



CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
CENTRAL LABORATORY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION



PL0000848

RAPORT CLOR nr 132

WYKRYWANIE I KONTROLA "ON LINE"
PROMIENIOTWÓRCZYCH ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA
ZA POMOCĄ STACJI ASS-500

Jan Jagielak

Alfred Żak

Małgorzata Biernacka

Krzysztof Isajenko

Paweł Lipiński

WARSZAWA 1998

31/M

Praca została zrecenzowana przez
prof. dr hab. inż. Jerzego Peńsko

© Copyright by CLOR

DTP
Agencja Wydawnicza ARIES

Druk
EFEKT

ISBN 83-901854-3-1

SPIS TREŚCI

Streszczenie	4
I. Wstęp	5
II. Stacja ASS-500	8
III. Pomiar radioaktywności środowiska prowadzone dla potrzeb systemów wczesnego ostrzegania	11
IV. Metoda kontroli "on line" promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza za pomocą spektrometru AS-01 . . .	14
V. Badania pracy zestawu AS-01 w warunkach środowiskowych	22
VI. Wnioski	25
Summary	26
Резюме	27
Piśmiennictwo	28

STRESZCZENIE

Przedstawiono, opracowaną dla potrzeb systemu wczesnego ostrzegania o sytuacjach awaryjnych, metodę ciągłej kontroli stanu zanieczyszczenia powietrza przez radionuklidy pochodzenia sztucznego. Opisano zbudowaną aparaturę – spektrometr scyntylicyjny AS-01 współpracujący ze stacją ASS-500 oraz podano wyniki wzorcowania i badań eksploatacyjnych. Dolna granica wartości stężenia, wykrywanego w systemie pomiarów ciągłych, wynosi dla ^{131}I 0,44 Bq/m^3 , a dla ^{137}Cs - 0,79 Bq/m^3 . Stężenie w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego, wynoszące 10 Bq/m^3 zostało przyjęte jako wartość progu alarmowego.

Wyposażenie stacji ASS-500 w spektrometryczny podgląd AS-01 zapewnia pozyskiwanie natychmiastowej informacji o pojawieniu się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego, a jednocześnie w niczym nie ogranicza dotychczasowych możliwości poboru próbek aerozoli z dużych objętości powietrza, co pozwala na oznaczanie za pomocą spektrometrów HPGe, stężeń poszczególnych radionuklidów poczynając od pojedynczych $\mu\text{Bq/m}^3$.

I. WSTĘP

Zadaniem stacji kontroli stanu zanieczyszczeń powietrza pierwiastkami promieniotwórczymi pracującej w systemie wczesnego ostrzegania jest wykrycie w możliwie krótkim czasie pojawienia się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego. Dolne granice wartości stężeń wykrywanych radionuklidów powinny być odpowiednio małe, mniejsze od przyjmowanych za graniczne w warunkach długotrwałego (np. rocznego) narażenia ogółu ludności na ich działanie.

Obecność w powietrzu radionuklidów naturalnych poważnie utrudnia wykrywanie i oznaczanie ilościowe radionuklidów pochodzenia sztucznego za pomocą pomiarów prowadzonych w sposób ciągły w systemie „on line”.

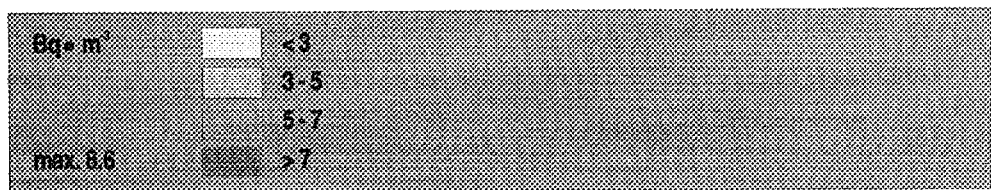
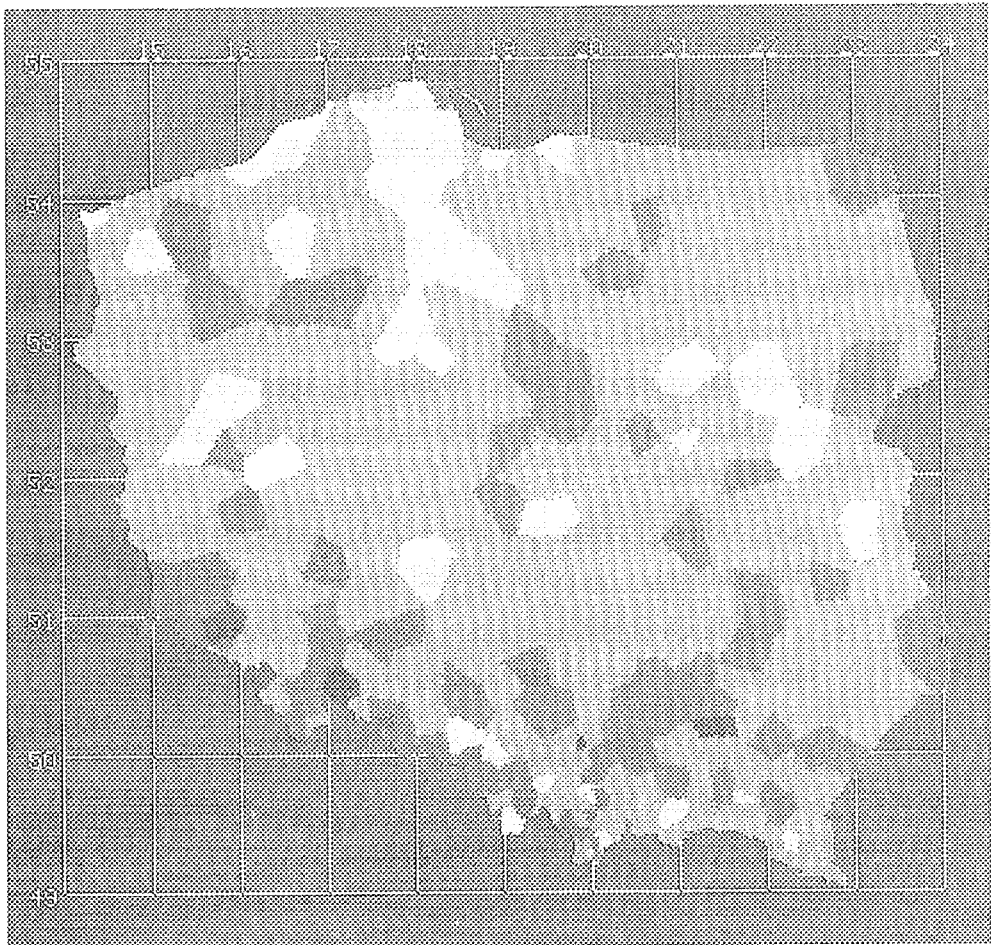
Radionuklidy naturalne są emiterami promieniowań alfa, beta i gamma. Są to przede wszystkim pierwiastki promieniotwórczych szeregów uranowo-radowego i torowego, ^{40}K , a także ^7Be , ^3H , ^{14}C . Średnia wartość stężenia radonu (szereg uranowo-radowy) w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego wynosi około 10 Bq/m^3 , stężeń krótkożyjących produktów jego rozpadu około 8 Bq/m^3 ; toronu (szereg torowy) również około 10 Bq/m^3 , zaś krótkożyjących produktów jego rozpadu około $0,1 \text{ Bq/m}^3$ [1]. Wartości stężeń radonu i toronu są bardzo zróżnicowane w zależności od istniejących na danym obszarze warunków środowiskowych.

