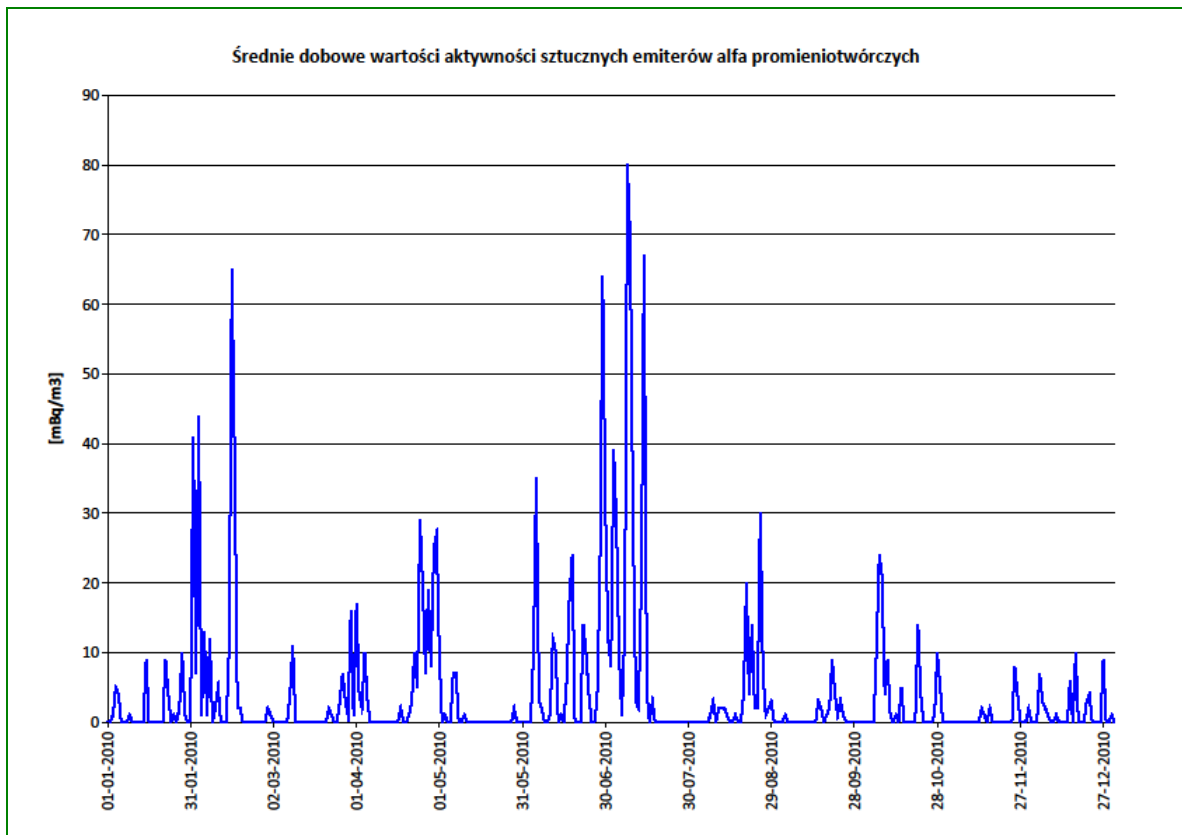
Rys. 36. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Lesko w 2010 r.



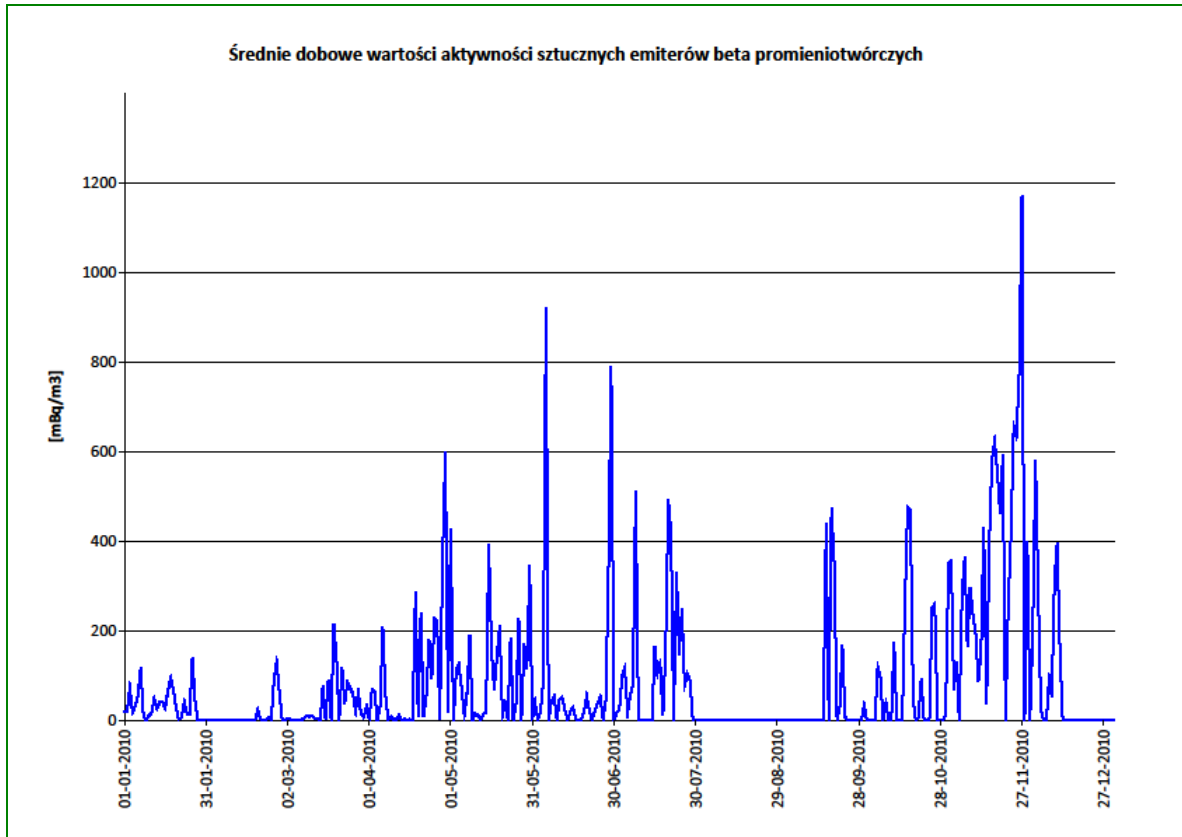
Rys. 37. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Włodawa w 2010 r.



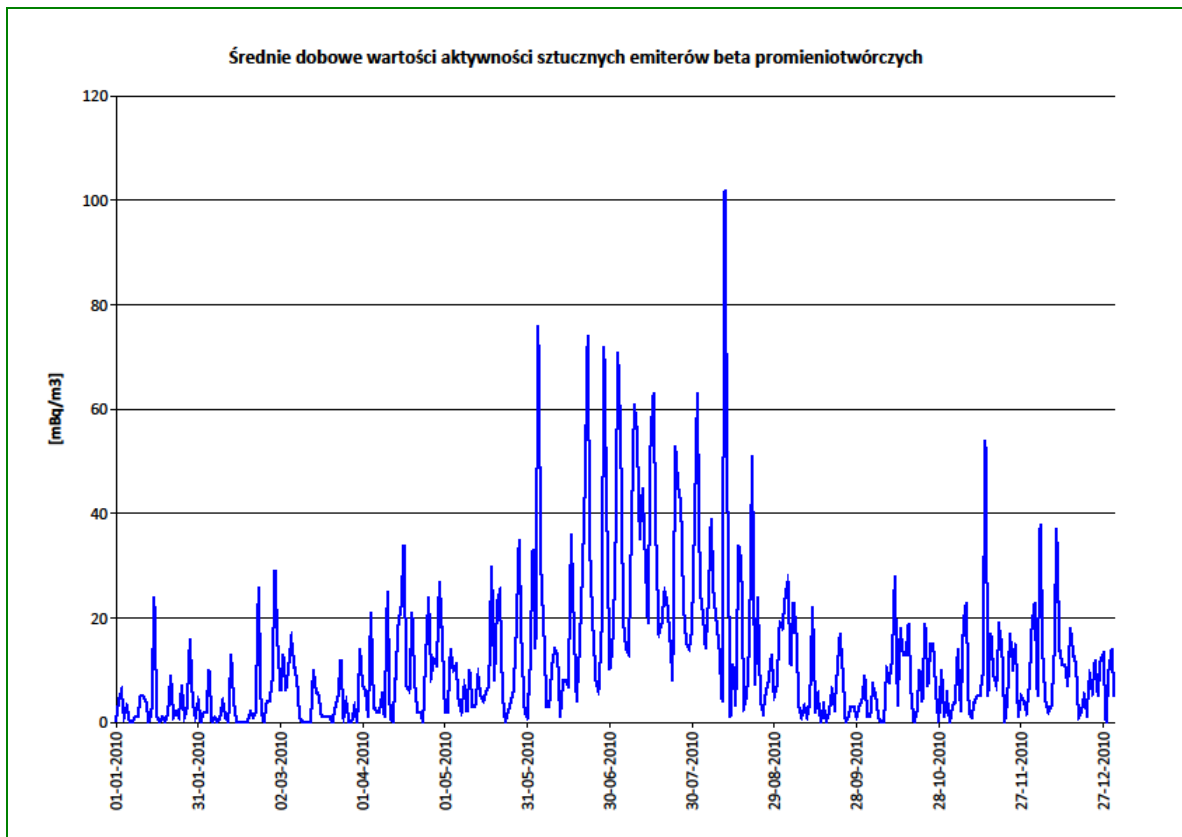
Rys. 38. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Zakopane w 2010 r.



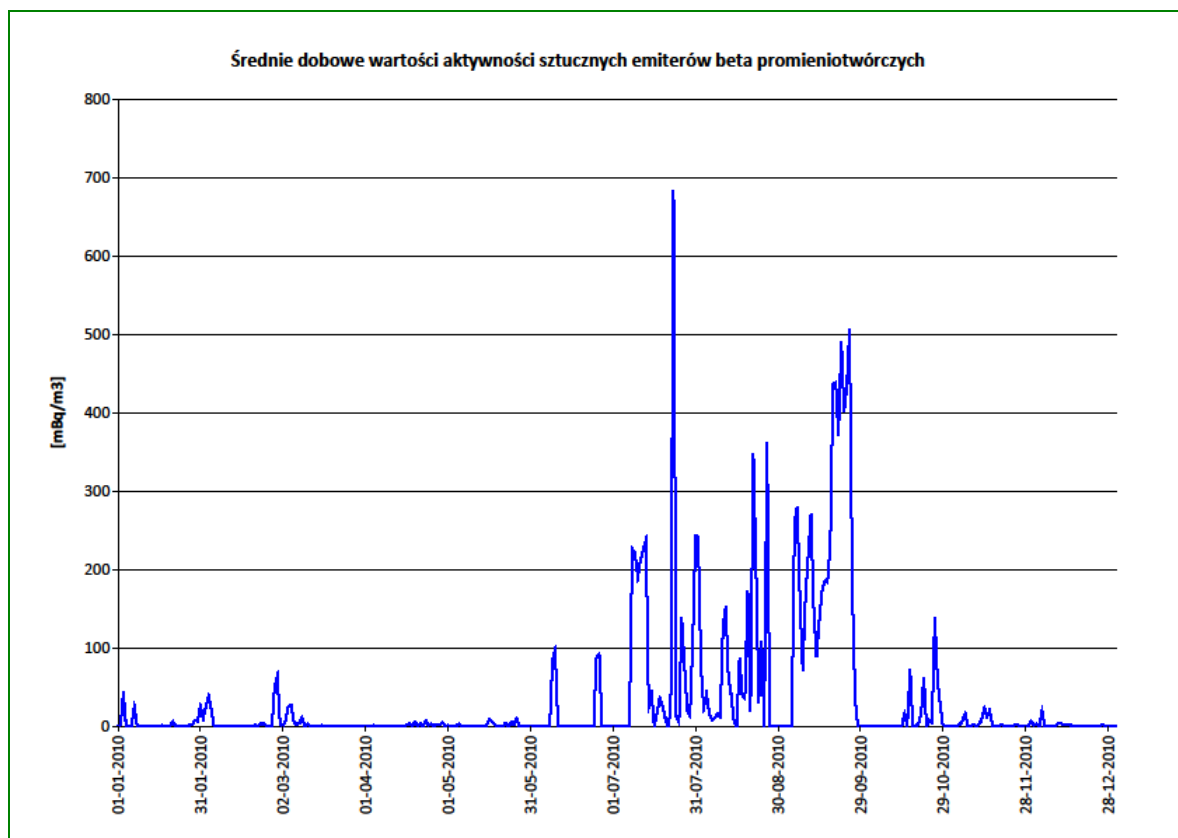
Rys. 39. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli beta sztucznych zmierzone na stacji Mikołajki w 2010 r.



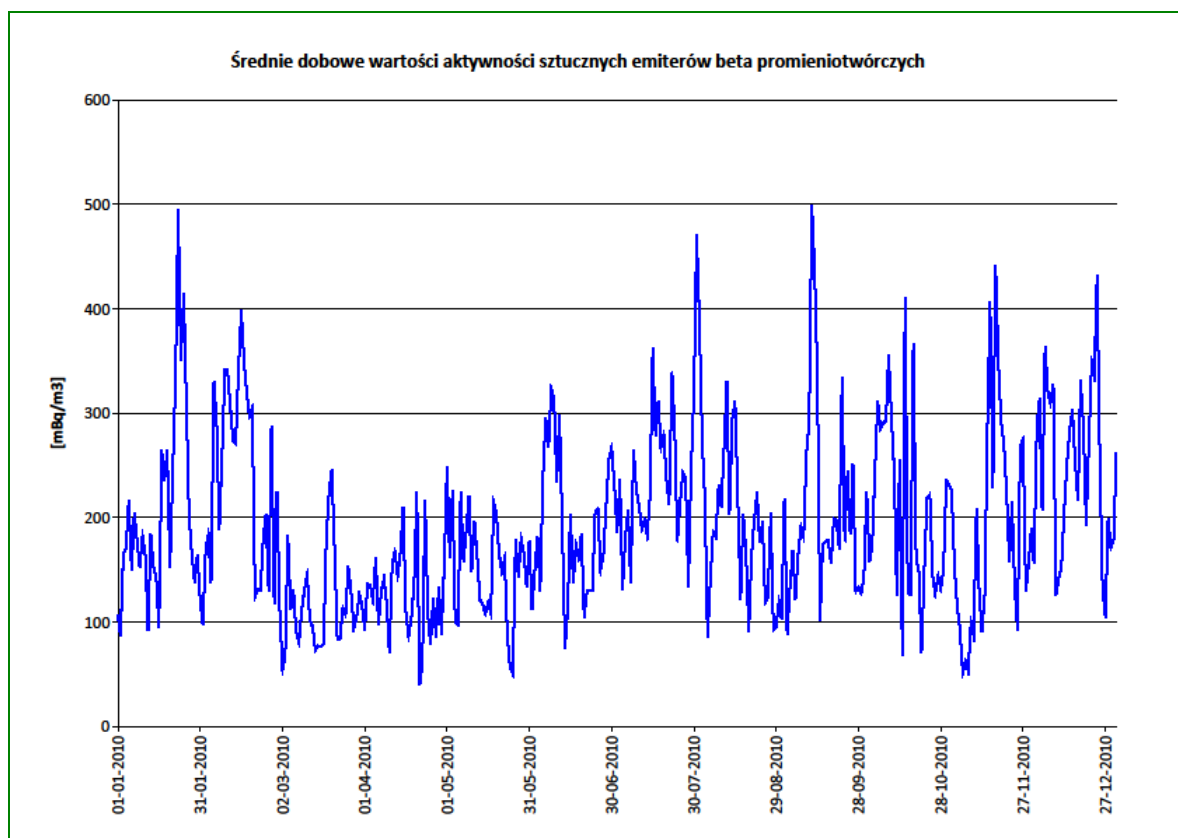
Rys. 40. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli beta sztucznych zmierzone na stacji Gorzów Wlkp. w 2010 r.



Rys. 41. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli beta sztucznych zmierzone na stacji Świnoujście w 2010 r.

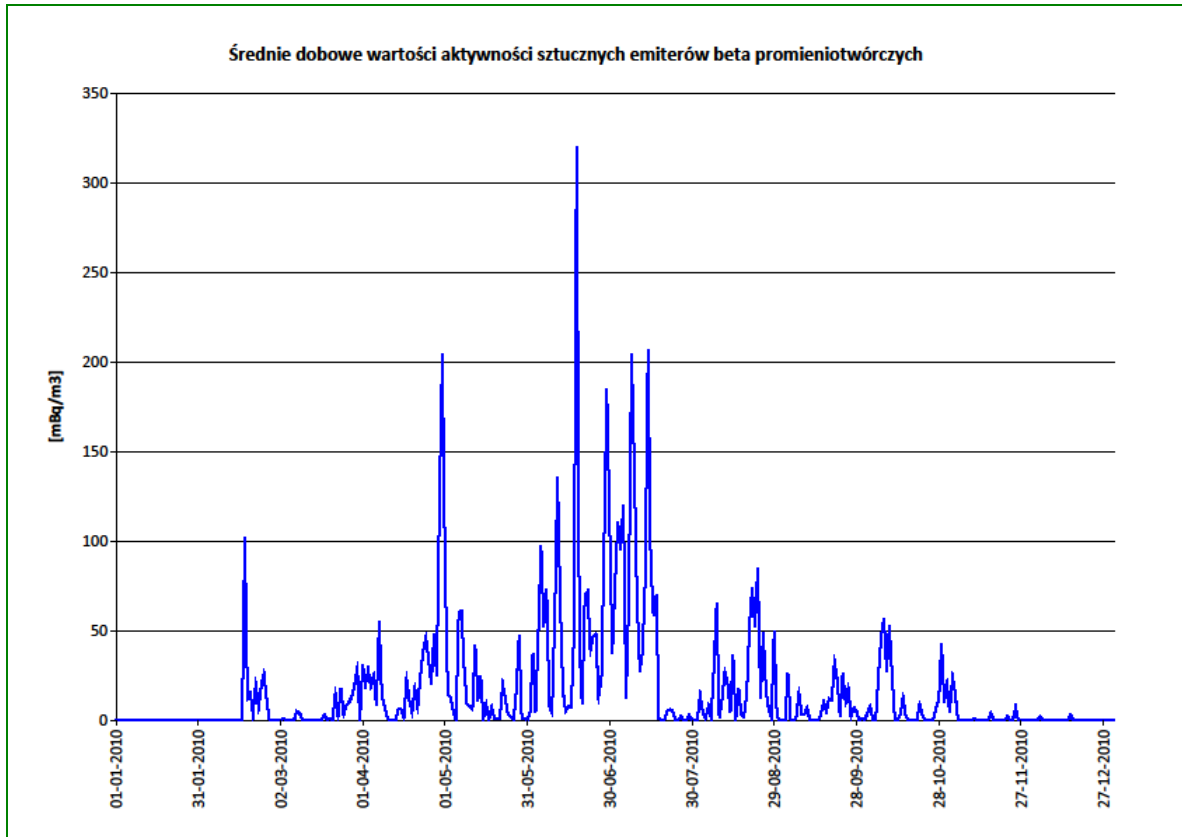


Rys. 42. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Legnica w 2010 r.

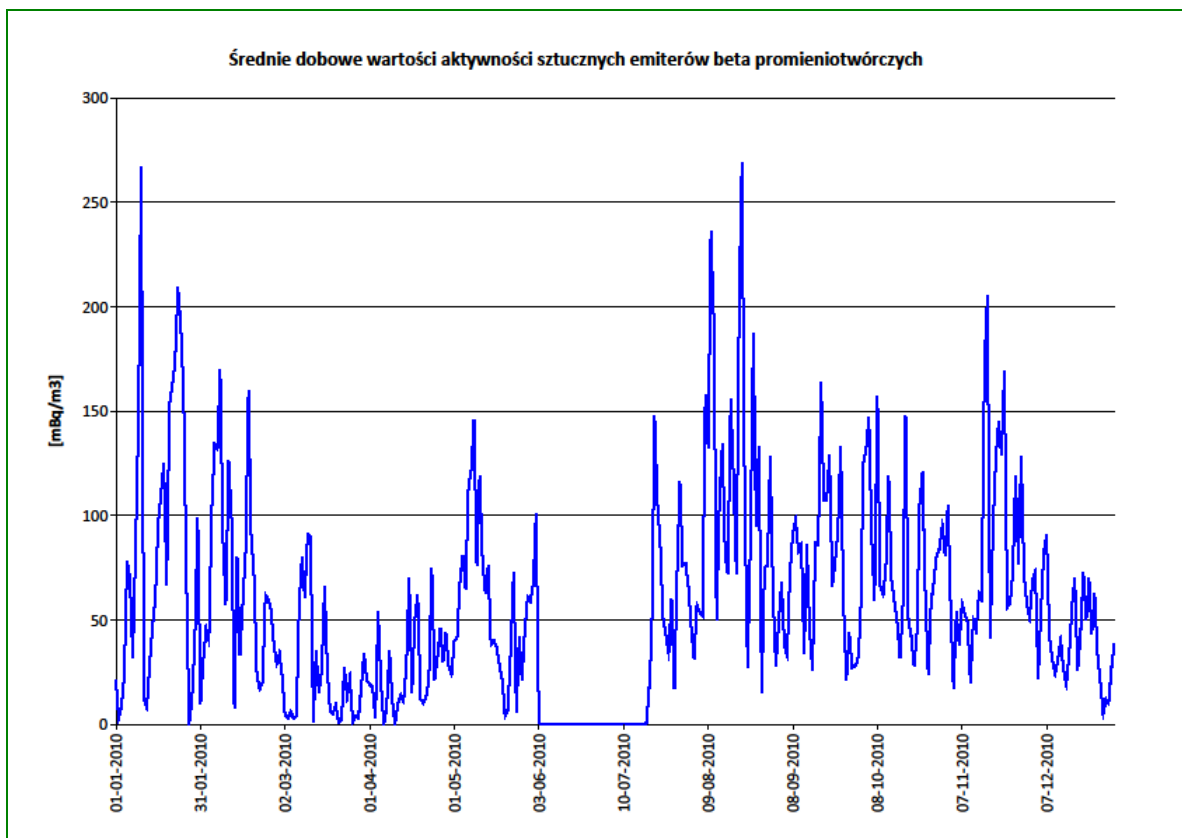


Rys. 43. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Włodawa w 2010 r.





Rys. 44. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli alfa sztucznych zmierzone na stacji Lesko w 2010 r.



Rys. 45. Średnie dobowe wartości aktywności aerozoli beta sztucznych zmierzone na stacji Zakopane w 2010 r.

### 4.3 Globalna aktywność beta opadu całkowitego i atmosferycznego

#### 4.3.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010

Dla oszacowania wielkości stopnia radioaktywności powierzchni obszaru kraju, opadającymi z atmosfery izotopami promieniotwórczymi, policzono sumy aktywności beta dobowych próbek opadu całkowitego zmierzonych w ciągu 365 dni w poszczególnych placówkach. Wartości te znajdują się w przedziale od 0,094 kBq/m<sup>2</sup> (Świnoujście) do 0,501 kBq/m<sup>2</sup> (Zakopane). Średnia sumaryczna aktywność beta opadu całkowitego dobowego z sieci 9 stacji dla 365 dni za okres od 01-01-2010 do 31-12-2010 r. wynosi 0,332 kBq/m<sup>2</sup>. Wysoka wartość sumy rocznej w Zakopanem oraz wartość niska w Świnoujściu wynika z położenia geograficznego tych miast. Teren górzysty w jakim jest położone Zakopane jest bogatszy w składniki radioaktywności naturalnej niż teren nadmorski w jakim leży Świnoujście.

Tabela 19. Zakres aktywności beta opadu całkowitego dobowego zmierzona w ciągu roku oraz roczna suma aktywności beta opadu całkowitego dobowego, 2010 r.

Lp.	Stacja	Wartość minimalna (w Bq/m <sup>2</sup> )	Wartość maksymalna (w Bq/m <sup>2</sup> )	Wartość średnia roczna (w Bq/m <sup>2</sup> )	Suma roczna (w kBq/m <sup>2</sup> )
1	Warszawa	*0	7	1	0,295
2	Gdynia	0	3	1	0,267
3	Mikołajki	0	4	1	0,416
4	Poznań.	0	3	1	0,308
5	Świnoujście	0	2	0	0,094
6	Legnica	0	4	1	0,404
7	Włodawa	0	3	1	0,359
8	Zakopane	0	3	1	0,501
9	Lesko	0	3	1	0,348
	Wartość minimalna	0			<b>0,094</b>
	Wartość maksymalna		7		<b>0,501</b>
	Wartość średnia			1	<b>0,332</b>

\*Wartość zero wynika 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.

W ciągu 12 miesięcy tj. od 01-01-2010 r. do 31-12-2010 r. zmierzone aktywności próbek opadu całkowitego dobowego znajdowały się w granicach od 0 do 7 Bq/m<sup>2</sup>.

Maksymalna wartość aktywności próbki opadu całkowitego dobowego została zarejestrowana w Warszawie i wyniosła 7 Bq/m<sup>2</sup>. Za tę anomalną wartość odpowiedzialne są krótko życiowe naturalne izotopy występujące w środowisku. Aktywność zmierzona ponownie po 30 dniach spadła do wartości poniżej 4 Bq/m<sup>2</sup>. Oznacza to poziom wartości codziennych.

Wartości aktywności zmierzonego opadu całkowitego są bardzo niskie.

Przejdźmy teraz do omówienia zmierzonych wartości opadu miesięcznego w roku 2010.

Z tabeli 20 wynika, że wartość maksymalną uzyskano w Warszawie a wartość minimalną w Świnoujściu. Niska wartość wynika z warunków atmosferycznych gdyż z powodu silnych nadmorskich wiatrów aerozole radioaktywne w powietrzu są wywiewane podczas spokojnego transportu. Podobnie niskie wartości widać w kolejnym nadmorskim mieście, czyli Gdyni.

Tabela 20. Zakres wartości aktywności beta opadu miesięcznego zmierzony w roku 2010.

Lp.	Stacja	Wartość minimalna (w Bq/m <sup>2</sup> )	Wartość maksymalna (w Bq/m <sup>2</sup> )	Wartość średnia roczna (w Bq/m <sup>2</sup> )
1	Warszawa	7	19	10
2	Gdynia	3	13	7
3	Mikołajki	6	15	10
4	Poznań.	5	12	9
5	Świnoujście	1	7	3
6	Legnica	3	15	8
7	Włodawa	5	15	8
8	Zakopane	5	17	11
9	Lesko	5	11	9
	Wartość minimalna	1		
	Wartość maksymalna		19	
	Wartość średnia			<b>8</b>

Następnym parametrem, którym się zajmiemy jest aktywność wody opadowej. Jak już wspomnieliśmy jest to parametr wyliczany z aktywności beta próbek opadu całkowitego dobowego oraz z wysokości opadu atmosferycznego dobowego w danym dniu pomiarowym, jeśli wysokość deszczu była większa lub równa 1,0 milimetr.

W tabeli 21 pokazany jest zakres wyliczonych aktywności wody opadowej.

Tabela 21. Zakres wartości wody opadowej miesięcznej zmierzony w roku 2010.

Lp.	Stacja	Wartość minimalna (w mBq/l)	Wartość maksymalna (w mBq/l)	Wartość średnia roczna (w mBq/l)
1	Warszawa	0	1138	270
2	Gdynia	0	1053	321
3	Mikołajki	1	1111	409
4	Poznań	0	1667	300
5	Świnoujście	0	1818	156
6	Legnica	0	1176	396
7	Włodawa	0	1151	382
8	Zakopane	12	2000	417
9	Lesko	23	1064	300
	Wartość minimalna	0		156
	Wartość maksymalna		2000	417
	Wartość średnia			<b>328</b>

Wartość średnia roczna wyniosła 328 mBq/l. Największą wartość średnią roczną zmierzono w roku 2010 w Zakopanem i wyniosła 417 mBq/l natomiast najmniejsza wartość była zmierzona w Świnoujściu i wyniosła 156 mBq/l. Różnice w pomiarach wynikają z położenie geograficznego

Analogicznie jak w przypadku opadu całkowitego, w terenie górzystym w jakim jest położone Zakopane znajduje więcej izotopów radioaktywnych w powietrzu. Natomiast w terenie nadmorskim, w jakim leży Świnoujście izotopów jest znacznie mniej. Spowodowane jest to otwartą przestrzenią i silnymi wiatrami. Podmuchy wiatru wywiewają naturalne cząstki radioaktywne w powietrzu w kierunku morza.

#### 4.3.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Przeanalizujmy teraz średnią sumę roczną aktywności beta opadu całkowitego dobowego na tle poprzednich lat. Jak widzimy w tabeli 22 suma roczna za rok 2010, leży w granicach wartości notowanych w latach ubiegłych i jej odchylenie od średniej jest niewielkie. Wartości maksymalne zmierzono w latach 2001, 2002 i 2004 a wartość minimalną zmierzono w roku 2008. Wartości oscylują wokół wartości 0,32 kBq/m<sup>2</sup> rok i nie można zauważyć tendencji do wzrostu lub spadku rocznej sumarycznej aktywności beta.

Tabela 22. Sumaryczna aktywność beta średniego rocznego opadu całkowitego dobowego dla sieci 9 stacji w latach 2000 - 2010, kBq/m<sup>2</sup>rok.

Rok	Sumaryczna aktywność beta
2000	0,33
2001	0,34
2002	0,34
2003	0,32
2004	0,34
2005	0,32
2006	0,31
2007	0,31
2008	0,30
2009	0,33
2010	<b>0,33</b>
Średnia	0,32
Maksymalna	0,34
Minimalna	0,30

Analizując wyniki z tabeli nr 23 przedstawiającej wartości aktywności średniego miesięcznego opadu całkowitego dla wszystkich stacji od roku 2000 do 2010 pozwala zauważyć pewną tendencję wzrostową potwierdzoną największą wartością zmierzoną w 2010 roku.

Natomiast tabela nr 24 pokazująca średnią aktywność wody opadowej dla poszczególnych lat 2000 – 2010 wskazuje wyraźnie na istnienie stałej średniej wartości 352 mBq/l wokół, której w kolejnych latach oscylują wartości, co potwierdza pochodzenie mierzonych parametrów związane z naturalnymi procesami.

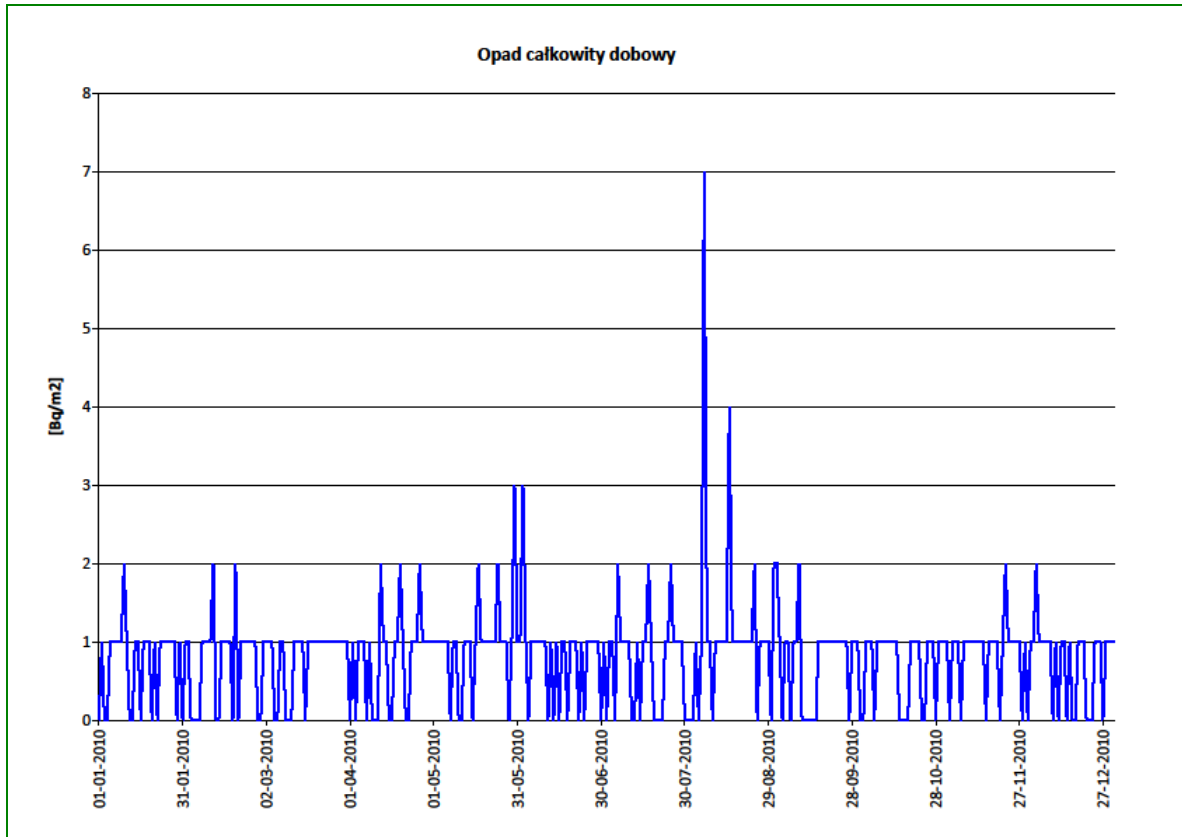
Tabela 23. Wartości aktywności średniego miesięcznego opadu całkowitego od roku 2000. (w Bq/m<sup>2</sup>)

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
Średnia	6,7
Minimalna	6
Maksymalna	8,2

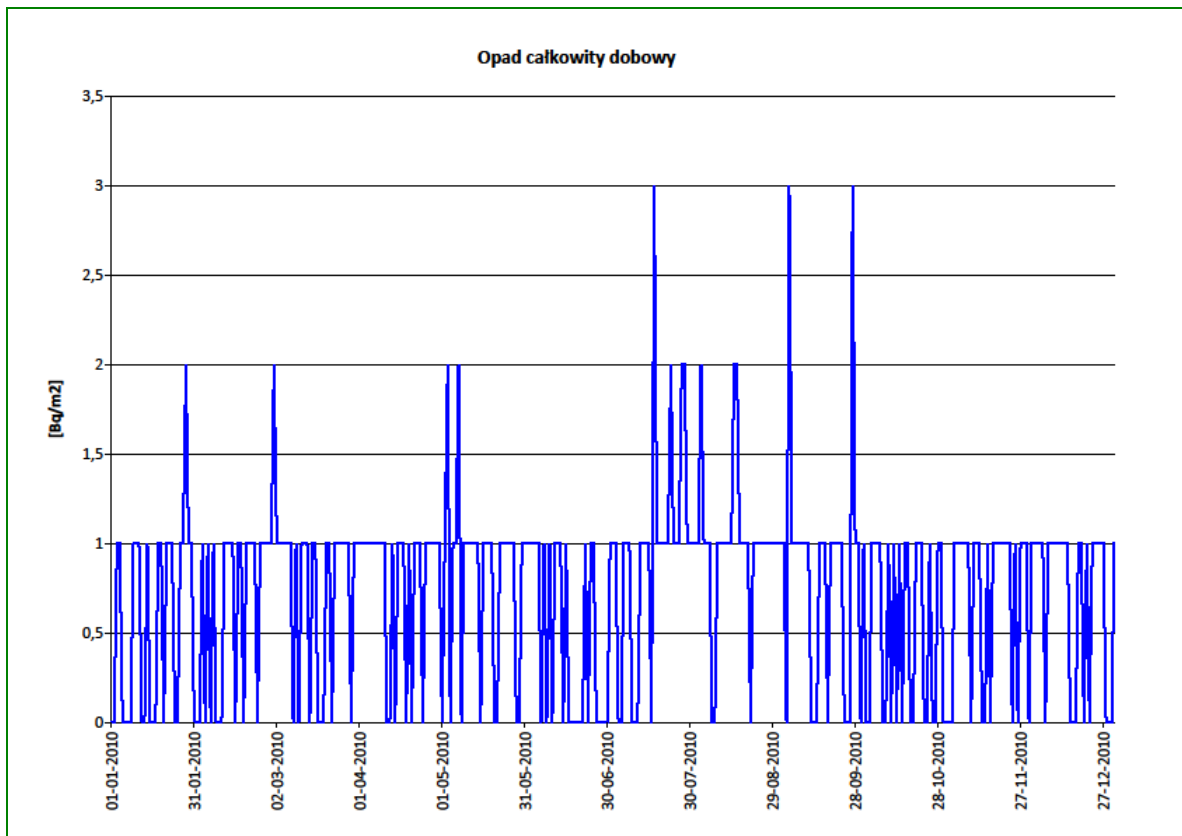
Tabela 24. Średnie wartości aktywności beta wody opadowej w latach 2000 - 2010.