Stężenia w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego, które powinien wykrywać system wczesnego ostrzegania, są często mniejsze od zmian stężeń radionuklidów naturalnych zależnych od aktualnych warunków pogodowych. Zmiany te, a także złożony skład widma promieniowania gamma radionuklidów naturalnych powodują, że wykrycie na odpowiednio niskim poziomie

pojawienia się radionuklidów pochodzenia sztucznego nie jest sprawą łatwą. Istniejące obecnie rozwiązania w zakresie metod i aparatury nie są w pełni satysfakcjonujące, dlatego też zasadnym jest prowadzenie badań nad ich rozwojem.

Na Rys. 1 przedstawiono wartości średnich rocznych stężeń ^{222}Rn w powietrzu na wysokości 1 m nad powierzchnią ziemi na terenie Polski [2]. Wartości te w zależności od miejsca pomiaru wynoszą od 1,2 do 8,6 Bq/m^3 . Wartość średnia wyznaczona dla obszaru całej Polski wynosi 4,4 Bq/m^3 .

Sezonowe zmiany w ciągu roku stężeń radonu i produktów jego rozpadu, jak również zmiany chwilowe powodowane warunkami pogodowymi są bardzo duże. Mogą one być kilkakrotnie większe od wartości średnich. Widmo promieniowania gamma krótkożyjących produktów rozpadu radonu i toronu składa się z kilkudziesięciu linii o różnym natężeniu. Energie promieni gamma tych linii wynoszą od kilkunastu keV do przeszło 3 MeV. Bezpośrednio po zakończeniu poboru próbki aerozoli z powietrza widmo jej promieniowania jest zdominowane przez krótkożyjące produkty rozpadu radonu: ^{214}Pb ($T = 26,8$ min) i ^{214}Bi ($T = 19,9$ min). Już po upływie dwóch godzin od zakończenia poboru największy udział w widmie promieniowania gamma mają produkty rozpadu toronu: ^{212}Pb ($T = 10,6$ h), ^{212}Bi ($T = 60,5$ min), ^{208}Tl ($T = 3,1$ min). Stężenia obecnych w powietrzu radionuklidów naturalnych o kilkutygodniowym lub dłuższym okresie połowicznego zaniku są bardzo małe w porównaniu ze stężeniami radonu i toronu oraz ich krótkożyjących pochodnych i wynoszą od części $\mu\text{Bq/m}^3$ do kilku tysięcy $\mu\text{Bq/m}^3$.



Rys. 1. Stężenie ²²²Rn w powietrzu atmosferycznym

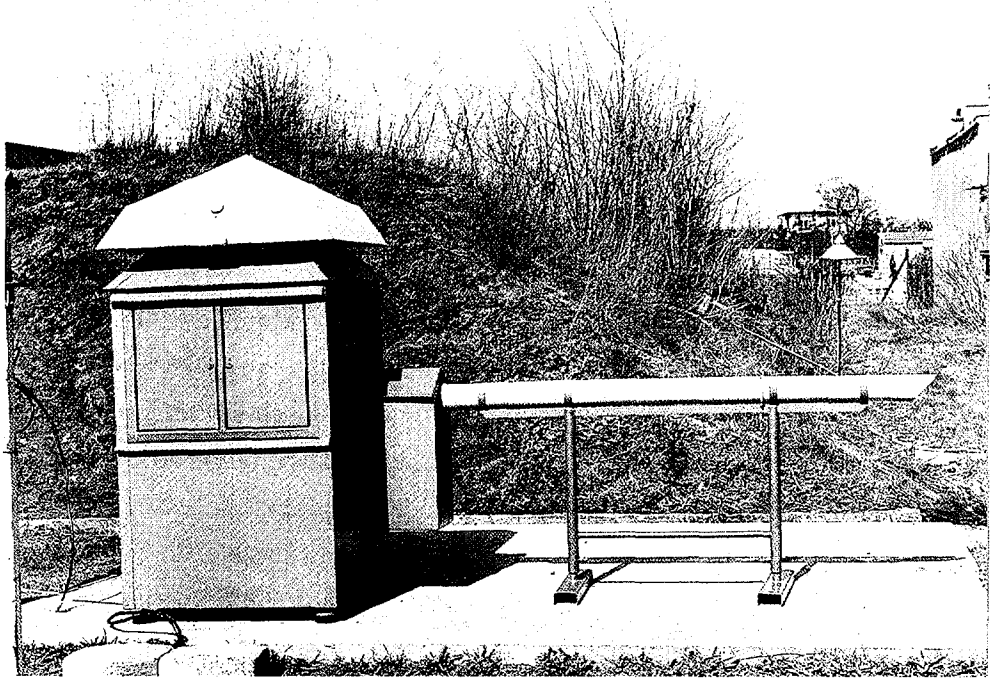
II. STACJA ASS-500

Stacja ASS-500 została opracowana i skonstruowana przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej przy współpracy z Federalnym Instytutem Fizykalno-Technicznym w Brunzshwiku (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) [3]. Przeznaczona jest ona do ciągłego poboru próbek promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza niezależnie od warunków pogodowych. Nominalny przepływ powietrza przez filtr o wymiarach 450 x 450 mm wynosi $\sim 500 \text{ m}^3/\text{h}$, wartość chwilowa tego przepływu może być mniejsza w następstwie wzrostu oporności materiału filtru. Wzrost tej oporności jest wynikiem długotrwałego poboru i osadzenia na filtrze dużej ilości pyłu. Czas poboru próbki jest ustalany w zależności od potrzeb:

- gdy o radiologicznych warunkach środowiskowych decyduje tło naturalne, zalecany czas poboru próbki wynosi 1 tydzień;
- w warunkach zagrożenia radiologicznego czas ten może być odpowiednio skrócony nawet do kilkunastu czy kilku minut.

Materiał filtru wraz z osadzonym na nim pyłem jest sprasowywany do postaci krążka o średnicy 51 mm i grubości od 3 do 6 mm, w zależności od masy zebranego pyłu. Pomiar promieniowania gamma tak ukształtowanych próbek wykonywane są za pomocą spektrometrów z detektorami HPGe umieszczonymi w niskotłowych domkach osłonnych [4]. Jeżeli próbka promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza pobrana została z objętości kilkudziesięciu tysięcy m^3 (np. próbka tygodniowa), wówczas możliwe jest oznaczenie ilościowe poszczególnych radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego na poziomie stężeń mniejszych od $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Stację ASS-500 przedstawiono na Rys. 2 [5]. Obecnie w Polsce i w innych krajach pracuje ponad 30 stacji ASS-500. Stacje te, w połączeniu z niskotłowym laboratorium pomiarów spektrometrycznych promieniowania gamma, za-



Rys. 2. Stacja ASS-500

pewniają możliwość prowadzenia stałych pomiarów i kontroli promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza przez poszczególne radionuklidy w bardzo szerokim przedziale ich stężeń od części $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ do setek Bq/m^3 .

Stacja ASS-500 w swojej podstawowej wersji wyposażenia jest urządzeniem do poboru próbek nie przystosowanym do pracy w systemie alarmowym, gdzie wymagane jest automatyczne wykrywanie i sygnalizowanie przekroczenia ustalonych poziomów zanieczyszczeń powietrza przez radionuklidy pochodzenia sztucznego. W niektórych stacjach ASS-500 umieszczono nad filtrem zestaw trzech liczników G-M, które przez cały czas pracy stacji w systemie „on line” mierzą promieniowanie gamma i beta pyłów zbieranych na filtrze. Rozwiązanie takie, stosunkowo proste i pracujące bezawaryjnie w długich okresach czasu, nie umożliwia jednak rozróżnienia czy wzrost aktywności filtru spowodowany jest obecnością radionuklidów naturalnych czy też pochodzenia sztucznego. W związku z tym przydatność tego rodzaju podglądu do wykrywania obecności w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego jest ograniczona. Dlatego też podjęto badania, których celem było opracowanie, dla potrzeb systemu wczesnego ostrzegania, metody pomiarów i aparatury pozwalających na selektywne wykrywanie i pomiary promieniowania radionuklidów pochodzenia sztucznego w zmieniających się warunkach środowiska naturalnego.

III. POMIARY RADIOAKTYWNOŚCI ŚRODOWISKA PROWADZONE DLA POTRZEB SYSTEMÓW WCZESNEGO OSTRZEGANIA

Konieczność pozyskiwania szybkich, najlepiej natychmiastowych informacji o pojawieniu się skażenia środowiska radionuklidami pochodzenia sztucznego oraz o wielkości i tendencjach zachodzących zmian środowiskowych warunków radiologicznych powoduje, że podstawowymi źródłami informacji systemów wczesnego ostrzegania są pomiary mocy dawki promieniowania gamma i promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza. Informacje o radioaktywności innych komponentów środowiska – gleby, wody, roślinności a także żywności – pozyskiwane są z pewnym opóźnieniem wynikającym ze środowiskowych procesów migracji i kumulacji radionuklidów oraz czynności związanych z poborem i przygotowaniem próbek.

Stosunkowo łatwe i relatywnie tanie jest pozyskiwanie przez system wczesnego ostrzegania informacji o wartości mocy dawki promieniowania gamma. Pomiary wykonywane są najczęściej za pomocą sond wyposażonych w liczniki G-M. Stosowane są również detektory scyntylicyjne i komory jonizacyjne. Dobre systemy pomiarowe pracujące „on line” pozwalają wykryć zmiany mocy dawki promieniowania gamma na poziomie 10 nGy/h. Zastosowanie spektrometrycznych zestawów pomiarowych z detektorami NaI(Tl) umożliwia rozróżnienie, czy wzrost mocy dawki spowodowany został promieniowaniem radionuklidów naturalnych czy radionuklidów pochodzenia sztucznego. Wzrost mocy dawki promieniowania gamma o 10 nGy/h powodowany jest skażeniem środowiska np. przez ^{131}I lub ^{137}Cs na poziomie około 100 Bq/m³ powietrza lub 7 kBq/m² powierzchni ziemi [6]. Są to duże wartości skażeń zbliżone do tych, jakie zaobserwowano w Warszawie w dniach 28-30 kwietnia 1986 w następstwie awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu [7].

Ocena zagrożenia ludności, spowodowanego skażeniem środowiska przez radionuklidy, wskazuje, że należy dążyć, aby aparatura pracująca w sposób ciągły w systemach wczesnego ostrzegania wykrywała skażenia powietrza przez radionuklidy pochodzenia sztucznego o stężeniu około 10 Bq/m^3 .

Pracujące w Finlandii stacje poboru próbek promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza typu IL 900 o nominalnym przepływie powietrza $900 \text{ m}^3/\text{h}$ wyposażone są w zestaw dwóch liczników G-M umieszczonych nad filtrem. Liczniki te mierzą promieniowania α i β radionuklidów zbieranych na filtrze oraz środowiskowe promieniowanie gamma. Sygnalizacja alarmowa zostaje uruchomiona, gdy moc dawki promieniowania gamma przekracza 500 nGy/h [8].