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
Średnia	352
Minimalna	328
Maksymalna	376

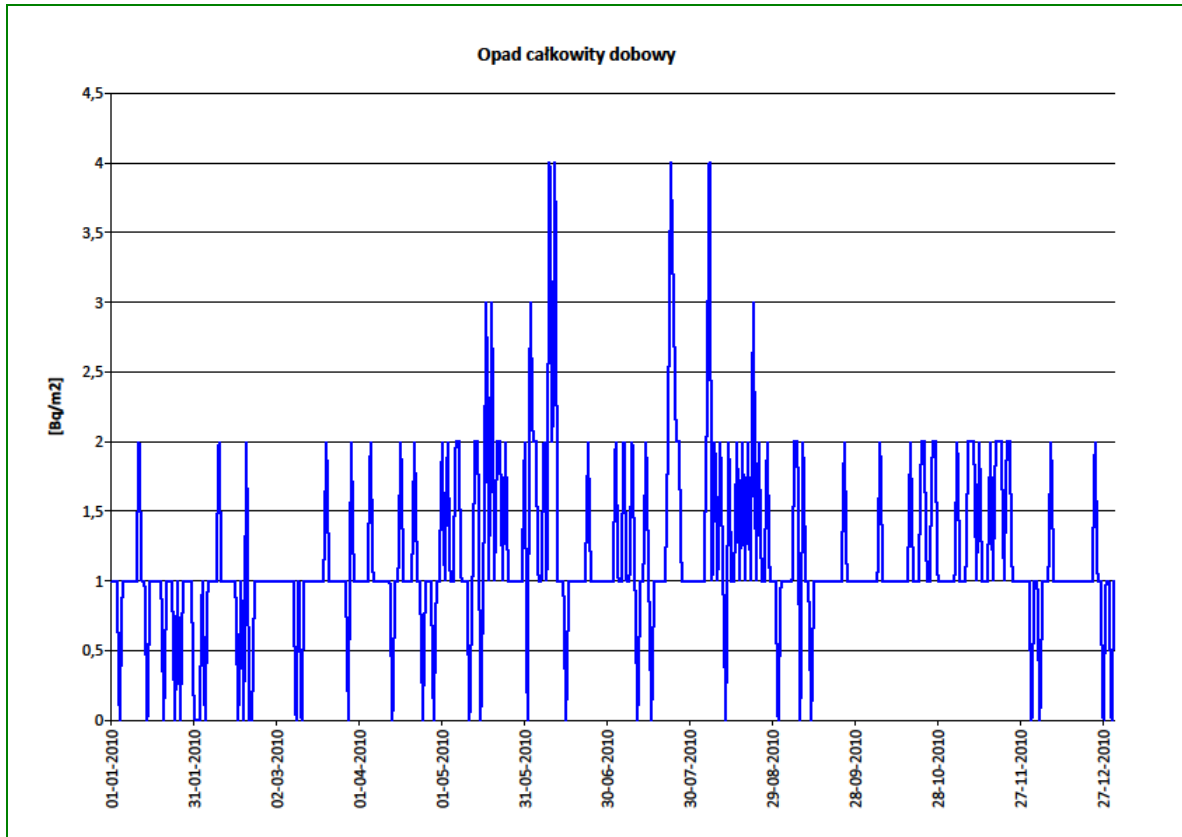
Wyniki pomiarów radioaktywności próbek całkowitego dobowego i miesięcznego za rok 2010 w postaci wykresów znajdują się na stronach 54-62.



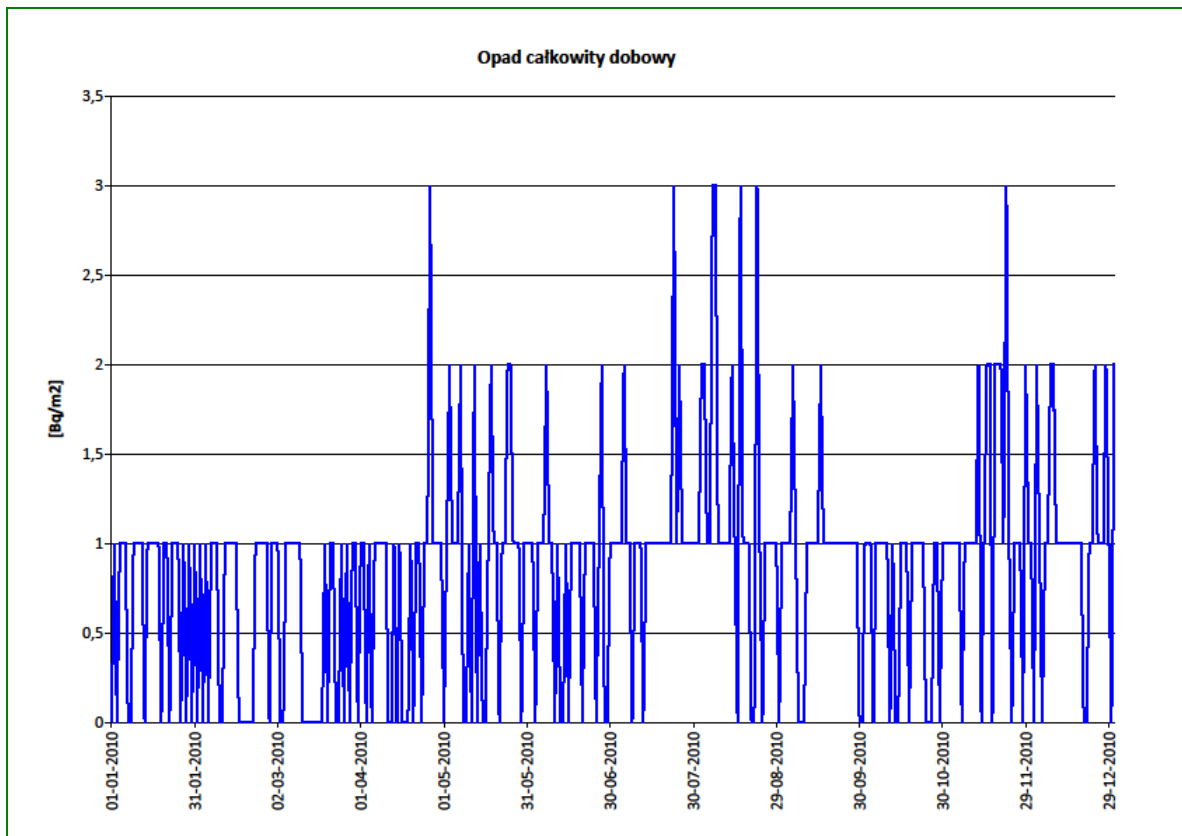
Rys. 46. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Warszawa w roku 2010.



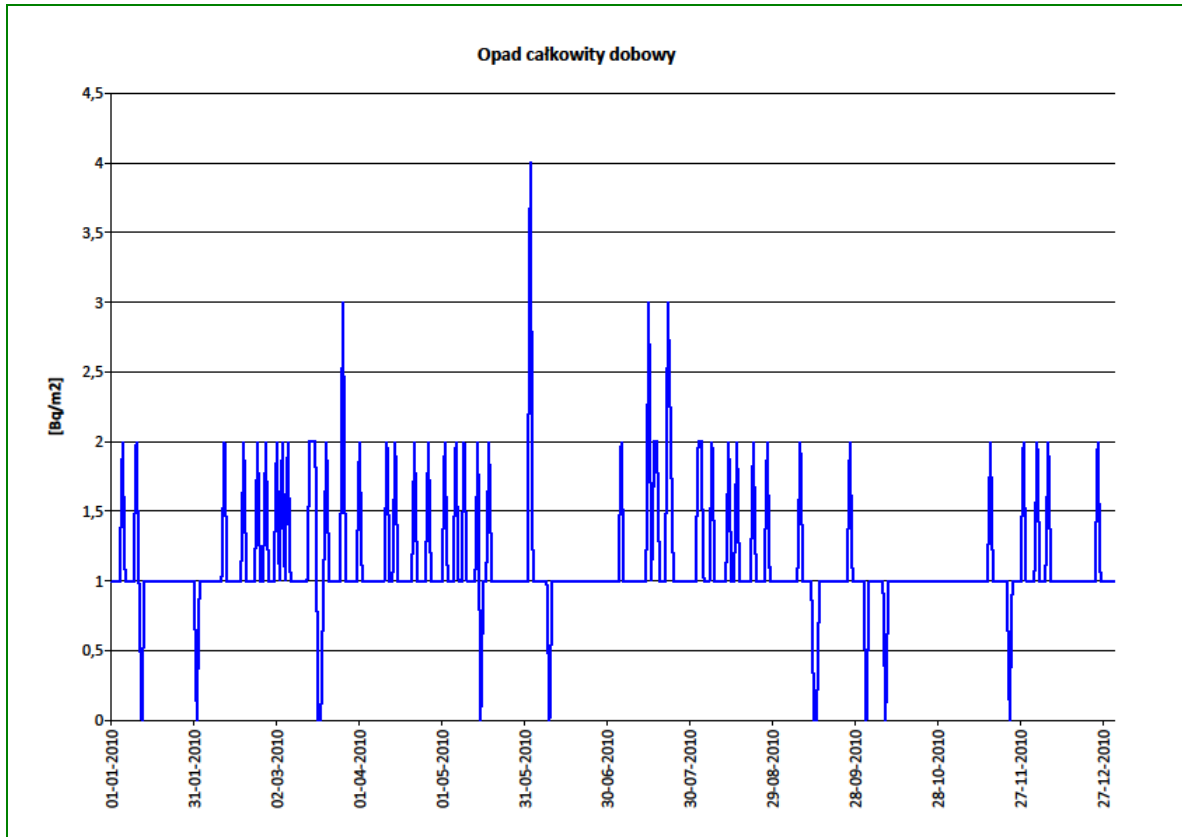
Rys. 47. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Gdynia w roku 2010.



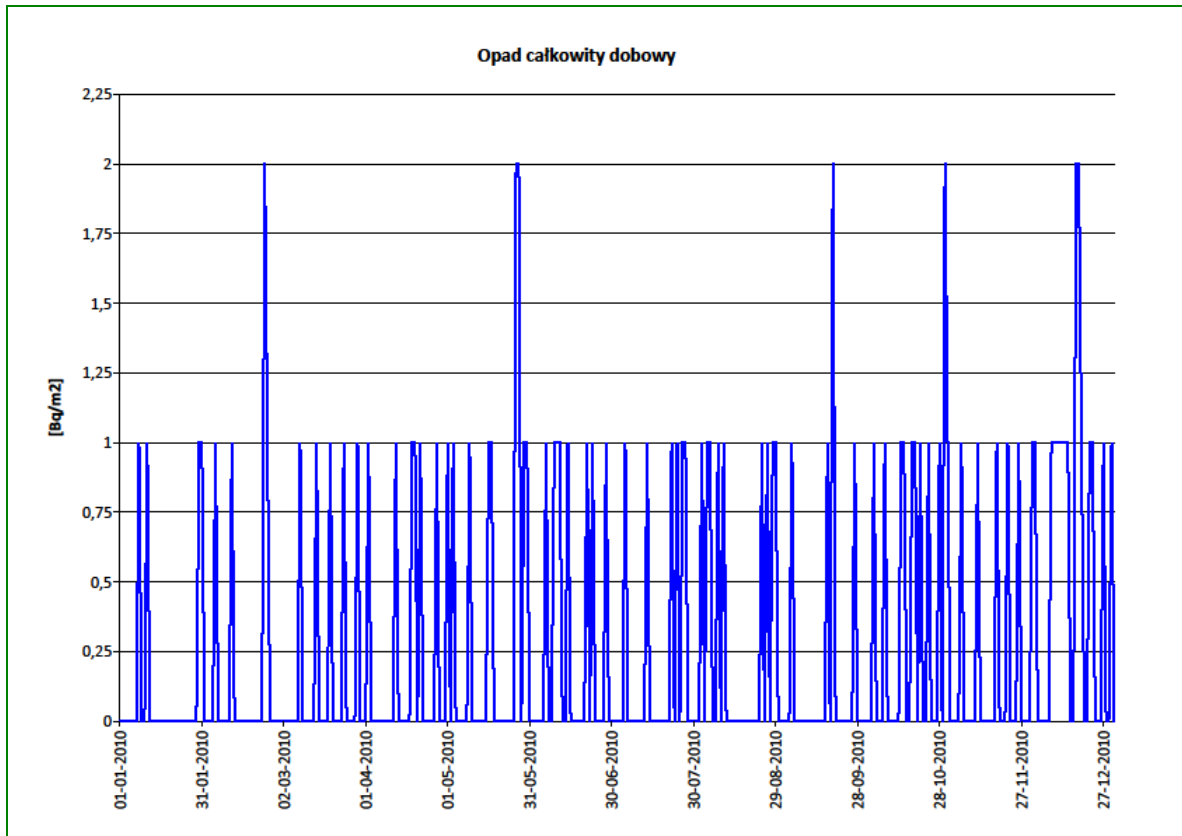
Rys. 48. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Mikołajki w roku 2010.



Rys. 49. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Gorzów Wlkp. w roku 2010.

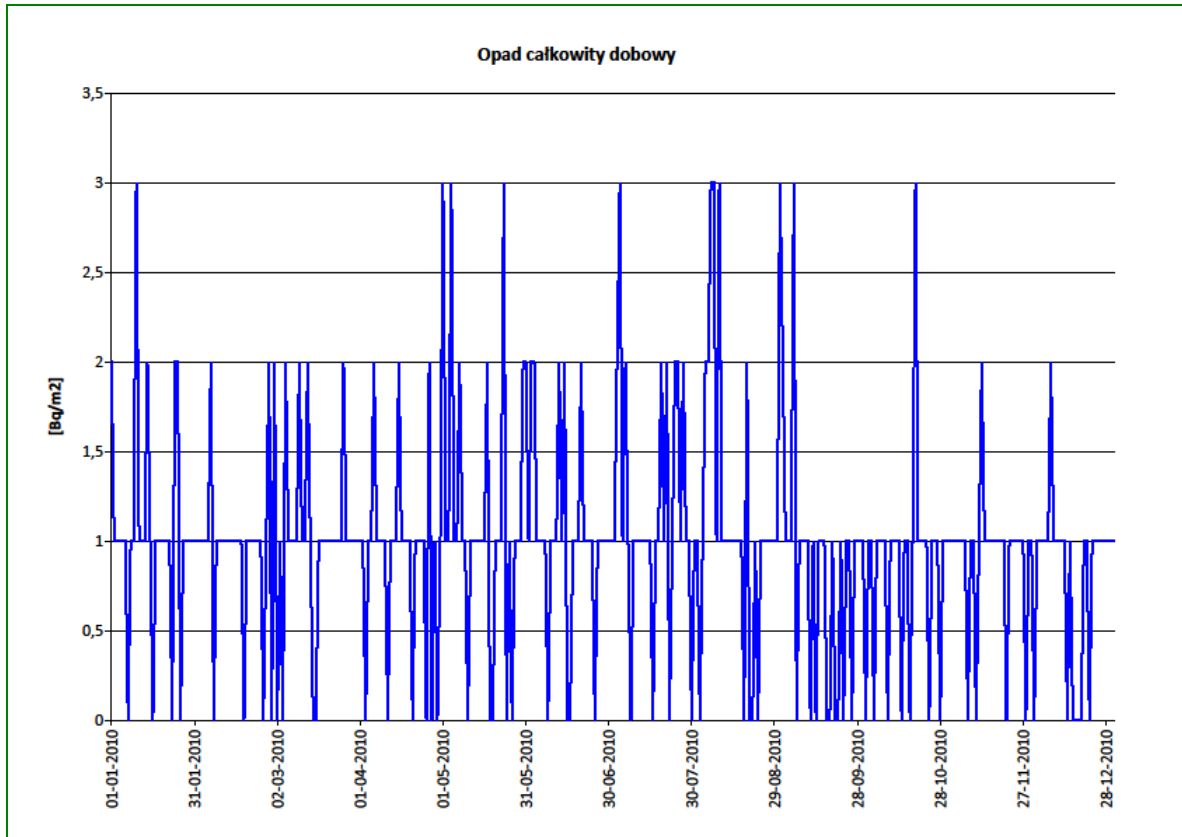


Rys. 50. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Świnoujście w roku 2010.

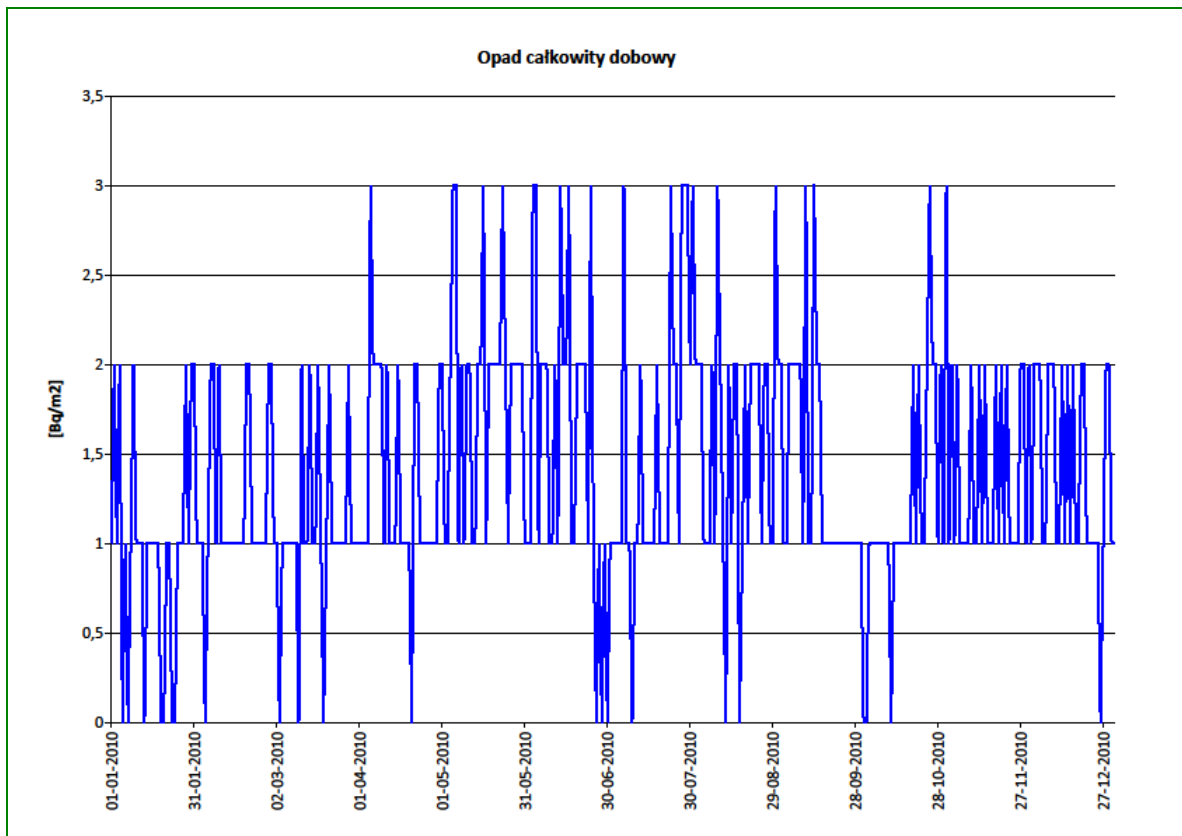


Rys. 51. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Legnica w roku 2010.

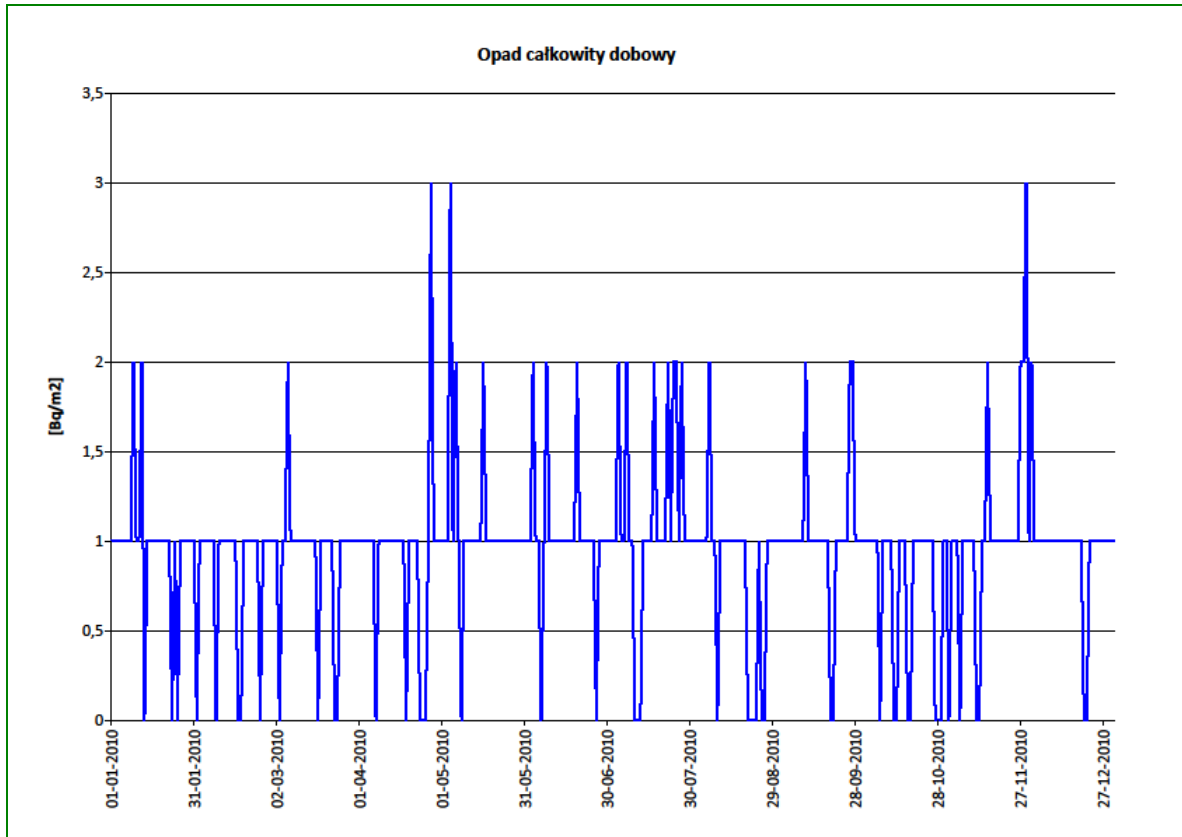




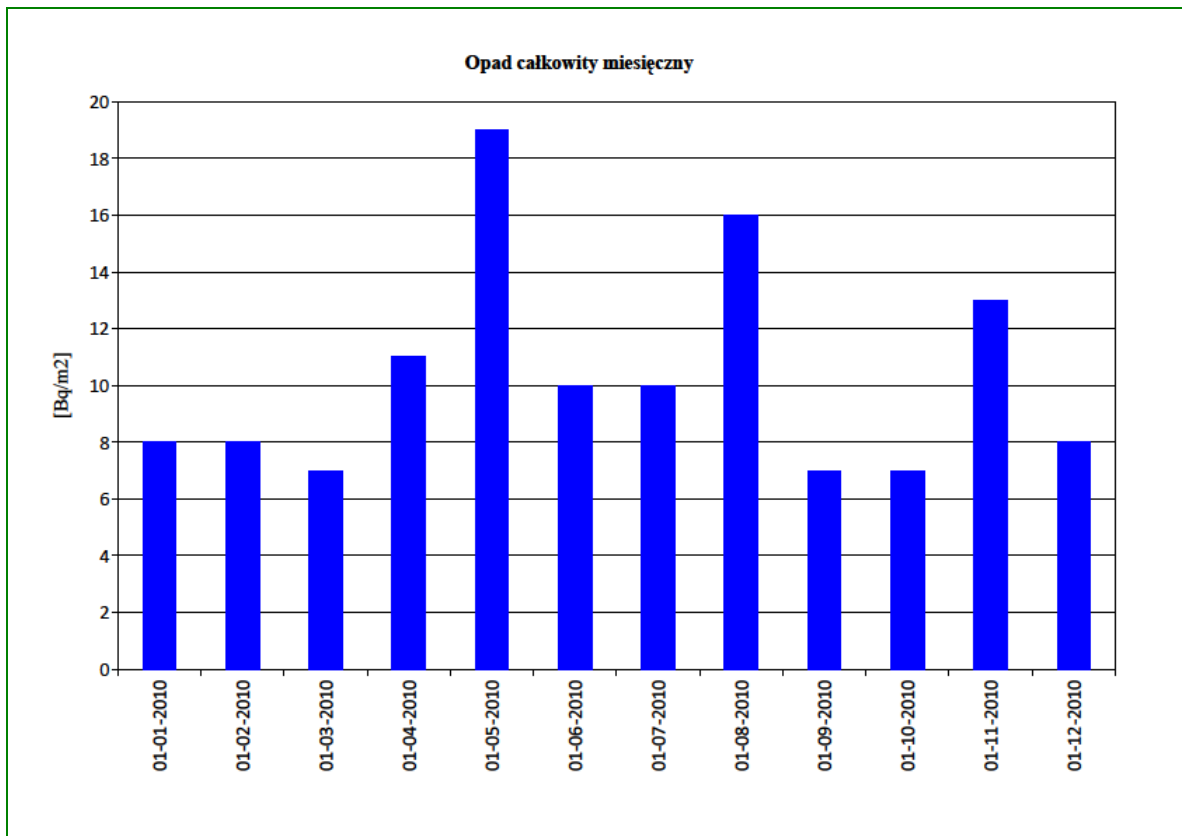
Rys. 52. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Włodawa w roku 2010.



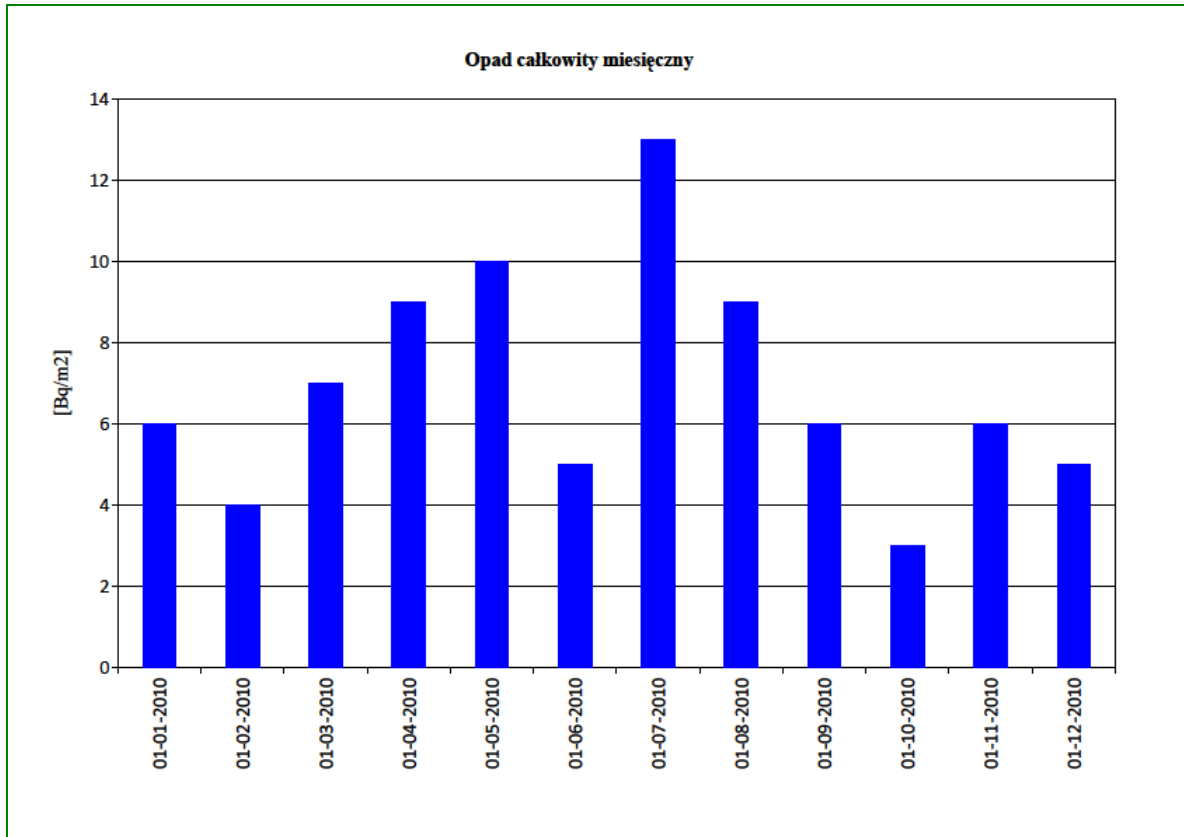
Rys. 53. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Zakopane w roku 2010.



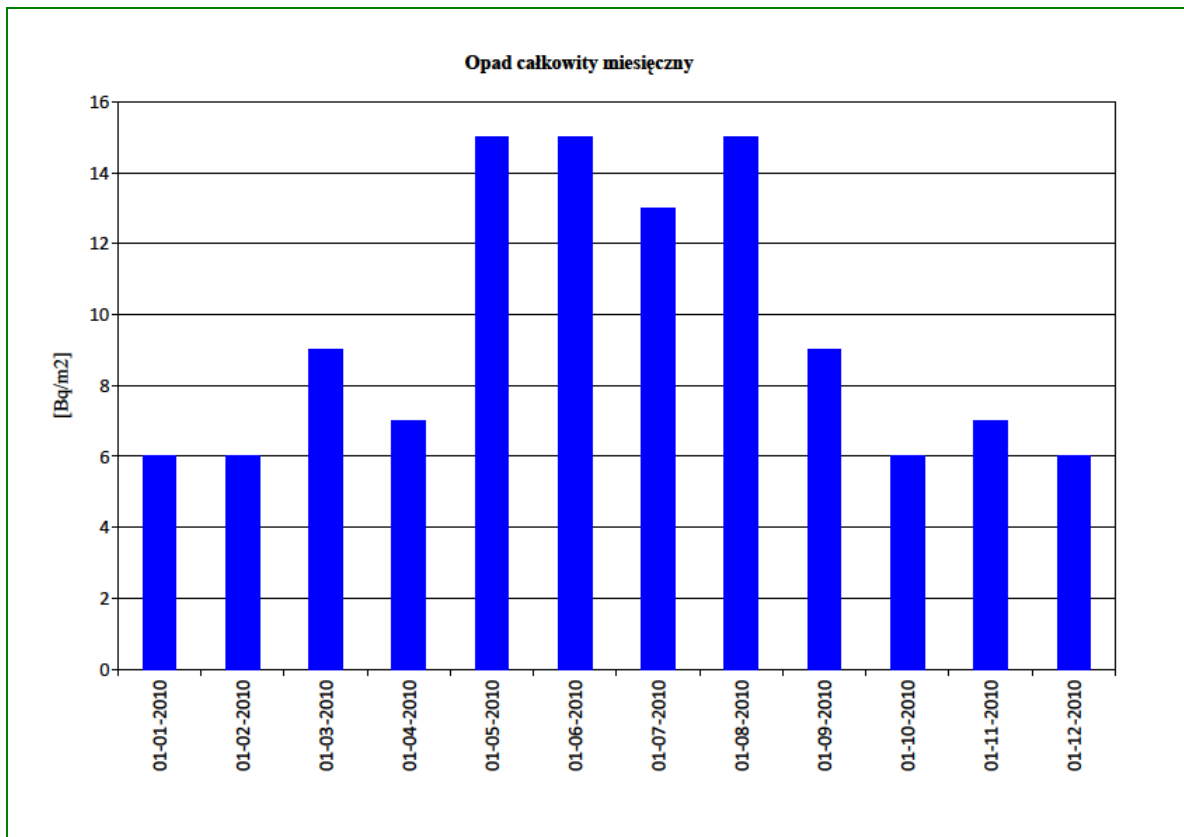
Rys. 54. Wartości aktywności dobowego opadu całkowitego uzyskane na stacji Lesko w roku 2010.



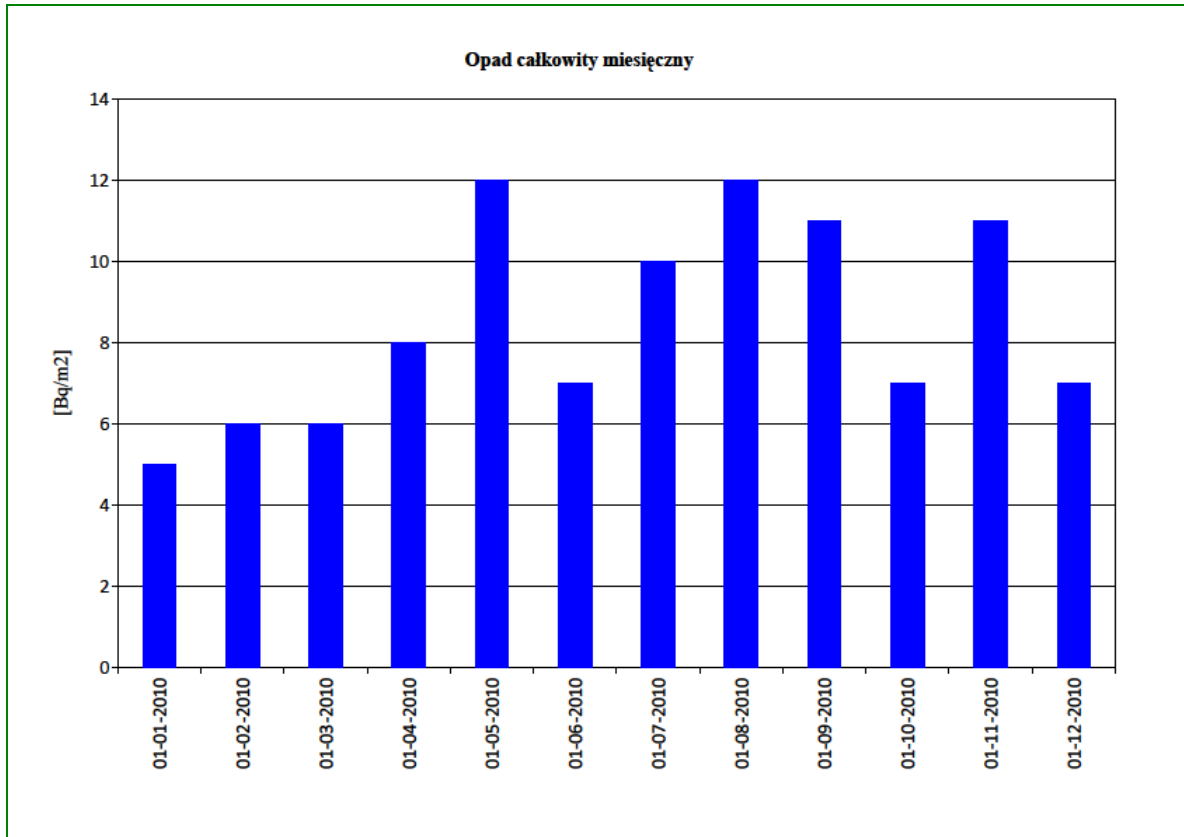
Rys. 55. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Warszawa w roku 2010.



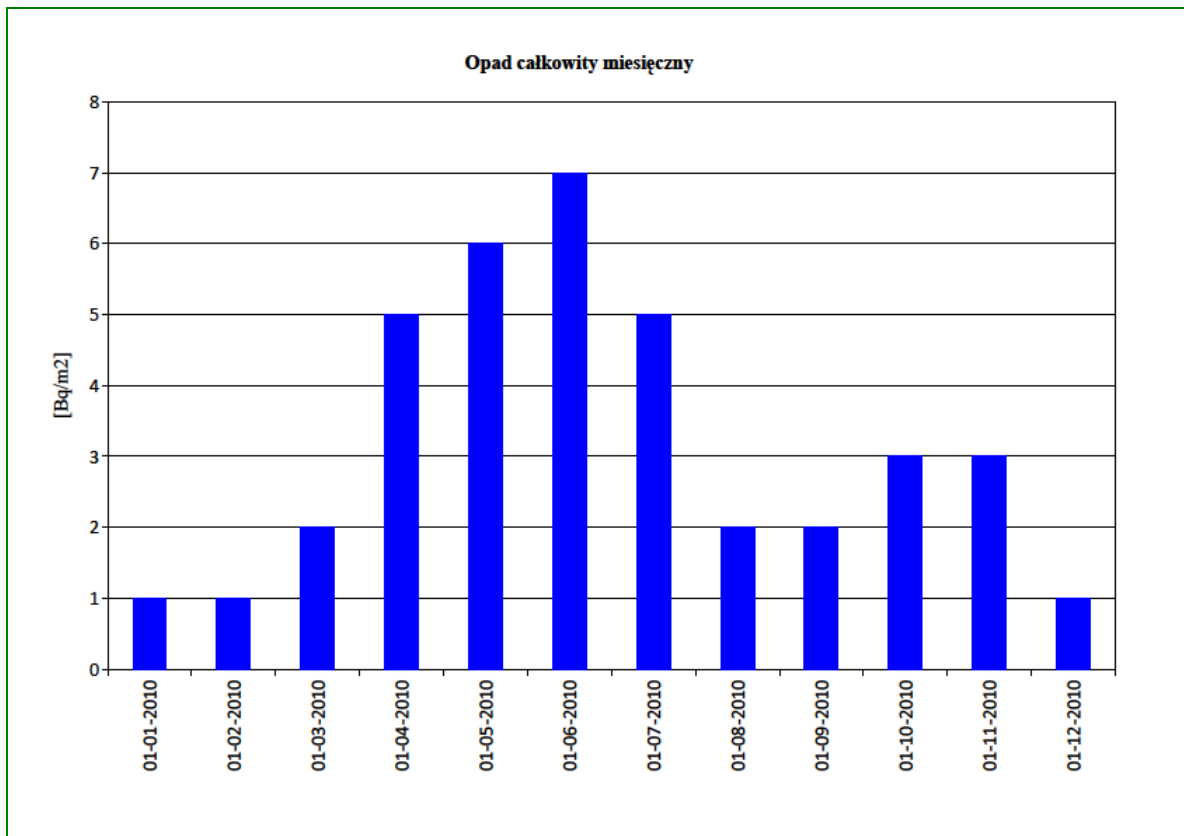
Rys. 56. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Gdynia w roku 2010.