Ciągłą kontrolę zanieczyszczeń promieniotwórczych powietrza w czasie rzeczywistym umożliwiają niemieckie stacje monitoringu sieci DWD. Przez filtr w postaci taśmy w sposób ciągły przepływa powietrze z wydajnością $10 \text{ m}^3/\text{h}$. W ciągu dwóch godzin zbierana jest próbka promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza i jednocześnie wykonywany jest pomiar spektrometryczny promieniowania gamma pobranej uprzednio próbki. Po dwóch godzinach taśma filtru zostaje przesunięta i rozpoczyna się kolejny cykl poboru i pomiaru. Pomiar spektrometryczny wykonywany jest za pomocą detektora HPGe umieszczonego w niskotłowym domku osłonowym. Dolna granica detekcji dla ^{60}Co wynosi 50 mBq/m^3 [9].

Ciągłe spektrometryczne pomiary kontrolne promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza za pomocą sondy z detektorem NaJ(Tl) wykonują francuskie stacje SCPRI. Pyły pobierane są na filtr papierowy. Czas trwania cyklu poboru próbki i pomiaru jej promieniowania wynosi 1 h. Dolna granica pomiaru ^{137}Cs i ^{131}I wynosi 1 Bq/m^3 [10].

Urządzenia z detektorami mierzącymi promieniowania alfa i beta radionuklidów zanieczyszczających powietrze są dla systemów wczesnego wykrywania mniej użyteczne od urządzeń przystosowanych do pomiarów promienio-

wania gamma. W przypadku promieniowania beta wzajemne nakładanie się na siebie ciągłych energetycznych rozkładów widmowych radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego bardzo utrudnia ich rozdzielenie i oznaczenie ilościowe w czasie rzeczywistym. Większość metod oznaczania stężeń w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego za pomocą pomiarów promieniowań alfa i beta wymaga czasu oczekiwania, od chwili zakończenia poboru próbki do chwili rozpoczęcia pomiaru, potrzebnego do „zaniku” naturalnych radionuklidów. Ogranicza to możliwość ich stosowania w systemach wczesnego ostrzegania.

Badania i prace konstrukcyjne podjęte w CLOR miały na celu opracowanie metod i urządzeń pozwalających na prowadzenie dokładnych badań i kontroli stanu zanieczyszczenia powietrza przez radionuklidy, a jednocześnie przystosowanych do potrzeb systemu wczesnego ostrzegania o zagrożeniu radiologicznym. Uznano za optymalne utworzenie zintegrowanego krajowego systemu stacji pomiarowo-kontrolnych prowadzących:

- ciągle badania skażeń promieniotwórczych powietrza, poczynając od stężeń poszczególnych radionuklidów wynoszących mniej niż $1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$;
- stałą kontrolę „on line” stężeń radionuklidów pochodzenia sztucznego powodującą uruchomienie sygnalizacji alarmowej na poziomie $10 \text{ Bq}/\text{m}^3$ zapewniającym właściwe funkcjonowanie systemu wczesnego ostrzegania.

Zmieniające się warunki środowiskowe powodują trudności w zapewnieniu długotrwałej, bezawaryjnej i stabilnej pracy aparatury. Koszty budowy i eksploatacji takiego systemu powinny być możliwie małe i uzasadnione uzyskiwanymi korzyściami.

IV. METODA KONTROLI „ON LINE” PROMIENIOTWÓRCZYCH ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA ZA POMOCĄ SPEKTROMETRU AS-01

Wyposażenie stacji ciągłej kontroli promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza w spektrometr z detektorami HPGe umożliwia wykrywanie obecności w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego, gdy ich aktywności zebrane na filtrze są rzędu pojedynczych bekereli. Zorganizowanie i zapewnienie sprawnego funkcjonowania sieci składającej się z wielu stacji dysponujących taką aparaturą jest sprawą trudną i kosztowną. Wykrywanie obecności w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego na poziomach stężeń wielokrotnie mniejszych od przyjmowanych za zasadne dla poziomów alarmowych nie stanowi warunku koniecznego dla właściwej pracy systemu wczesnego ostrzegania, którego progi alarmowe powinny być ustalane zgodnie z potrzebami ochrony radiologicznej ludności i środowiska.

W wyniku laboratoryjnych i środowiskowych badań możliwości pomiarowych oraz analizy zalet i wad różnych detektorów promieniowania występujących w czasie długotrwałej ich eksploatacji, uznano, że do pomiaru „on line” aktywności aerozoli zbieranych na filtrze stacji ASS-500 najwłaściwszym będzie detektor NaJ(Tl). Niedogodności stosowania tego detektora do spektrometrycznych pomiarów środowiskowych polegają przede wszystkim na jego słabej zdolności rozdzielczej nie pozwalającej na wyraźne rozdzielenie poszczególnych fotopików mierzonych rozkładów widmowych oraz niestabilności pracy spektrometru powodowanej zmiennością warunków pogodowych. Występujące w Polsce duże sezonowe i dobowe zmiany temperatury powodować mogą tak znaczne przesunięcia mierzonych energetycznych rozkładów impulsów badanych widm gamma, że pozyskiwanie wiarygodnej informacji o pojawieniu się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego może być problematyczne.

Możliwość pracy spektrometru AS-01 w zmieniających się warunkach środowiskowych uzyskano stosując układ stabilizacji widma pracujący na zasadzie utrzymania określonej linii promieniowania w ustalonym przedziale kanałów analizatora amplitudy impulsów. Źródłem odniesienia dla układu stabilizacji jest ^{241}Am umieszczony bezpośrednio na kryształach NaJ(Tl) . Duży pik w wysokoenergetycznej części widma promieniowania gamma powodowany promieniowaniem alfa ^{241}Am znajduje się poza zakresem widma promieniowania gamma zarówno radionuklidów naturalnych, jak i pochodzenia sztucznego. Zastosowanie układu stabilizacji zapewnia zachowanie parametrów pracy spektrometru określonych jego wzorcowaniem niezależnie od zmian warunków środowiskowych.