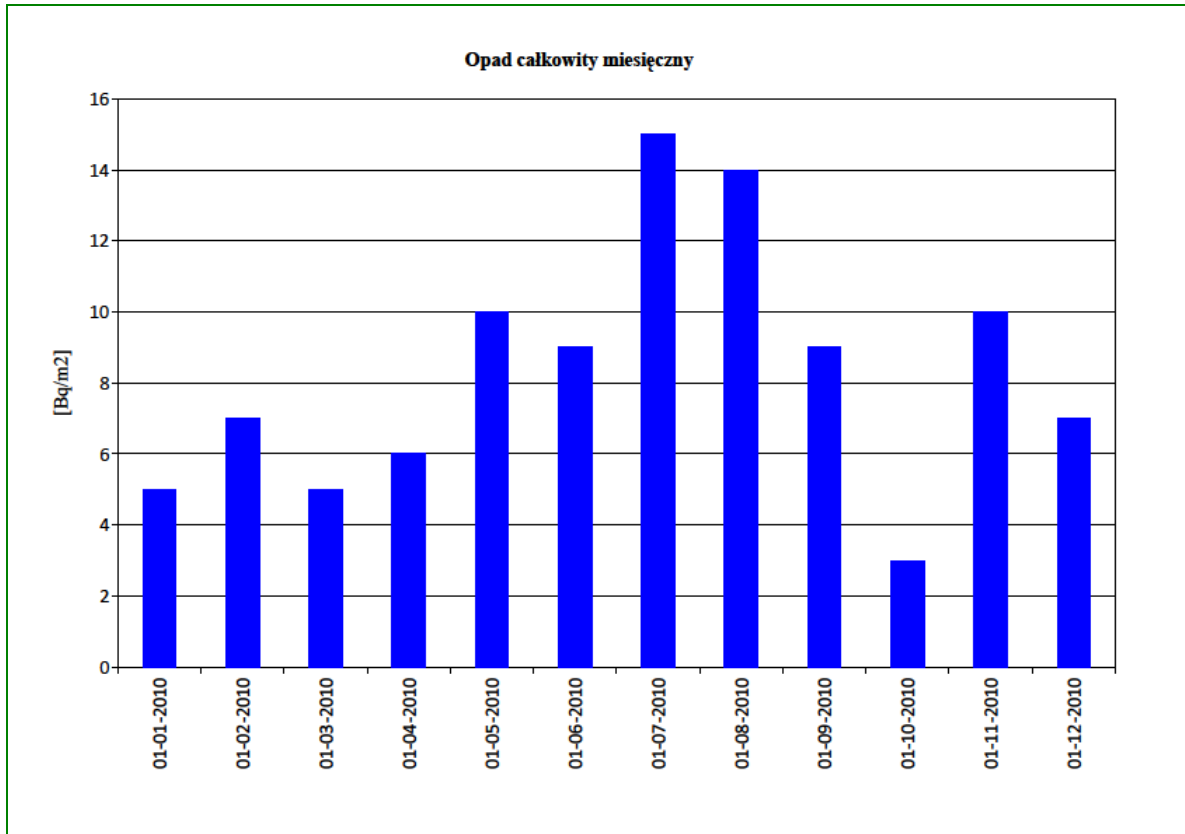
Rys. 57. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Mikołajki w roku 2010.



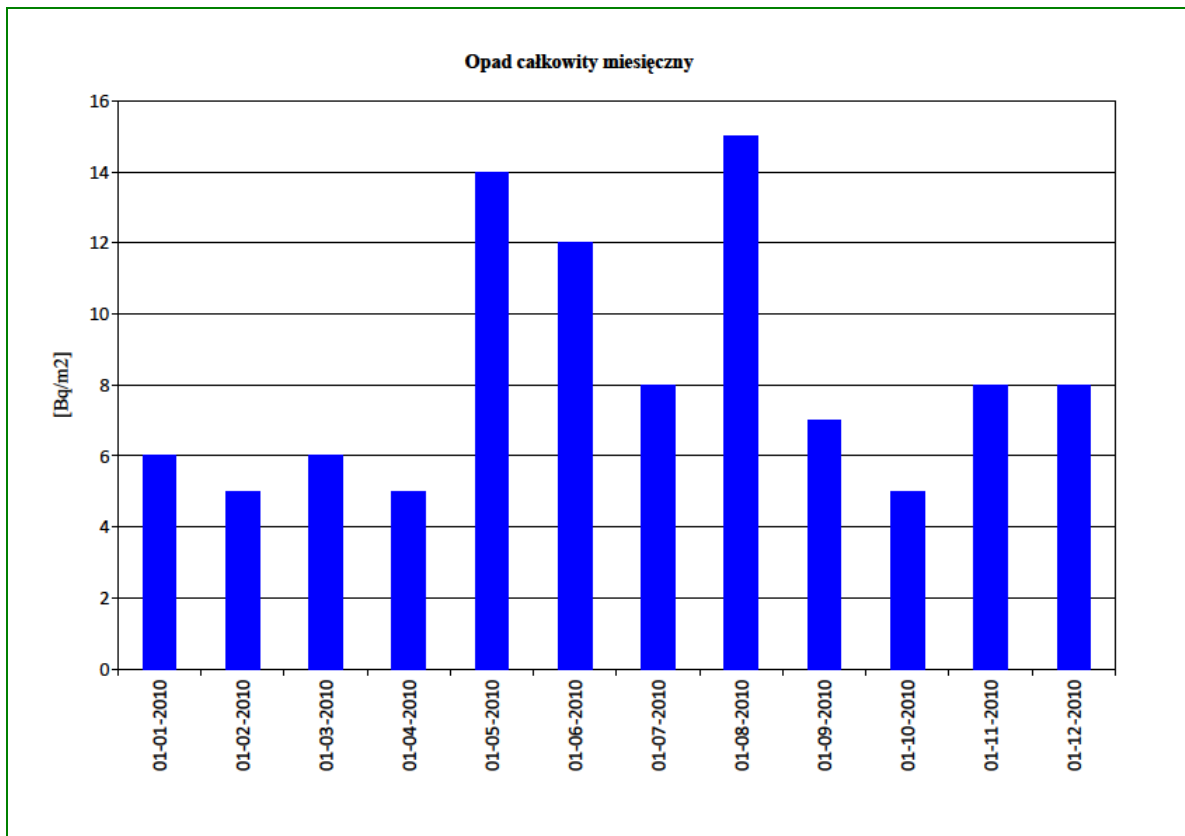
Rys. 58. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Gorzów Wlkp. w roku 2010.



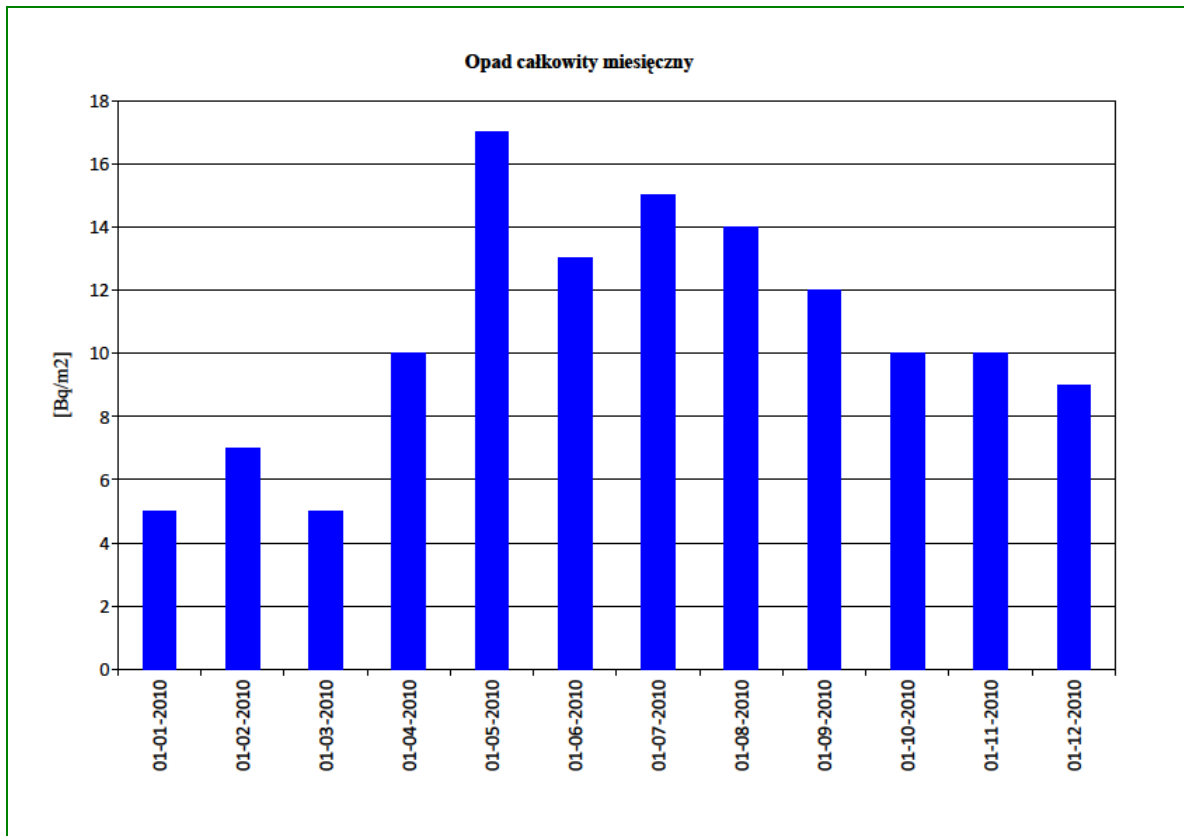
Rys. 59. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Świnoujście w roku 2010.



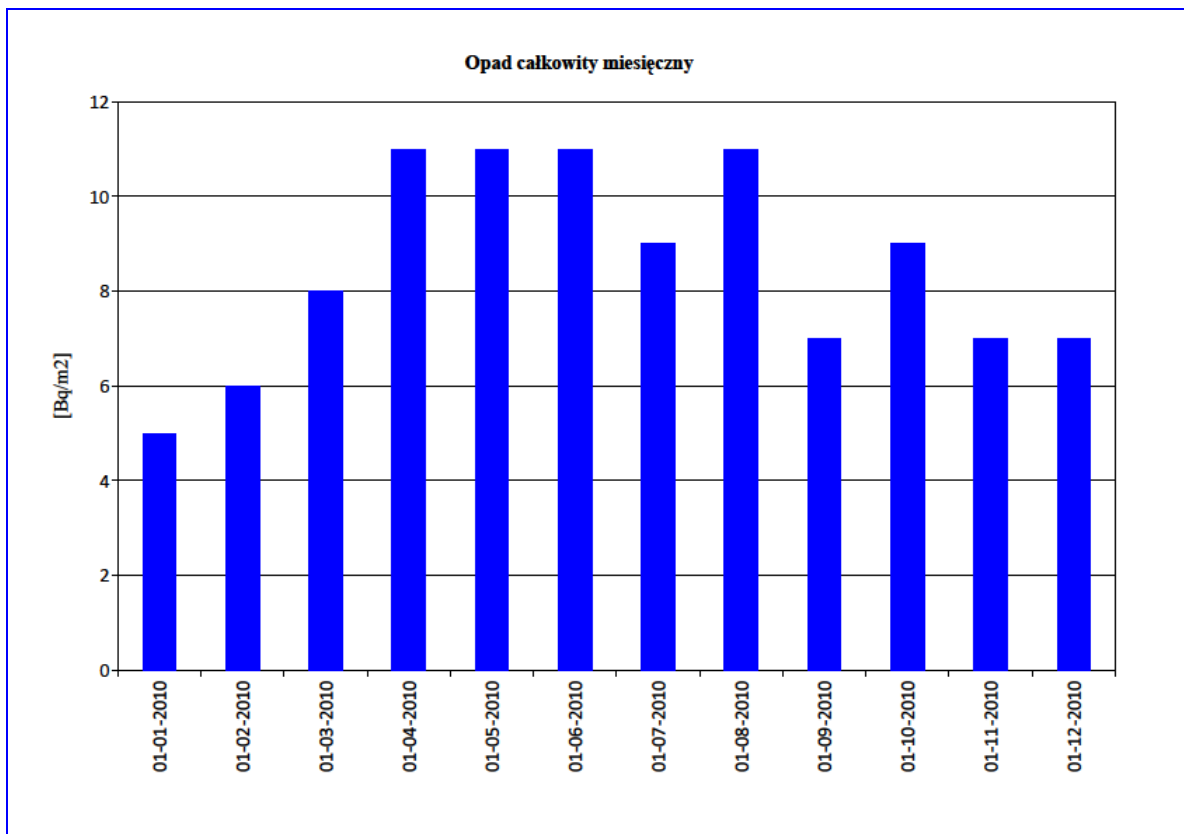
Rys. 61. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Legnica w roku 2010.



Rys. 62. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Włodawa w roku 2010.



Rys. 63. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Zakopane w roku 2010.



Rys. 64. Wartości aktywności miesięcznego opadu całkowitego uzyskane na stacji Lesko w roku 2010.

#### 4.4 Aktywność Cs-137 i wybranych sztucznych izotopów gamma promieniotwórczych w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego

##### 4.4.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010

W roku 2010 kontynuowano prowadzenie pomiarów spektrometrycznych zbiorczych próbek opadu całkowitego pod kątem zawartości izotopów sztucznych w tym Cezu-137 oraz Cezu-134.

W tabeli nr 25 zestawiono uzyskane wyniki pomiarów próbek z poszczególnych miesięcy.

Tabela 25. Aktywność Cs-137 w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w 2010 r.

Miesiąc	Cs-137, Bq/m <sup>2</sup>	Błąd pomiaru Bq/m <sup>2</sup>
Styczeń	0,011	0,002
Luty	0,012	0,002
Marzec	0,021	0,002
Kwiecień	0,043	0,003
Maj	0,120	0,010
Czerwiec	0,044	0,010
Lipiec	0,039	0,009
Sierpień	0,037	0,010
Wrzesień	0,013	0,008
Październik	0,018	0,009
Listopad	0,021	0,009
Grudzień	0,010	0,002
Suma roczna	<b>0,389</b>	
Średnia	<b>0,032</b>	
Minimalna	<b>0,010</b>	
Maksymalna	<b>0,120</b>	

Jak widzimy z powyższej tabeli aktywność Cs-137 waha w zakresie od 0,010 do 0,120 Bq/m<sup>2</sup>. Suma roczna aktywności wynosi 0,389 Bq/m<sup>2</sup>. Jest to wartość bardzo mała. Znaczącym wkładem do rocznej sumy jest wartość z miesiąca maja. Nie jest jasne, dlaczego tak duża wartość pojawiła się w tym miesiącu. Prawdopodobnie jest to związane z porami roku. Mianowicie pod koniec wiosny Cs-137 może się uwalniać z wyższych warstw atmosfery oraz z gleby.

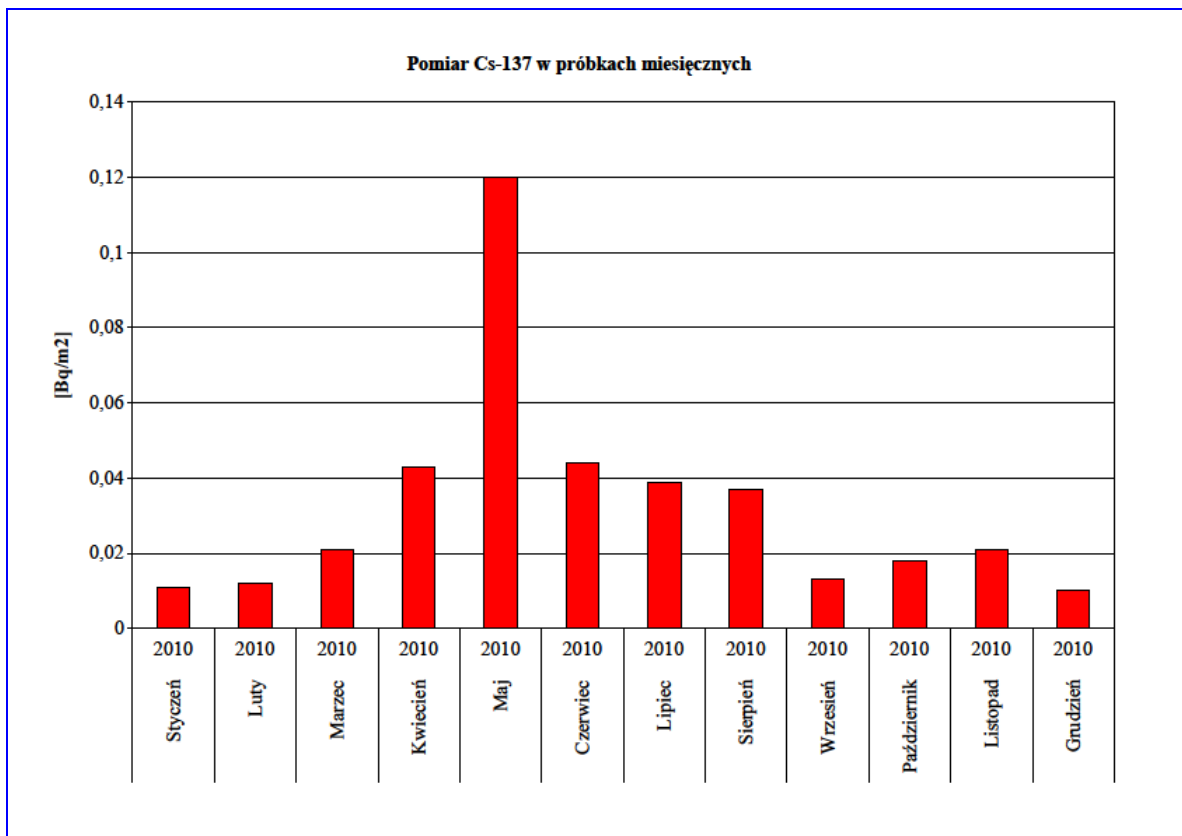
Kolejnym izotopem sztucznym, którym się zajmiemy jest Cs-134. W tabeli nr 26 na kolejnej stronie są przedstawione wyniki pomiarów tego izotopu w 2010 roku.

Uzyskane wartości mieszczą się w zakresie od 0,004 do 0,006 Bq/m<sup>2</sup>. Suma roczna aktywności wyniosła 0,036 Bq/m<sup>2</sup>. Wartości te są bardzo małe i na granicy oznaczalności. Dodatkowo od sierpnia do grudnia obserwujemy spadek aktywności Cs-134 poniżej progu wykrywalności. Brak jest jednoznacznych przyczyn tłumaczących to zjawisko. Prawdopodobnym powodem są procesy krążenie tego izotopu w przyrodzie.

Tabela 26. Aktywność Cs-134 w średnim miesięcznym opadzie całkowitym w 2010 roku.

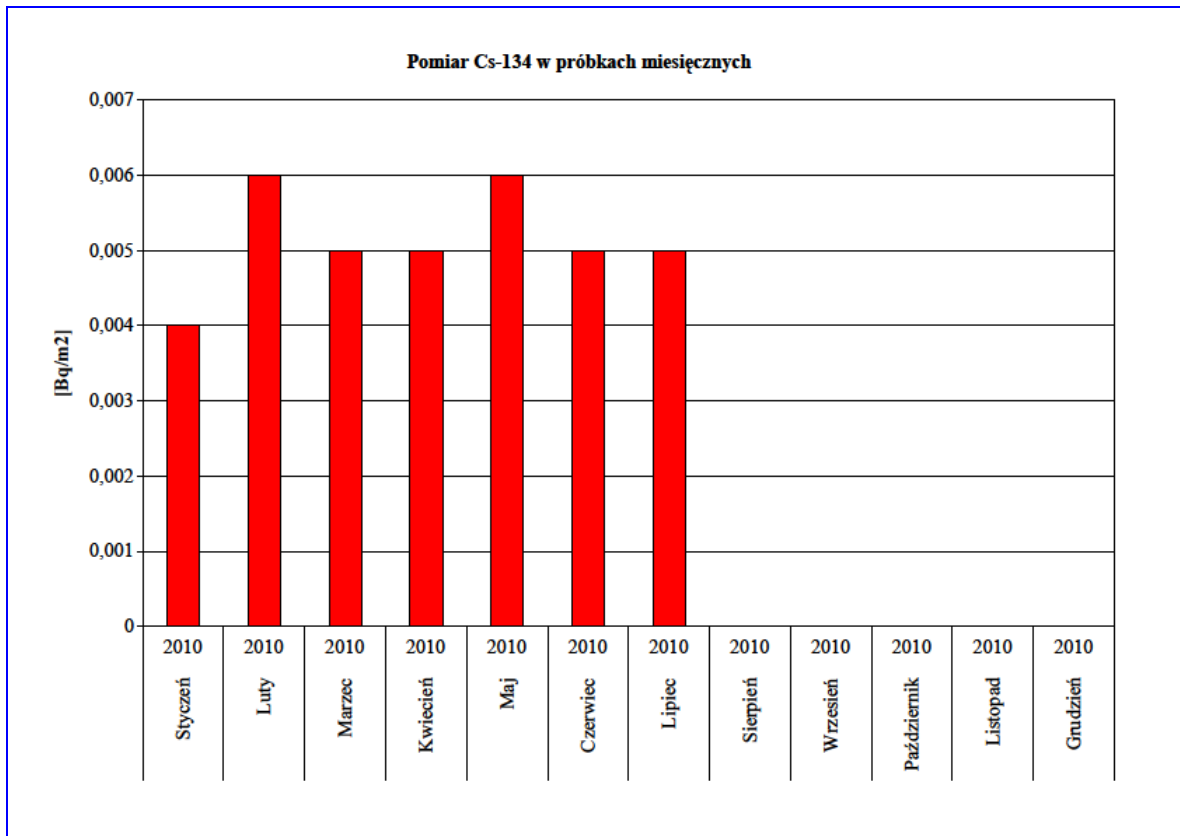
Miesiąc	Aktywność Cs-134 w Bq/m <sup>2</sup>
Styczeń	0,004
Luty	0,006
Marzec	0,005
Kwiecień	0,005
Maj	0,006
Czerwiec	0,005
Lipiec	0,005
Sierpień	Poniżej progu wykrywalności
Wrzesień	Poniżej progu wykrywalności
Październik	Poniżej progu wykrywalności
Listopad	Poniżej progu wykrywalności
Grudzień	Poniżej progu wykrywalności
Suma roczna	<b>0,036</b>
Średnia	0,005
Minimalna	0,004
Maksymalna	0,006

Na rysunkach 65 i 66 przedstawiono graficzną reprezentację uzyskanych wyników dla Cs-137 i Cs-134.



Rys. 65. Wykres wartości aktywności Cs-137 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.





Rys. 66. Wykres wartości aktywności Cs-134 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.

#### 4.4.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Jak się przekonaliśmy sumaryczna aktywność Cs-137 w roku 2010 wynosi 0,389 Bq/m<sup>2</sup>. Jeśli spojrzymy na tę wartość na tle wielolecia (tabela 27) okazuje się, że suma roczna systematycznie spada i wynosi dwa razy mniej niż w roku, 2000 kiedy to wyniosła 0,762 Bq/m<sup>2</sup>.

Tabela 27. Suma roczna aktywności Cs-137 w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2010.

Rok	Cs-137, Bq/m <sup>2</sup>
2000	0,762
2001	0,725
2002	0,819
2003	0,808
2004	0,713
2005	0,510
2006	0,580
2007	0,510
2008	0,452
2009	0,499
<b>2010</b>	<b>0,389</b>
Średnia	<b>0,615</b>
Minimalna	<b>0,389</b>
Maksymalna	<b>0,819</b>

Podobnie mamy w przypadku Cs-134. Jak widać z tabeli nr 28 wartości mieszczą się w zakresie od 0,103 Bq/m<sup>2</sup> w roku 2004 do 0,036 Bq/m<sup>2</sup> w roku 2010. Suma roczna aktywności za rok 2010 jest mniejsza ok. 3 razy niż w roku 2004. Warto zaznaczyć że są to bardzo małe wartości a ich pomiar jest możliwy tylko dzięki czulej aparaturze.

Nagłe zwiększenie się wartości aktywności Cs-134 powyżej progu oznaczalności w roku 2004, jest związane z pożarami lasów w Rosji. Pożary miały miejsce na terenach skażonych w wyniku awarii Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu. Procesy zachodzące podczas pożaru mogły przyczynić do uwolnienia tego izotopu do atmosfery. Czas półrozpadu Cs-134, wynosi ok. 2 lat. Tak krótki czas rozpadu może przyczynić się w kolejnych latach do zaniku obecności Cs-134.

Tabela 28. Suma roczna aktywności Cs-134 w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2010.

Rok	Cs-134 (Bq/m <sup>2</sup> )
2000	Poniżej progu wykrywalności
2001	Poniżej progu wykrywalności
2002	Poniżej progu wykrywalności
2003	Poniżej progu wykrywalności
2004	0,103
2005	0,098
2006	0,074
2007	0,066
2008	0,060
2009	0,063
2010	<b>0,036</b>
Średnia	<b>0,071</b>
Minimalna	<b>0,036</b>
Maksymalna	<b>0,103</b>

#### 4.5 Aktywność Sr-90 w zbiorczych próbach miesięcznego opadu całkowitego.

##### 4.5.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010

W roku 2010 kontynuowano prowadzenie pomiarów radiochemicznych zbiorczych próbek opadu całkowitego pod kątem zawartości izotopów sztucznych w tym Sr-90.

W tabeli nr 29 zawarto uzyskane wyniki pomiarów próbek z poszczególnych miesięcy 2010 r.

Tabela 29. Aktywność Sr-90 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym w 2010. Bq/m<sup>2</sup>.

Miesiąc	Sr-90 ( Bq/m <sup>2</sup> )	Błąd pomiaru ( Bq/m <sup>2</sup> )
Styczeń	0,011	0,003
Luty	0,004	0,002
Marzec	0,008	0,002
Kwiecień	0,007	0,003
Maj	0,009	0,003
Czerwiec	0,008	0,004
Lipiec	0,010	0,003
Sierpień	0,005	0,003
Wrzesień	0,006	0,003
Październik	0,010	0,003
Listopad	0,014	0,003
Grudzień	0,007	0,002
Suma roczna	<b>0,099</b>	
Średnia	<b>0,008</b>	
Minimalna	<b>0,004</b>	
Maksymalna	<b>0,014</b>	

Aktywność Sr-90 w zbiorczych próbkach opadu całkowitego miesięcznego mieści w się w zakresie od 0,004 do 0,014 Bq/m<sup>2</sup>. Suma roczna jego aktywności wynosi 0,099 Bq/m<sup>2</sup>.

Sr-90 jest emitentem promieniowania beta. W związku z czym wartość sumy rocznej aktywności Sr-90 okazuje się bardzo mała na tle przeciętnej aktywności dobowego opadu całkowitego (1-3 Bq/m<sup>2</sup>)

##### 4.5.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

Tabela nr 30 zawiera wartości sum rocznych aktywności Sr-90 w okresie od 2000 do 2010 roku .

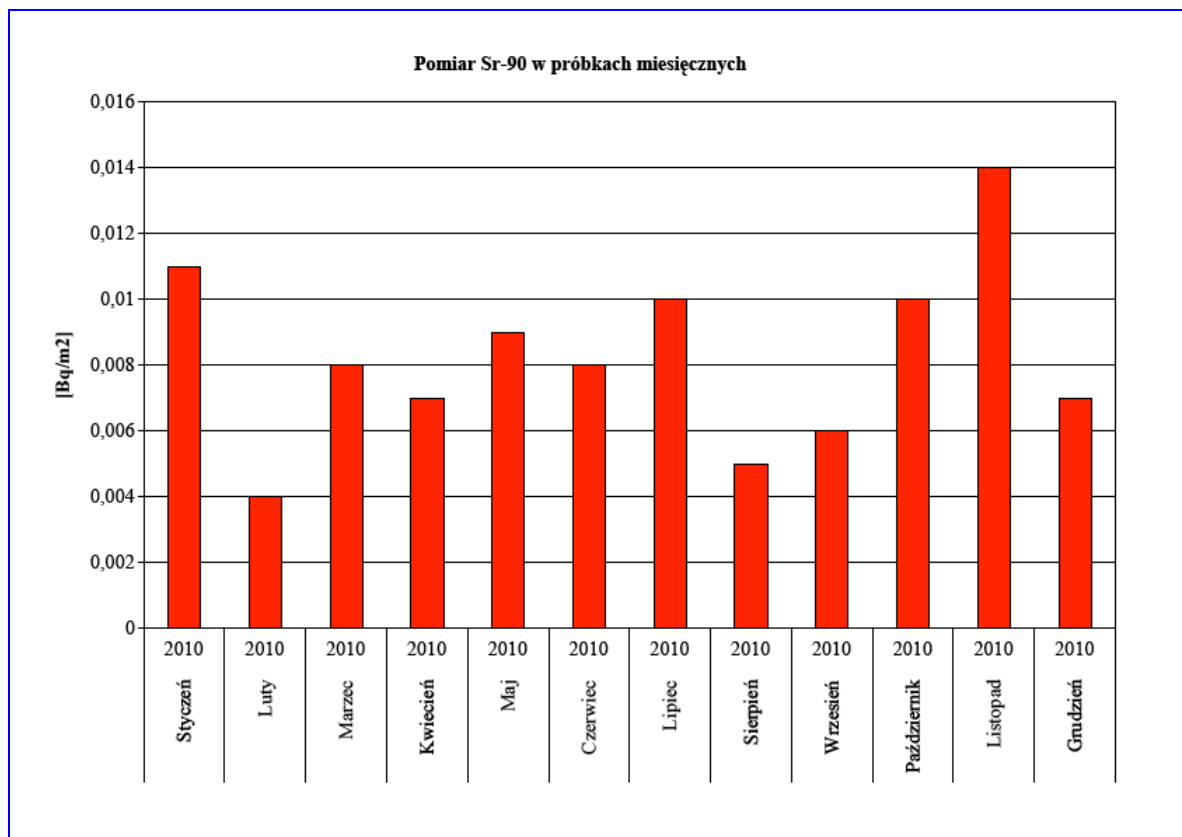
Otrzymane sumy roczne dla Sr-90 dla tego przedziału czasowego mieszczą się w zakresie od 0,209 do 0,055 Bq/m<sup>2</sup>. Suma roczna aktywności Sr-90 systematycznie spada i wynosi obecnie 0,099 Bq/m<sup>2</sup> czyli dwa razy mniej niż w roku 2000 kiedy wyniosła 0,209 Bq/m<sup>2</sup> .

Czas półrozpadu Sr-90 będącego przede wszystkim pozostałością po wybuchach jądrowych wynosi ok. 29 lat. Izotop ten systematycznie zanika i w kolejnych latach, jeśli nie nastąpi żadne skażenie, jego aktywność będzie poniżej progu oznaczalności.

Tabela 30. Suma roczna aktywności Sr-90 w miesięcznym zbiorczym opadzie całkowitym w latach 2000-2010.

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	0,100
2008	0,129
2009	0,112
2010	<b>0,099</b>
Średnia	<b>0,126</b>
Minimalna	<b>0,055</b>
Maksymalna	<b>0,209</b>

Na rysunku nr 67 przedstawiono graficzną reprezentację uzyskanych wyników dla Sr-90.



Rys. 67. Wykres wartości aktywności Sr-90 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.

#### 4.6 Aktywność izotopów naturalnych (Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40) w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego.

##### 4.6.1 Analiza wyników uzyskanych w roku 2010

Izotopy naturalne, mimo, że nie są powiązane ze skażeniami promieniotwórczymi wywołanymi przez człowieka, są ważnym elementem w zakresie zadań wykonywanych w ramach PMS. Pomiar aktywności tych izotopów w próbkach pokazuje zmiany w środowisku naturalnym.

Tabela 31. Aktywności Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym w 2010.

Miesiąc	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>
Styczeń	0,010	38,823	0,500	0,117
Luty	0,048	33,917	0,419	0,139
Marzec	*	32,943	2,742	*
Kwiecień	0,048	30,962	1,584	0,169
Maj	0,063	134,331	1,475	*
Czerwiec	0,038	115,774	1,768	*
Lipiec	0,046	175,692	1,495	0,229
Sierpień	0,105	179,469	1,630	*
Wrzesień	*	91,538	0,851	*
Październik	*	35,052	1,524	0,160
Listopad	*	82,958	1,451	*
Grudzień	0,008	54,210	1,190	*
Suma roczna	<b>0,366</b>	<b>1005,669</b>	<b>16,629</b>	<b>0,814</b>
Średnia	0,046	83,806	1,386	0,163
Minimalna	0,008	30,962	0,419	0,117
Maksymalna	0,105	179,469	2,742	0,229

\* wartość poniżej progu oznaczalności

Uzyskane wyniki aktywności izotopów naturalnych, przedstawione są w tabeli 31.

Zakresy zmienności aktywności są następujące:

- Aktywność izotopu Ac-228 zmieniała w zakresie od 0,008 do 0,105 Bq/m<sup>2</sup>.
- Aktywność izotopu Be-7 zmieniała w zakresie od 30,962 do 179,469 Bq/m<sup>2</sup>.
- Aktywność izotopu K-40 zmieniała w zakresie od 0,419 do 2,742 Bq/m<sup>2</sup>.
- Aktywność izotopu Ra-226 zmieniała w zakresie od 0,117 do 0,229 Bq/m<sup>2</sup>.

Zmienność izotopów naturalnych jest związana z naturalnymi procesami krążenia tych pierwiastków w naszej atmosferze oraz litosferze.

#### 4.6.2 Porównanie wyników uzyskanych w roku 2010 z danymi z lat ubiegłych, określenie zmian i trendów

W celu porównania wyników dla izotopów naturalnych uzyskanych w roku 2010 z latami poprzednimi w tabeli 32 zestawiono otrzymane wyniki dla okresu lat 2000-2010.

Zmiany aktywności izotopów naturalnych przedstawiały się następująco:

- Aktywność K-40 oscylowała w zakresie od ok. 15 do 20 Bq/m<sup>2</sup>
- Aktywność Ra-226 zmieniała się od wartości 2,974 do 0,814 Bq/m<sup>2</sup>
- Aktywność Be-7 zmieniała się od wartości 439,582 do 1029,896 Bq/m<sup>2</sup>
- Aktywność Ac-228 zmieniała się od wartości 0,366 do 0,676 Bq/m<sup>2</sup>

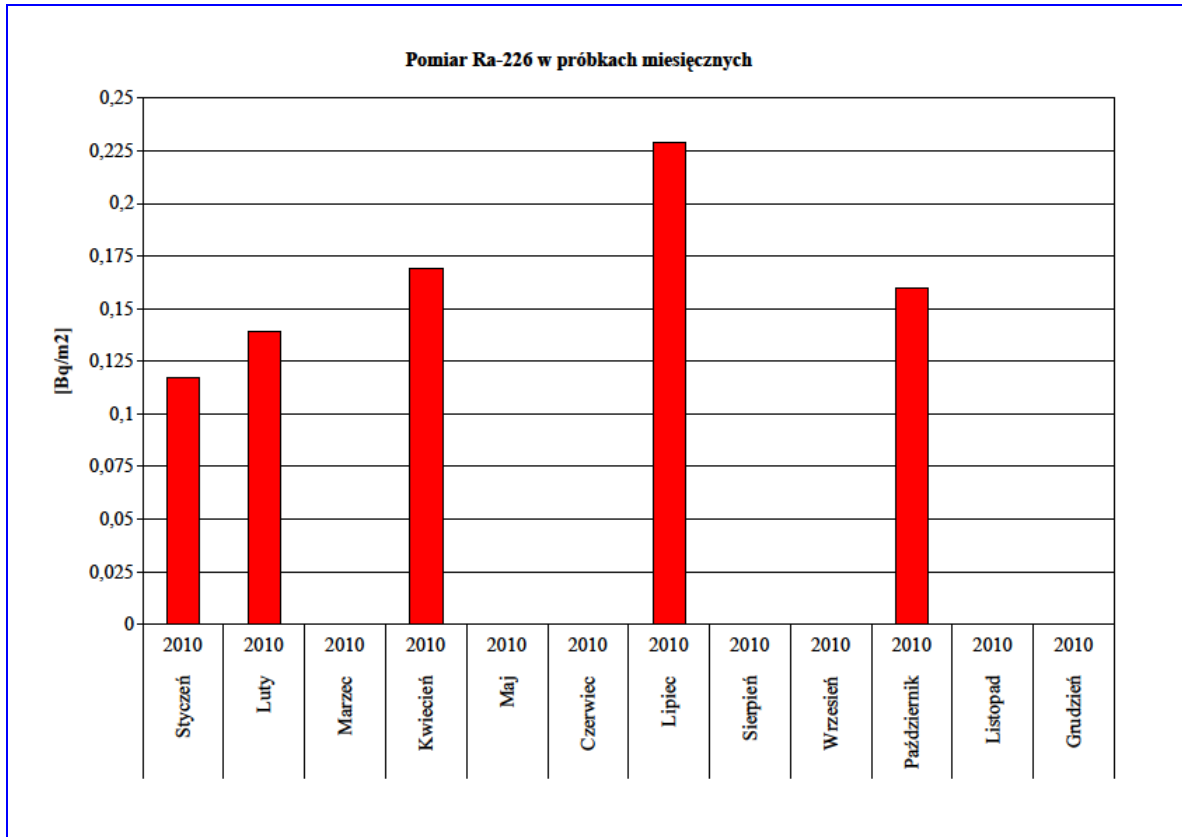
Tabela 32. Suma roczna aktywności Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40 w latach 2000-2010.