Słaba energetyczna zdolność rozdzielcza spektrometru scyntylacyjnego, występowanie efektu Comptona a także obecność w pyłach osadzonych na filtrze wielu radionuklidów emitujących oprócz promieniowania gamma również promieniowanie beta powodują, że zmierzone rozkłady impulsów najczęściej nie zawierają wyraźnych fotopików widmowych, które można przypisać poszczególnym liniom promieniowania gamma, lecz mają przebieg ciągły z mniej lub bardziej wyraźnie zarysowanymi maksimami i minimami.

W przypadku pojawienia się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego i ich osadzania na filtrze stacji ASS-500 następują zmiany kształtu mierzonego rozkładu impulsów. W pewnych jego przedziałach energetycznych obserwuje się wzrost liczby zliczeń. Odpowiednie dobranie szerokości przedziałów pozwala - na podstawie ciągłych pomiarów częstości zliczeń oraz badania zmian stosunków zliczeń między poszczególnymi przedziałami - na wykrycie obecności w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego. Przyjęcie wymogu uruchomienia sygnalizacji alarmowej - gdy stężenie w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego wzrośnie do 10 Bq/m^3 - powoduje, że dla zapewnienia właściwego funkcjonowania stacji w systemie alarmowym dolny próg wykrywania obecności w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego

powinien być mniejszy od tej wartości. Warunek ten był między innymi przedmiotem długotrwałych badań zestawu AS-01 zainstalowanego na stacji ASS-500. Badania prowadzono we wszystkich porach roku i bardzo różniących się warunkach meteorologicznych, a także w warunkach laboratoryjnych.

Najważniejsze, z uwagi na ich wydajność, linie widmowe promieniowania gamma radionuklidów naturalnych znajdują się w przedziale energii fotonów od kilkunastu keV do około 3 MeV. Energie fotonów promieniowania gamma radionuklidów pochodzenia sztucznego, które decydują o wielkości zanieczyszczenia środowiska, są mniejsze od 1,5 MeV. Dzieliąc odpowiednio rozkłady widmowe impulsów można uzyskać przedziały energetyczne, w których rejestrowane są impulsy powodowane promieniowaniem gamma radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego oraz przedziały, gdzie rejestrowane są impulsy powodowane prawie wyłącznie promieniowaniem radionuklidów naturalnych. Mierząc liczby zliczeń w poszczególnych przedziałach oraz analizując dla odpowiednio dobranych par przedziałów zmiany wartości stosunków tych zliczeń, można wykryć obecność w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego.

W Tabeli 1 podano szerokości przedziałów energii fotonów, dla których za pomocą aparatury spektrometrycznego „podglądu” AS-01 zliczane są liczby impulsów. Dolny próg dyskryminacji spektrometru ustalono na poziomie odpowiadającym energii fotonów promieniowania gamma wynoszącej 40 keV.

Tabela 1. Przedziały energii fotonów promieniowania gamma przyjęte dla spektrometru AS-01

Nr przedziału	od [keV]	do [keV]	Uwagi
1	40	150	
2	150	475	^{131}I
3	475	870	$^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$
4	870	2000	^{214}Bi , przedział odniesienia
5	2000	2700	^{208}Tl
6	40	2700	całe widmo
7	3720	3740	^{241}Am

Pierwszy, stosunkowo wąski przedział energetyczny od 40 do 150 keV dostarcza informacji pomocnych dla oceny zmian natężenia promieniowania gamma oraz o ewentualnej obecności w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego, emitujących fotony o energiach mniejszych od 150 keV, takich jak ^{141}Ce ($E_\gamma = 145 \text{ keV}$) i ^{144}Ce ($E_\gamma = 133 \text{ keV}$).

Dwa następne przedziały energetyczne (od 150 do 475 keV i od 475 do 870 keV) obejmują linie widmowe promieniowania gamma o największym natężeniu dla większości radionuklidów pochodzenia sztucznego, które decydują o wielkości skażenia środowiska w pierwszym kilkudniowym okresie po awarii obiektu jądrowego lub po wybuchu ładunku jądrowego. W przedziale energii fotonów od 150 do 475 keV, nazwanym przedziałem „jodowym”, mieści się m.in. promieniowanie linii widmowych ^{131}I o energiach 284,3 i 364,5 keV oraz ^{132}Te o energii 228,2 keV. W przedziale 475-870 keV, nazwanym przedziałem „cezowym”, znajdują się linie widmowe promieniowania gamma ^{134}Cs o energiach 604,7 i 795,8 keV, ^{137}Cs o energii 661,6 keV, ^{103}Ru o energii 497,1 keV, ^{133}I o energii 529,9 keV, ^{132}I o energiach: 667,7, 727,1 i 772,6 keV. W przedziale energii 870-2000 keV oprócz linii promieniowania gamma radionuklidów naturalnych, głównie ^{214}Bi , znajdują się linie ^{60}Co , ^{132}I , ^{136}Cs , ^{140}La . Natężenie promieniowania tych radionuklidów jest jednak stosunkowo niewielkie.

Fotony promieniowania gamma rejestrowane w przedziale energii 2000-2700 keV pochodzą od radionuklidów naturalnych, przede wszystkim od ^{208}Tl .

Pomiary liczby zliczeń w przedziale od 40 do 2700 keV dostarczają informacji o natężeniu promieniowania w całym zakresie badanego widma dla radionuklidów zebranych na filtrze. Przedział od 3720 do 3740 keV wydzielony został do kontroli prawidłowości działania układu stabilizacji pracy spektrometru.

W przypadku zanieczyszczenia powietrza radionuklidami pochodzenia sztucznego obserwowane zmiany wartości stosunków liczb zliczeń dla odpowiednio dobranych par przedziałów energetycznych są znacznie większe od względ-

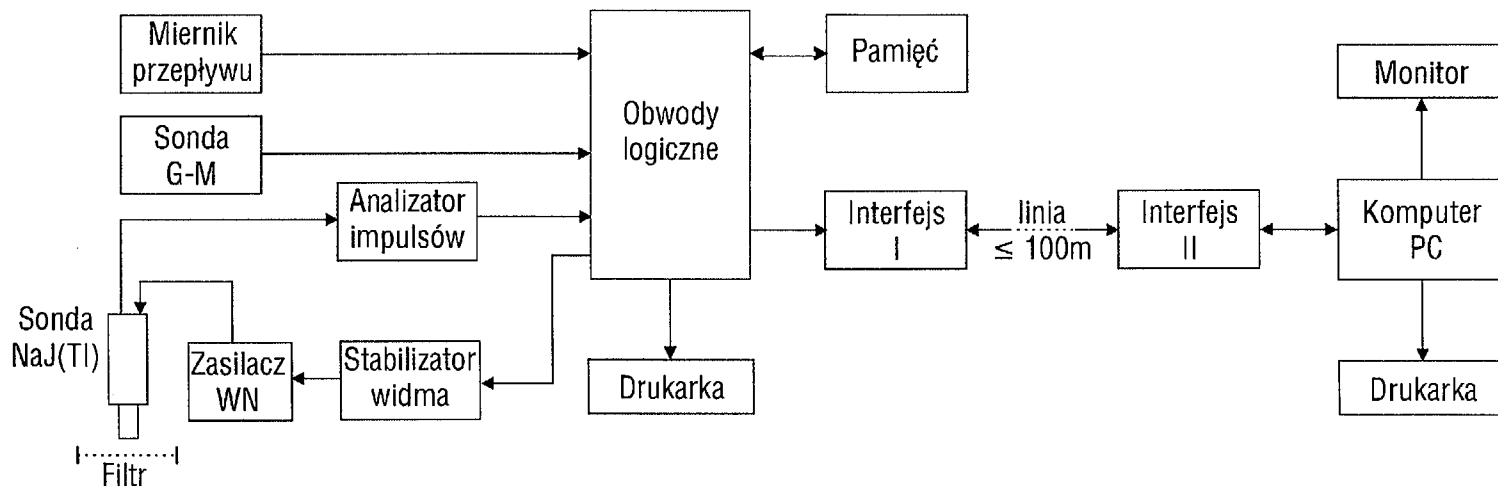
nych zmian częstości zliczeń całego mierzonego rozkładu impulsów, na który składa się promieniowanie radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego.

Dobierając przedział energetyczny, w którym zmierzone częstości zliczeń stanowiłyby poziom odniesienia dla częstości zliczeń zmierzonych w przedziałach: „jodowym” i „cezowym” kierowano się następującymi przesłankami:

- przedział ten nie może pokrywać się z przedziałami „jodowym” i „cezowym”,
- zmiany wartości stosunków częstości zliczeń dla par przedziałów: „jodowy” / „odniesienia” oraz „cezowy” / „odniesienia” powodowane fluktuacjami natężenia promieniowania radionuklidów naturalnych powinny być możliwie małe.

Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić, że warunki te spełnione są dla przedziału o zakresie energii fotonów promieniowania gamma od 870 keV do 2000 keV. Ciągła obserwacja zmian częstości zliczeń w przedziałach „jodowym” i „cezowym”, stosunków częstości zliczeń zmierzonych w tych przedziałach do częstości zliczeń w przedziale odniesienia oraz całego widma promieniowania gamma pozwala na wykrycie zanieczyszczeń powietrza radionuklidami pochodzenia sztucznego na poziomie spełniającym z dużym zapasem wymagania systemu wczesnego ostrzegania o zagrożeniu radiologicznym.

Na Rys. 3 przedstawiono schemat blokowy zestawu AS-01. Sonda scyntylacyjna wyposażona jest w kryształ NaI(Tl) o wymiarach 2” x 2”. Bezpośrednio na kryształach pod jego osłoną aluminiową znajduje się źródło ^{241}Am układu stabilizacji pracy spektrometru. Zdolność rozdzielcza spektrometru dla promieniowania ^{137}Cs o energii 661,6 keV wynosi 9,5 %. Liczba kanałów analizatora amplitudy impulsów - 2047.



Rys. 3. Schemat blokowy zestawu AS-01

Program gromadzenia i analizy wyników opracowany dla zestawu AS-01 umożliwia:

- gromadzenie w pamięci sterownika aktualnie mierzonego w ustalonym czasie np. 1 godziny energetycznego rozkładu impulsów;
- zachowanie w pamięci sterownika uprzednio zmierzonego rozkładu impulsów w czasie, gdy wykonywany jest kolejny następny pomiar. Po zakończeniu pomiaru rozkład impulsów przekazywany jest automatycznie do pamięci komputera stacji. Jednocześnie pamięć sterownika zachowuje ten rozkład impulsów do czasu zakończenia następnego pomiaru;
- pomiar liczb zliczeń w siedmiu przedstawionych uprzednio przedziałach energetycznych;
- obliczanie stosunków liczb zliczeń w przedziałach do liczby zliczeń w przedziale odniesienia;
- zachowanie w pamięci sterownika 72 ostatnich, kolejnych wyników pomiarów liczb zliczeń zmierzonych w poszczególnych przedziałach oraz wartości stosunków tych liczb dla wybranych par przedziałów, a także informacji o objętości powietrza, które przepłynęło przez filtr w czasie każdego pomiaru i danych identyfikujących pomiar;
- sygnalizowanie przekroczenia przyjętych za progowe:
 - a) liczby zliczeń całego mierzonego energetycznego rozkładu impulsów,
 - b) liczb zliczeń w poszczególnych przedziałach energetycznych,
 - c) wartości stosunków zliczeń oznaczanych dla wybranych par przedziałów;
- sygnalizowanie zakłóceń działania układu stabilizacji.

Jeżeli w składzie wyposażenia stacji ASS-500 znajduje się miernik mocy dawki ziemskiego promieniowania gamma, wówczas w pamięci sterownika zachowywane są także informacje o średnich wartościach mocy dawki tego promieniowania zmierzonych w czasie każdego z kolejnych 72 pomiarów. Sterownik spektrometru AS-01 połączony jest z komputerem, co pozwala na gromadzenie i dalsze opracowywanie danych pomiarowych. Możliwy jest podgląd energetycznego rozkładu impulsów w czasie wykonywania pomiaru, a także odejmowanie od zmierzonych rozkładów impulsów rozkładu impulsów tła. Tło mierzone jest, gdy w głowicy stacji ASS-500 znajduje się czysty filtr, a przepływ powietrza jest wyłączony. Komputer stanowiskowy stacji ASS-500 może być połączony z centralnym serwerem za pomocą łącza telefonicznego lub sieci komputerowej.