Miesiąc	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	*	531,960	19,140	2,530
2001	*	618,030	15,340	2,490
2002	*	559,700	19,060	2,490
2003	*	489,520	19,720	2,330
2004	*	439,582	20,447	2,974
2005	0,402	614,147	16,064	2,584
2006	0,450	670,895	16,184	1,068
2007	0,493	764,630	16,991	1,299
2008	0,614	888,322	18,764	1,817
2009	0,676	1029,896	15,692	1,414
2010	<b>0,366</b>	<b>1005,669</b>	<b>16,629</b>	<b>0,814</b>
Średnia	<b>0,500</b>	<b>692,032</b>	<b>17,639</b>	<b>1,983</b>
Minimalna	<b>0,366</b>	<b>439,582</b>	<b>15,340</b>	<b>0,814</b>
Maksymalna	<b>0,676</b>	<b>1029,896</b>	<b>20,447</b>	<b>2,974</b>

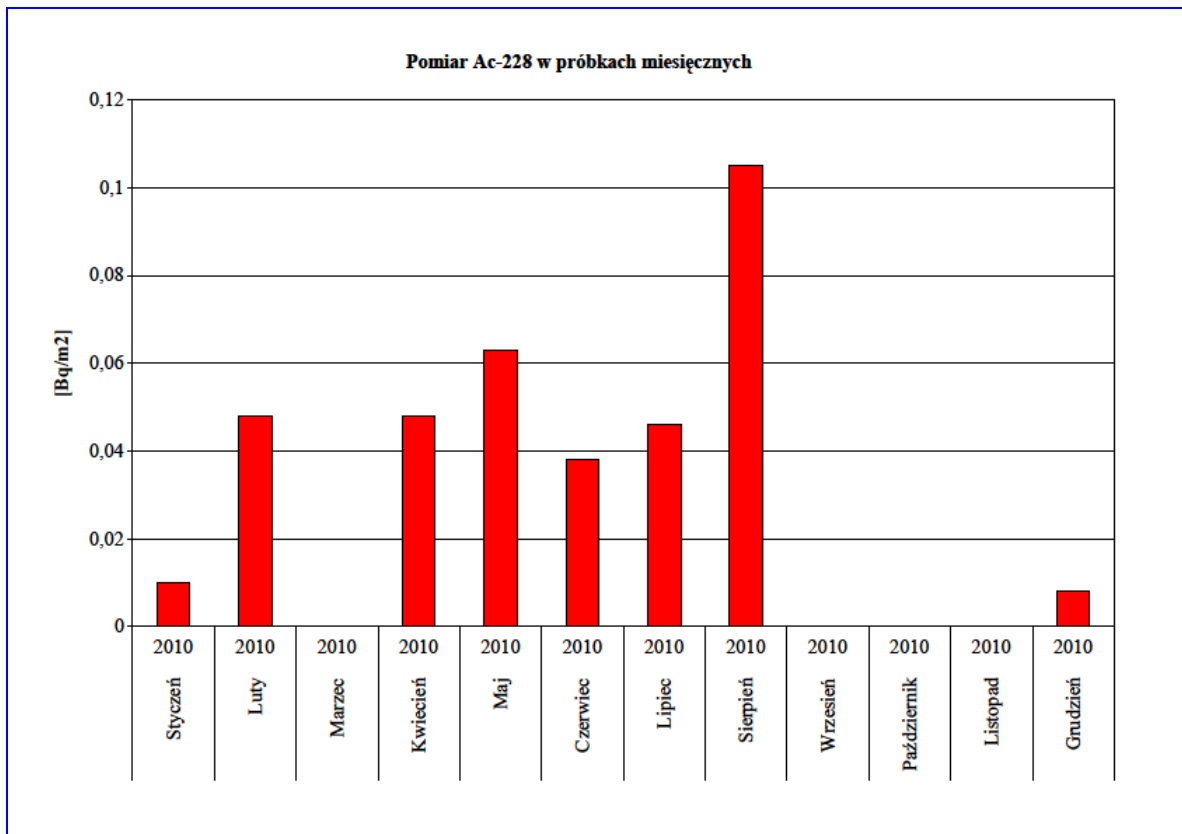
\* wartość poniżej progu oznaczalności

Zmienność aktywności izotopów naturalnych jest związana z naturalnymi procesami zachodzącymi w naszej atmosferze oraz litosferze.

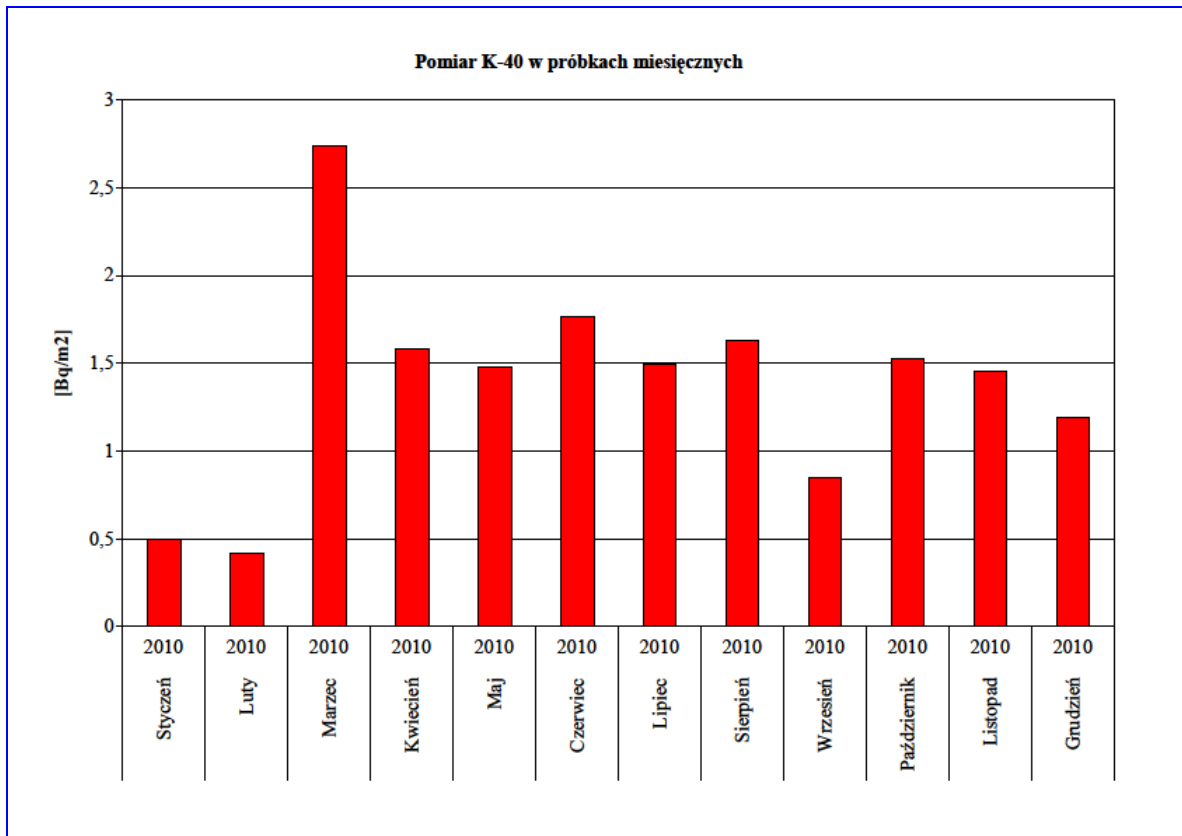
W przypadku izotopu aktywności, czyli Ac-228, sumy roczne aktywności w niektórych latach były poniżej progu oznaczalności. Nie oznacza to, że tych izotopów nie było tylko, że ich ilość była na tyle mała, że nie została zmierzona przez aparaturę. Z powodów bardzo powolnych przemian klimatycznych i geologiczny okres 10-letni jest zbyt krótki, żeby przeprowadzić szerszą ocenę zmienności izotopów naturalnych.



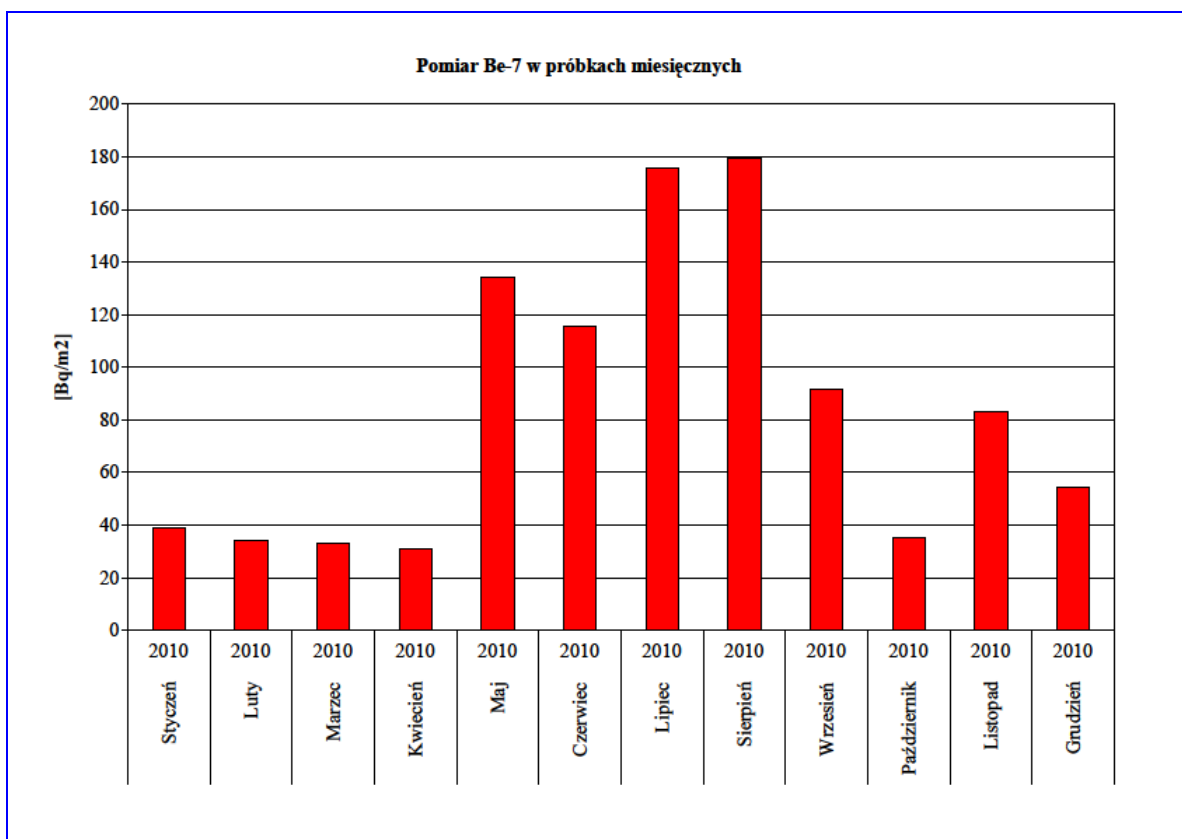
Rys. 68. Wykres wartości aktywności Ra-226 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.



Rys. 69. Wykres wartości aktywności Ac-228 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.



Rys. 70. Wykres wartości aktywności K-40 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.



Rys. 71. Wykres wartości aktywności Be-7 w zbiorczych próbkach miesięcznego opadu całkowitego uzyskanych w poszczególnych miesiącach roku 2010.



5. Wnioski.

- a) Zmierzone w roku 2010 wartości promieniowania były na poziomie tła i nie stwierdzono uwolnienia do atmosfery nowych izotopów promieniotwórczych
- b) Uzyskane wyniki pomiarów w roku 2010 świadczą o tym, że poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery nie odbiega od poziomu, który był zmierzony w poprzednich latach.
- c) Średni poziom mocy dawki promieniowania gamma jest zróżnicowany w zależności o położenia geologicznego. Największe wartości zanotowano w Zakopanem z racji skalistego podłoża i otoczenia, które jest źródłem naturalnych izotopów w większym stężeniu niż sama tylko warstwa gleby
- d) Stwierdzono związki pomiędzy wartościami promieniowania alfa i gamma a parametrami meteorologicznymi. Opad deszczu zwiększa zmierzone 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.
- e) Zaobserwowano wpływ awarii Czarnobylskiej oraz dawnych naziemnych wybuchów jądrowych na obecne wyniki pomiarów spektrometrycznych i radiochemicznych. Wpływ ten jest jednak teraz bardzo znikomy a możliwość jego obserwacji wynika z zastosowania bardzo czułych metod pomiarowych.
- f) Wpływ działalności technicznej człowieka na poziom radioaktywności powietrza jest znikomy. Wynika to stąd, że obecnie stosowana technika jądrowa, jeśli nie wydarzy się żadna klęska żywiołowa, zapewnia bardzo wysoki stopień bezpieczeństwa pracy.

## 6. Podsumowanie

Monitoring radioaktywności przyziemnej warstwy powietrza prowadzono w roku 2010 w ramach Umowy nr 13/2009/F pomiędzy Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska a Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

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>3</sup>, Lesko, Zakopane, Legnica i Mikołajki.

W niniejszym raporcie zaprezentowano analizę uzyskanych wyników pomiarów w roku 2010.

Oceniane parametry:

1. Aktywność próbek beta opadu całkowitego dobowego
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.

Przedstawmy teraz w postaci skondensowanej formie wyniki uzyskane w roku 2010:

Wartość mocy dawki promieniowania gamma.

Wartość minimalna roczna	Wartość maksymalna roczna	Wartość średnia roczna
53 nGy/h	142 nGy/h	89,6 nGy/h

Aktywność alfa naturalnych radionuklidów w powietrzu.

Wartość minimalna roczna	Wartość maksymalna roczna	Wartość średnia roczna
0,0 Bq/m <sup>3</sup>	113,4 Bq/m <sup>3</sup>	7,7 Bq/m <sup>3</sup>

Aktywność beta sztucznych radionuklidów w powietrzu.

Wartość minimalna roczna	Wartość maksymalna roczna	Wartość średnia roczna
0 Bq/m <sup>3</sup>	1,172 Bq/m <sup>3</sup>	0,080 Bq/m <sup>3</sup>

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

Aktywność alfa sztucznych radionuklidów w powietrzu.

Wartość minimalna roczna	Wartość maksymalna roczna	Wartość średnia roczna
0,000 Bq/m <sup>3</sup>	0,780 Bq/m <sup>3</sup>	0,041 Bq/m <sup>3</sup>

Aktywność beta opadu całkowitego dobowego zmierzona w ciągu roku oraz roczna suma aktywności beta opadu całkowitego dobowego.

Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnioroczna	Średnia suma roczna
0 Bq/m <sup>2</sup>	7 Bq/m <sup>2</sup>	1 Bq/m <sup>2</sup>	0,332 Bq/m <sup>2</sup>

Aktywność beta opadu miesięcznego.

Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia roczna
1 Bq/m <sup>2</sup>	19 Bq/m <sup>2</sup>	8 Bq/m <sup>2</sup>

Aktywność beta wody opadowej.

Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Wartość średnia roczna
0 mBq/l	2000 mBq/l	328 mBq/l

Suma roczna aktywności Cs-137 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.

Suma roczna	0,389 Bq/m <sup>2</sup>
-------------	-------------------------

Suma roczna aktywności Cs-134 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.

Suma roczna	0,036 Bq/m <sup>2</sup>
-------------	-------------------------

Suma roczna aktywności Sr-90 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.

Suma roczna	0,099 Bq/m <sup>2</sup>
-------------	-------------------------

Suma roczna aktywności Ra-226, Be-7, Ac-228, K-40 w zbiorczym miesięcznym opadzie całkowitym.