V. BADANIA PRACY ZESTAWU AS-01 W WARUNKACH ŚRODOWISKOWYCH

Wyposażenie aparatury AS-01 w układ stabilizacji zapewniło dobrą pracę zestawu także w czasie dużych i gwałtownych zmian meteorologicznych warunków środowiskowych. Długotrwałe obserwacje położenia fotopików linii widmowych promieniowania gamma tła ziemskiego wykazały dobrą stałość parametrów pracy spektrometru. W przypadku linii widmowej promieniowania gamma ^{214}Bi o energii fotonów 609 keV zmiany położenia jej fotopiku były w ciągu całego roku mniejsze od $\pm 3\%$ w stosunku do położenia określonego wzorcowaniem przeprowadzonym na początku badań.

Ocenę zmian liczb impulsów zliczanych w poszczególnych przedziałach energetycznych, opisanych w rozdziale IV, przeprowadzono analizując 3960 energetycznych rozkładów impulsów promieniowania aerozoli zbieranych na filtrach stacji ASS-500 w okresie od 01.07.97 do 31.12.97. Czas pojedynczego pomiaru wynosił 1 godzinę. Tabela 2 przedstawia średnie, maksymalne i minimalne liczby zliczeń zmierzone w czasie tych badań w poszczególnych przedziałach energetycznych. Jak wynika z przedstawionej tabeli, zmiany częstości zliczeń w poszczególnych przedziałach energetycznych, powodowane naturalnymi czynnikami środowiskowymi i wynikające ze zmian prędkości przepływu powietrza przez filtr są porównywalne lub większe od średnich wartości częstości zliczeń wyznaczonych dla długiego np. półrocznego okresu badań.

Tabela 2. Średnie, maksymalne i minimalne liczby zliczeń w poszczególnych przedziałach energetycznych zmierzone zestawem AS-01 w naturalnych warunkach środowiskowych. Łącznie wykonano 3960 pomiarów energetycznych rozkładów impulsów. Czas pojedynczego pomiaru wynosił 1 godzinę.

Lp.	Przedział energetyczny (keV)	$N_{\text{śr}}$	N_{max}	N_{min}
1	40 - 150	15319	24745	12360
2	150 - 475	34762	55661	22998
3	475 - 870	16735	30159	10804
4	870 - 2000	16718	25601	13219
5	2000 - 2700	13705	14429	13282
6	40 - 2700	96658	149548	72810

Wykrycie pojawienia się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego, na podstawie prostej obserwacji zmian liczb zliczeń rejestrowanych w czasie kolejnych pomiarów, możliwe jest wówczas, gdy stężenie tych radionuklidów jest dostatecznie duże, aby nastąpił wzrost liczby zliczeń porównywalny z wartościami możliwych zmian powodowanych czynnikami meteorologicznymi.

Tabela 3 przedstawia średnie, maksymalne i minimalne wartości stosunków liczb zliczeń w przedziałach „jodowym” i „cezowym” do liczby zliczeń w przedziale odniesienia zmierzonych za pomocą zestawu aparatury spektrometrycznej AS-01.

Tabela 3. Wartości średnie, maksymalne i minimalne stosunków W liczb zliczeń wyznaczonych dla par przedziałów energetycznych w naturalnych warunkach środowiskowych. Łącznie przebadano 3960 energetycznych rozkładów impulsów. $W = N_A/N_B$, gdzie N_A i N_B liczby zliczeń w przedziałach A i B. B - przedział odniesienia: od 870 do 2000 keV.

Lp.	Para przedziałów energetycznych	$W_{\text{śr}}$	W_{max}	W_{min}
1	$W_{(150 - 475)}$	2,06	2,69	1,71
2	$W_{(475 - 870)}$	0,99	1,28	0,81

Wyniki badań przedstawione w Tabelach 2 i 3 wskazują, że zmiany warunków meteorologicznych będąc istotnym czynnikiem decydującym o aktywności radionuklidów naturalnych osadzanych na filtrze stacji ASS-500, a tym samym i o natężeniu promieniowania rejestrowanego przez spektrometr AS-01, w większym stopniu wpływają na względne zmiany częstości zliczeń w poszczególnych przedziałach niż na zmianę wartości stosunków liczb zliczeń rozpatrywanych par przedziałów.

Wzorcowanie spektrometru AS-01 dla radionuklidów pochodzenia sztucznego zebranych na filtrze stacji ASS-500 przeprowadzono za pomocą powierzchniowych źródeł ^{133}Ba (o energii zbliżonej do energii fotonów promieniowania gamma ^{131}I) i ^{137}Cs o aktywnościach, odpowiednio 3000 Bq i 1000 Bq. Powierzchnia źródeł była równa powierzchni filtru stosowanego w stacji ASS-500. Badania te wykazały, że analizując zmiany częstości zliczeń w przedziałach „jodowym” i „cezowym” oraz stosunki liczb zliczeń dla par przedziałów wymienionych w Tabeli 3 można wykryć na poziomie ufności 0,95, obecność na filtrze wyżej wymienionych radionuklidów, gdy aktywności ich wynoszą odpowiednio 220 Bq i 395 Bq.

Przyjmując jednogodzinny czas pomiaru oraz objętość powietrza, które przepływa w tym czasie przez filtr, wynoszącą 500 m^3 otrzymuje się dolną granicę wartości stężenia ^{133}Ba wykrywanego przez stację pracującą w systemie „on line” równą $0,44\text{ Bq/m}^3$ a stężenia ^{137}Cs $0,79\text{ Bq/m}^3$. Wydłużając czas pomiaru do 2 godzin, a tym samym zwiększając do 1000 m^3 objętość powietrza, z którego aerozole pobierane są na filtr, uzyskuje się obniżenie dolnej granicy wartości wykrywanych stężeń o około 30 %.

VI. WNIOSKI

Przedstawiona metoda ciągłego „podglądu”, pomiaru i analizy promieniowania aerozoli zbieranych na filtrze pozwala na uzyskiwanie w czasie rzeczywistym informacji o promieniotwórczych zanieczyszczeniach powietrza mierzonych za pomocą stacji ASS-500 wyposażonej w zestaw AS-01. Stacja przystosowana jest do pracy ciągłej w systemie alarmowym automatycznie wykrywającym pojawienie się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego.

Zestaw aparatury AS-01 wraz z opracowanym programem pomiarów, analizy, przekazywania i archiwizacji uzyskiwanych wyników umożliwia:

- ciągłą obserwację stanu zanieczyszczenia powietrza pierwiastkami promieniotwórczymi i uzyskiwanie informacji o wielkości tego zanieczyszczenia w ustalonych przedziałach czasu (np. 1 godz.);
- wykrywanie w systemie „on line” pojawienia się w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego na poziomie stężeń 1 Bq/m^3 . Możliwym jest więc wykrywanie obecności tych radionuklidów w sytuacji, gdy powodowany przez nie wzrost mocy dawki promieniowania gamma jest rzędu 1-2% wartości mocy dawki promieniowania gamma ziemskiego fła naturalnego;
- sygnalizowanie przekroczenia, przyjętych jako alarmowe, poziomów stężeń w powietrzu radionuklidów pochodzenia sztucznego.

Zainstalowanie w stacji ASS-500 podglądu AS-01 w niczym nie ogranicza jej dotychczasowych możliwości prowadzenia badań promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza. Korzystając ze spektrometrów HPGe można wykrywać i oznaczać ilościowo radionuklidy naturalne i pochodzenia sztucznego na poziomie ich stężeń w powietrzu rzędu $1 \mu\text{Bq/m}^3$, co pozwala na prowadzenie szczegółowych badań np. dla potrzeb systemu kontroli przestrzegania Układu o Całkowitym Zakazie Prób Jądrowych.

SUMMARY

The method of continuous monitoring of artificial radionuclides in the ground-level atmosphere, used for early warning system in case of nuclear emergencies, is presented. The system consists of the scintillation spectrometer AS-01 mounted in the ASS-500 station cabinet. The results of calibrations and operational tests are given. For continuous operation mode the lower activity concentration limit is 0.44 Bq/m^3 for ^{131}I and 0.79 Bq/m^3 for ^{137}Cs . The activity concentration in the air of 10 Bq/m^3 for artificial radionuclides is used as the alarm threshold value.

The ASS-500 station equipped with AS-01 spectrometer allows obtaining of the immediate information on the presence of artificial radionuclides in the air. The sampling process is not disturbed by AS-01 spectrometer. Therefore, the determination of the activity concentration in the air on the level of few $\mu\text{Bq/m}^3$ by means of HPGe spectrometers is possible.

РЕЗЮМЕ

В статье представляется метод постоянного контроля за уровнем загрязнения воздуха радионуклидами искусственного происхождения, разработанный для системы раннего предупреждения об аварийной обстановке. Описывается специальное оборудование сцинтилляционный спектрометр AS-01, действующий совместно со станцией ASS-500; авторы приводят также результаты эталонирования и эксплуатационных исследований. Нижний предел величины концентрации, выявляемый в системе постоянных измерений, составляет: для ^{131}I – $0,44 \text{ Вq/m}^3$, а для ^{137}Cs – $0,79 \text{ Вq/m}^3$. Концентрация радионуклидов искусственного происхождения в воздухе на уровне 10 Вq/m^3 принимается в качестве аварийного порога.

Оборудование станции ASS-500 спектрометром AS-01 гарантирует немедленное получение информации о появлении в воздухе радионуклидов искусственного происхождения, а в одно и то же время в никакой степени не ограничивает существующих уже возможностей брать пробы аэрозолей из больших объёмов воздуха, что позволяет означать, с помощью спектрометров HPGe, концентрации отдельных радионуклидов, начиная с единичных $\mu\text{Вq/m}^3$.

PIŚMIENNICTWO

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION.
- [2] J. Jagielak, M. Biernacka, J. Henschke, A. Sosińska, M. Baranowski, R. Jankowski: Radiologiczny Atlas Polski, CLOR/PAA, Warszawa, 1992.
- [3] D. Arnold, J. Jagielak, W. Kolb, A. Pietruszewski, H. Wershofen and R. Zarucki: Practical Experience in and Improvements to Aerosol Sampling for Trace Analysis of Airborne Radionuclides in Ground Level Air, PTB-Ra-34, Braunschweig, 1994.
- [4] J. Jagielak, M. Biernacka, M. Bysiek, R. Zarucki: Metoda badań promieniotwórczych zanieczyszczeń powietrza za pomocą stacji ASS-500, Raport wewn. CLOR, Warszawa, 1993.
- [5] M. Biernacka, M. Fischer, E. Frenzel, J. Jagielak, M. Kiesewetter, W. Kolb, H. Wershofen, R. Zarucki: Determination of Radionuclides Concentrations in Ground Level Air Using the ASS-500 High Volume Sampler". The 41 Annual Meeting - Health Physics Society, Seattle, Washington , USA, July 21-25 1996.
- [6] W. Weiss, U. Stöhlker, P. Bieringer, M. Zähringer, H. Sartorius: „The Interpretation of Gamma Dose Rate Measurements in Terms of Airborne and Deposited Activity". Proceedings of the 2nd REM Workshop Ispra 5-6 December 1989.
- [7] J. Jagielak, M. Biernacka, D. Grabowski, J. Henschke: „Zmiany sytuacji radiologicznej środowiska Polski w okresie 10 lat po awarii w Czarnobylu”, PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1996.
- [8] A. Leppänen: „Ground-Level Air Sampling in Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety”, Report of STUK, Helsinki 1994.
- [9] Th. Stainkopf, W. Kiesewetter, I. Jacobsen: „Environmental Radioactivity Measurements in the Field Network of the Deutscher Wetterdienst Methods and Data Transfer”. Proceedings of the 2nd REM Workshop Ispra 5-6 December 1989.
- [10] F. Raes: „Monitoring of Environmental Radioactivity in the European Communities”, 1988.