	Ac-228	Be-7	K-40	Re-226
Suma roczna	0,366 Bq/m <sup>2</sup>	1005,669 Bq/m <sup>2</sup>	16,629 Bq/m <sup>2</sup>	0,814 Bq/m <sup>2</sup>

Dla porównania wyników pomiarów z roku 2010 z poprzednimi latami przedstawmy zakres średnich wartości rocznych uzyskanych w latach 2000-2010:

- Średnia sumaryczna roczna aktywność beta opadu całkowitego: **0,330 – 0,340 kBq/m<sup>2</sup>**
- Średnia roczna aktywność beta opadu miesięcznego: **6,0 - 8,2 Bq/m<sup>2</sup>**
- Średnia roczna aktywność wody opadowej: **328 - 376 mBq/l**
- Średnia sumaryczna roczna aktywność radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym:

<b>Ac-228</b>	<b>Be-7</b>	<b>K-40</b>	<b>Re-226</b>
<b>0,366-0,676 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>439,582 - 1029,896 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>15,34 – 20,477 Bq/m<sup>2</sup></b>	<b>0,814 - 2,974 Bq/m<sup>2</sup></b>

- Średnia roczna aktywność mocy dawki promieniowania gamma: **89,6 - 97,7 nGy/h**
- Średnia roczna wartość aktywności aerozoli alfa naturalnych: **7,7 - 8,6 Bq/m<sup>3</sup>**
- Średnia roczna aktywność izotopów sztucznych w zbiorczym opadzie całkowitym:  
**Cs-137: 0,389 – 0,819 Bq/m<sup>2</sup> ; Cs-134: 0,036 – 0,103 Bq/m<sup>2</sup> ; Sr-90: 0,055 – 0,209 Bq/m<sup>2</sup>**
- Średnia roczna wartość aktywności aerozoli beta sztucznych: **0,037 – 0,080 Bq/m<sup>3</sup>**
- Średnia roczna wartość aktywności aerozoli alfa sztucznych: **0,020 – 0,041 Bq/m<sup>3</sup>**

*Uzyskane wartości stanowią promieniowanie tła. Nie stwierdzono uwolnień do atmosfery nowych izotopów promieniotwórczych.*

## 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. szeregów promieniotwórczych; jest gazem, więc może uwalniać się z miejsca powstania, np. z gleby, materiałów budowlanych itp.; największe znaczenie ma <sup>222</sup>Rn, pochodzący z szeregu <sup>238</sup>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: <sup>238</sup>U, mniej obfity izotop <sup>235</sup>U oraz sztucznie uzyskany <sup>233</sup>U – dzięki podatności na rozszczepienie są wykorzystywane w reaktorach i bombach jądrowych
- Pu, uzyskiwany sztucznie z uranu; izotop Pu-239, 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 www Państwowej Agencji Atomistyki<sup>4</sup> w dziale „Informacja i edukacja”.

---

<sup>4</sup> <http://www.paa.gov.pl/?frame=13.7>

### Słownik użytych pojęć i terminów:

- Promieniowanie alfa, cząstki alfa - jądra atomu helu powstałe podczas reakcji jądrowych
- Promieniowanie beta - elektrony powstające podczas reakcji jądrowych
- Promieniowanie gamma i X - fale elektromagnetyczne o częstotliwości rzędu  $10^{18}$  Hz
- Aktywność - ilość rozpadów jądrowych na sekundę
- 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.
- 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)
- Dawki promieniowania - ilość jonizującego promieniowania pochłonięta w jednostce masy, dawkę mierzymy w  $J/kg$  (dżulach na kilogram)
- Promieniowanie jonizujące - promieniowanie alfa, beta, gamma lub X wywołujące skutki fizyczne w materii
- 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.
- Opad całkowity - opad radioizotopów promieniotwórczych 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/zawieszane 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.

Skały 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 rącji skalnego podłoża oraz otoczenia.

Stacje Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej<sup>5</sup> działają w służbie pomiarów skażeń promieniotwórczych już od ponad 50 lat. Zadaniem 10 stacji IMGW jest pomiar poziomu radioaktywności w przyziemnej warstwie powietrza. Dokonuje się tego za pomocą urządzeń mierzących parametry określających stopień promieniotwórczości. Stacje zlokalizowane są w Warszawie, Gdyni, Mikołajkach, Gorzowie Wlkp., Poznaniu, Świnoujściu, Legnicy, Włodawie, Zakopanem oraz w Lesku i tam też są zbierane próbki.

Przedstawmy teraz w skrócie uzyskane w roku 2010 wyniki dla całej sieci pomiarowej:

### 1. Wyniki pomiarów beta opadu całkowitego dobowego i miesięcznego oraz wody opadowej.

a) 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) dla całej sieci pomiarowej, wyniosła:

**332 Bq/m<sup>2</sup>**

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.

Średnia aktywność opadu całkowitego miesięcznego wyniosła:

**8 Bq/m<sup>2</sup>**

c) Wartości są wyliczane z aktywności opadu całkowitego oraz wysokości opadu deszczu.

Średnia wartość aktywności wody opadowej dla całej sieci pomiarowej, wyniosła:

**0,328 mBq/l**

<sup>5</sup> <http://www.imgw.pl> <http://pogodynka.pl>

## 2. Wyniki pomiarów radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym

Pomiar radionuklidów naturalnych i sztucznych polega na analizie spektrometrycznej zbiorczych próbek opadu miesięcznego w poszczególnych miesiącach.

Średnie sumaryczne roczne aktywności radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym, mierzone metodami spektrometrycznymi wyniosła:

Ac-228	Be-7	K-40	Re-226
0,366 Bq/m <sup>2</sup>	1005,669 Bq/m <sup>2</sup>	16,629 Bq/m <sup>2</sup>	0,814 Bq/m <sup>2</sup>

## 3. Wyniki pomiarów mocy dawki promieniowania gamma

Pomiar jest dokonywany za pomocą sondy pomiarowej umiejscowionej ok. 1 metra nad ziemią. Średnia moc dawki promieniowania gamma dla całej sieci pomiarowej, wyniosła:

**89,6 nGy/h**

## 4. Wyniki pomiarów promieniowania aerozoli alfa naturalnych w powietrzu

Pomiar aerozoli sztucznych i naturalnych jest dokonywany za pomocą urządzeń zasysających powietrze na specjalny filtr. Następnie detektor półprzewodnikowy mierzy radioaktywność cząstek osadzonych na filtrze. Średnia roczna wartość aktywności aerozoli alfa naturalnych dla całej sieci pomiarowej, wyniosła:

**7,7 Bq/m<sup>3</sup>**

## 5. Interpretacja wyników oraz odniesienie ich do poprzednich lat

Powyższe uzyskane wartości wyników pomiarów mieszczą się w zakresie wartości uzyskanych w poprzednich latach.

Dla porównania wyników pomiarów z roku 2010 z poprzednimi latami przedstawimy zakres wartości uzyskanych w latach 2000-2010.

Średnia sumaryczna roczna aktywność beta opadu całkowitego: **330 - 340 Bq/m<sup>2</sup>**

Średnia roczna aktywność beta opadu miesięcznego: **6,0 - 8,2 Bq/m<sup>2</sup>**

Średnia roczna aktywność wody opadowej: **328 - 376 mBq/l**

Średnia sumaryczna roczna aktywność radionuklidów naturalnych w opadzie całkowitym:

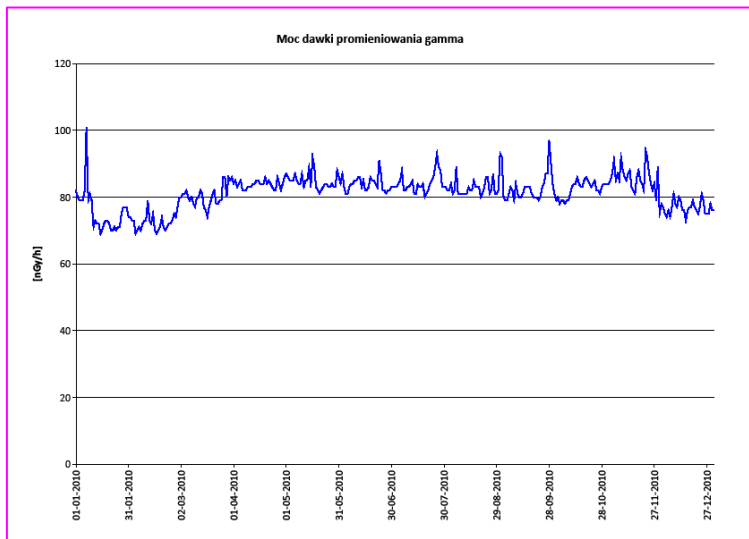
Ac-228	Be-7	K-40	Re-226
0,366-0,676 Bq/m <sup>2</sup>	439,582 - 1029,896 Bq/m <sup>2</sup>	15,34 - 20,45 Bq/m <sup>2</sup>	0,814 - 2,974 Bq/m <sup>2</sup>

Średnia roczna aktywność mocy dawki promieniowania gamma: **89,6 - 97,7 nGy/h**

Średnia roczna wartość aktywności aerozoli alfa naturalnych: **7,7 - 8,6 Bq/m<sup>3</sup>**

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

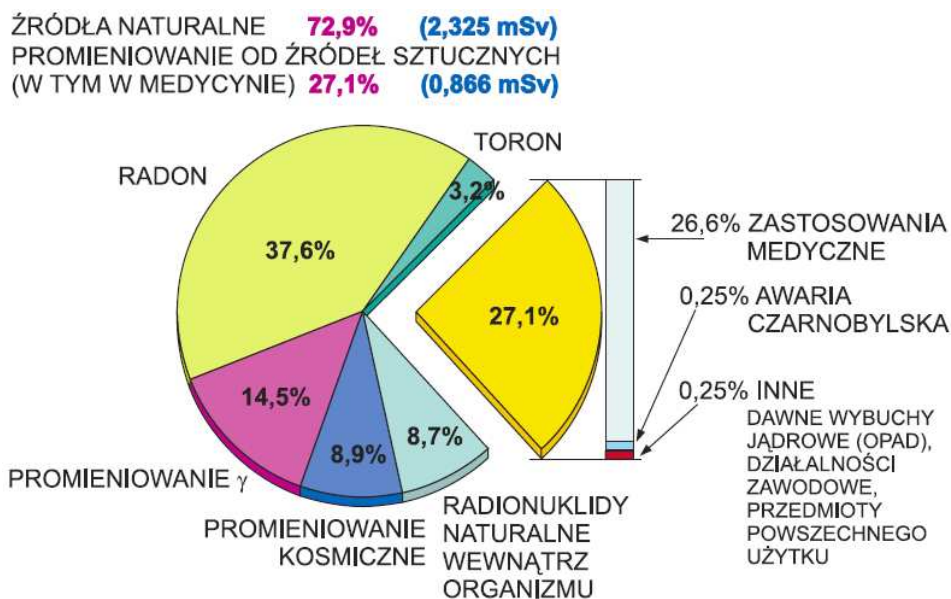
Rys. 1. Przykładowy wykres dla mocy dawki promieniowania gamma zmierzonej w Warszawie w 2010 roku.



## 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 jądowego. Wybuchy jądowe przeprowadzane w powietrzu w drugiej połowie XX wieku też miały istotny wkład w skażenie środowiska.

Rys. 2. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej (3,19 mSv) otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w 2009 r.<sup>6</sup> Jak widać wkład radioaktywności sztucznej jest o połowę mniejszy w stosunku do radioaktywności naturalnej.



<sup>6</sup> źródło: Raport Prezesa PAA o stanie środowiska za 2009 r. <http://www.paa.gov.pl>



### 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.

Sumy roczne aktywności radionuklidów sztucznych w opadzie całkowitym w roku 2010

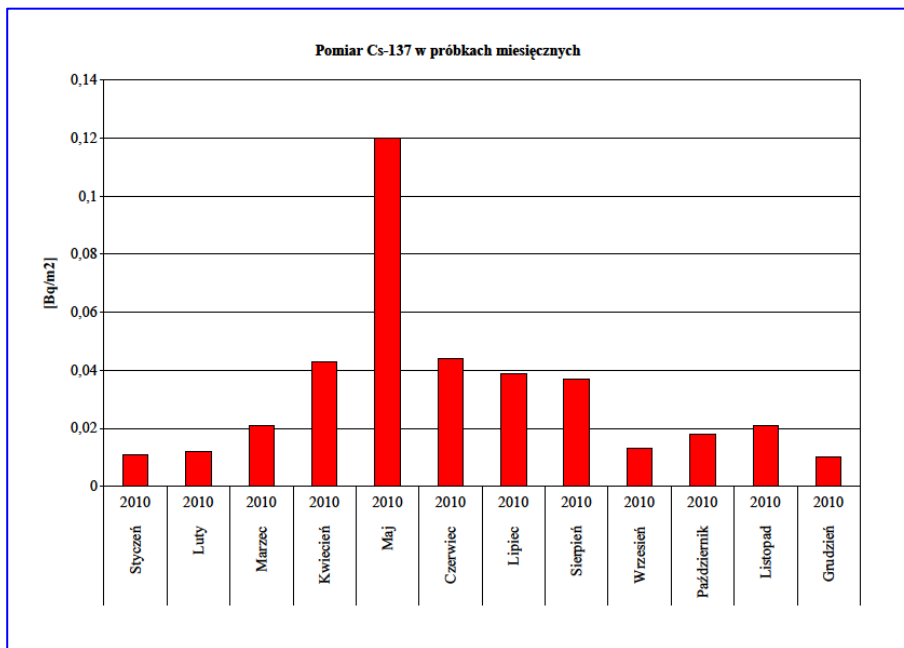
Cs-137	Cs-134	Sr-90
0,389 Bq/m <sup>2</sup>	0,036 Bq/m <sup>2</sup>	0,99 Bq/m <sup>2</sup>

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

Średnia roczna wartość aktywności aerozoli alfa i beta sztucznych dla całej sieci stacji w 2010 r.

Alfa sztuczne	Beta sztuczne
0,041 Bq/m <sup>3</sup>	0,080 Bq/m <sup>3</sup>

Rys. 3. Przykładowy wykres wartości aktywności dla Cezu-137 zmierzonego w 2010 roku.



### 3. Interpretacja wyników oraz odniesienie ich do poprzednich lat

Powyższe uzyskane wartości pomimo zmienności w ciągu roku i zdarzających większych wartości, zmniejszają się sukcesywnie z biegiem lat. Jest to poziom rzędu naturalnego tła.

Dla porównania z pomiarami w roku 2010 przedstawimy zakres wyników zmierzonych w latach 2000-2010 w pomiarach radionuklidów sztucznych w zbiorczym opadzie całkowitym:

Cs-137	Cs-134	Sr-90
0,389 – 0,819 Bq/m <sup>2</sup>	0,036 – 0,103 Bq/m <sup>2</sup>	0,055 – 0,209 Bq/m <sup>2</sup>

Największe wartości izotopów Cs-137 i Sr-90 zmierzono w roku 2000. W przypadku izotopu Cs-134 był na poziomie wartości poniżej progu oznaczalności. Następnie pojawił się w roku 2004. W tym też roku jego wartość jest największa. Przyczyną pojawienia się izotopu Cs-134 były prawdopodobnie pożary lasów na terenach skażonych w czasie awarii Elektrowni Atomowej w Czarnobylu.

### III. Meteorologia a radioaktywność powietrza

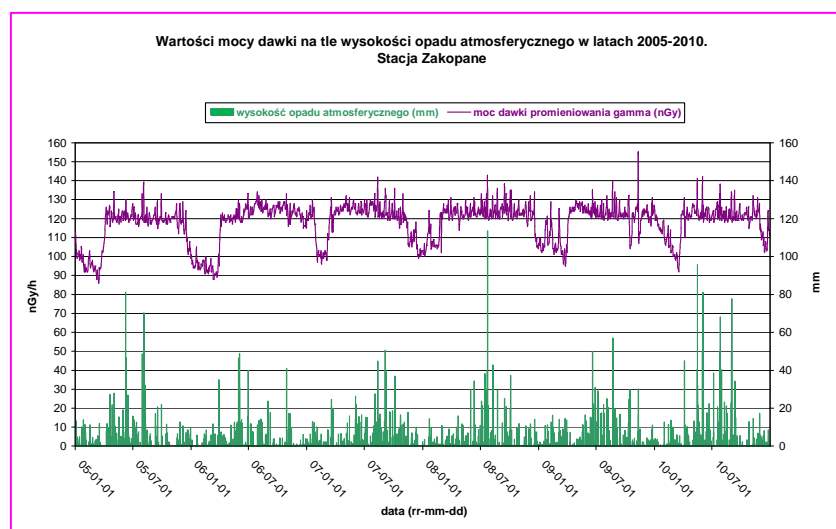
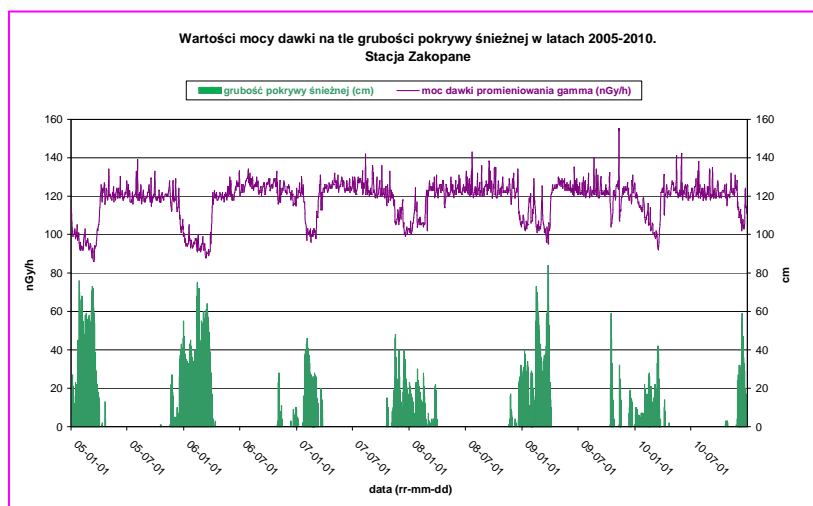
#### 1. Związki parametrów meteorologicznych i wartości promieniowania gamma oraz radioaktywności aerozoli powietrza

Opad deszczu wpływa na zwiększenie wartości mocy dawki promieniowania gamma. Związane jest to z faktem usuwania przez deszcz cząstek radioaktywnych z powietrza na powierzchnię ziemi. Natomiast opad śniegu zmniejsza wartości mierzonej mocy dawki. Wynika to stąd, że warstwa śniegu ekranuje promieniowanie gamma pochodzące z powierzchni ziemi.

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

Oczywiście zmian ww. parametrów radiologicznych nie możemy tylko opierać na 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 oraz radiologicznych zmierzonych w roku 2010 na stacji Zakopane.



#### **IV. Wnioski**

- Zmierzone w roku 2010 wartości promieniowania były na poziomie tła i nie stwierdzono uwolnienia do atmosfery nowych izotopów promieniotwórczych
- Uzyskane wyniki pomiarów w roku 2010 świadczą o tym, że poziom promieniotwórczości w przyziemnej warstwie atmosfery nie odbiega od poziomu, który był zmierzony w poprzednich latach.
- Średni poziom mocy dawki promieniowania gamma jest zróżnicowany w zależności o położenia geologicznego. Największe wartości zanotowano w Zakopanem 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 zmierzone 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 Czarnobylskiej oraz dawnych naziemnych wybuchów jądrowych na obecne wyniki pomiarów spektrometrycznych i radiochemicznych. Wpływ ten jest jednak teraz bardzo znikomy a możliwość jego obserwacji wynika z zastosowania bardzo czułych metod pomiarowych.
- Wpływ działalności technicznej człowieka na poziom radioaktywności powietrza jest znikomy. Wynika to stąd, że obecnie stosowana technika jądrowa, jeśli nie wydarzy się żadna klęska żywiołowa, zapewnia bardzo wysoki stopień bezpieczeństwa pracy.