

POMIARY TESTOWE NOWYCH STACJI TDPMS3 PRZEZNACZONYCH DO PRACY W SIECI WCZESNEGO WYKRYWANIA SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH

Test measurements performed with the new TDPMS3 stations dedicated for the radiological early warning network

Rafał Dąbrowski, Katarzyna Wołoszczuk

Streszczenie: W artykule przedstawiono szczegółową analizę wyników testowych pomiarów porównawczych nowych stacji pomiarowych TDPMS3 oraz komory jonizacyjnej RSS-131 przeprowadzonych w pomieszczeniu zamkniętym w budynku Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie. Zbadano niejednorodność tła promieniowania naturalnego w pomieszczeniu oraz wpływ tłumienia promieniowania przez komorę jonizacyjną na wyniki pomiarów z pozostałych detektorów.

Abstract: The paper presents a detailed analysis of the intercomparison measurements of the new TDPMS3 monitoring stations and the RSS-131 ionization chamber performed in a closed room in the building of the Central Laboratory of Radiological Protection (CLOR) in Warsaw. Inhomogeneity of the natural background radiation in the room has been investigated, as well as the shielding effect of the ionization chamber on the other detectors.

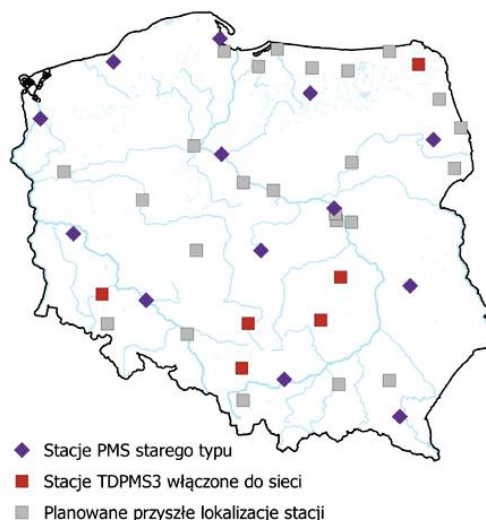
Słowa kluczowe: monitoring radiacyjny, stacje wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych, komora jonizacyjna, licznik Geigera-Müllera, detektor scyntylacyjny.

Keywords: radiation monitoring, early warning stations, ionization chamber, Geiger-Müller counter, scintillation detector.

Wprowadzenie

Stacje TDPMS3 [1] są to nowe urządzenia pomiarowe przeznaczone do ciągłej pracy w systemie monitoringu radiacyjnego kraju. Obecnie (listopad 2018 r.) w sieci stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych

Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) działa – oprócz 13 stacji starego typu PMS – również 6 urządzeń TDPMS3. Planowana jest rozbudowa całej sieci łącznie do 43 stacji (zob. rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych należących do PAA – istniejące i planowane lokalizacje
Fig. 1. Distribution of early warning stations operated by PAA – current and future locations

Pierwsze, prototypowe egzemplarze stacji TDPMS3 przed włączeniem do sieci były gruntownie testowane i wzorcowane. Pomiar kalibracyjny zostały przeprowadzone w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie oraz w unikalnym na skalę światową podziemnym laboratorium niskotłowym należącym do niemieckiego państwowego instytutu metrologicznego Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). Wyniki tych pomiarów oraz szczegóły dotyczące budowy i zasad działania stacji zostały szczegółowo opisane w publikacji [2]. Dla potrzeb niniejszego artykułu powiemy tylko, że podstawowym modułem pomiarowym stacji TDPMS3 jest sonda radiometryczna TDSG3 wyposażona m.in. w dwa liczniki Geigera-Müllera (GM) – nisko- i wysokozakresowy – oraz spektrometr oparty na detektorze scyntylacyjnym NaI(Tl), który rejestruje widmo promieniowania gamma w zakresie energii od 35 do 3000 keV. Duża objętość kryształu scyntylatora ($\varnothing 3'' \times 3''$) przekłada się na wysoką wydajność detekcji promieniowania, co umożliwia wiarygodną interpretację wyników pomiarów zebranych nawet w krótkich odstępach czasu (do 10 minut). Jest to bardzo ważne z punktu widzenia systemu wczesnego ostrzegania.

Stacja TDPMS3 jest również wyposażona w sondę meteorologiczną, co pozwala na łatwą weryfikację poprawności wskazań przyrządów dozymetrycznych w zmiennych warunkach pogodowych. Umożliwia to m.in. eliminację fałszywych alarmów spowodowanych np. nagłym wzrostem stężenia przy powierzchni ziemi izotopów pochodnych radonu ^{222}Rn (z naturalnego szeregu promieniotwórczego uranowo-radowego), co zwykle ma miejsce tuż po opadach deszczu.

Przed instalacją w miejscu przeznaczenia i włączeniem do sieci nowe stacje pracują z reguły przez dłuższy czas na stanowiskach testowych. Obecnie dwanaście z nich działa w pomieszczeniu zamkniętym w budynku CLOR, a jedna jest zainstalowana w ogródku pomiarowym.

Krótko po uruchomieniu nowych stacji na stanowisku testowym w pomieszczeniu okazało się, że wyniki pomiarów mocy przestrzennego równoważnika dawki ($\dot{H}^*(10)$) z poszczególnych sond radiometrycznych ustawionych w różnych miejscach pokoju różnią się między sobą nawet o kilkanaście nSv/h. Powstaje pytanie, czy tak duże różnice wynikają jedynie z nierównomierności tła promieniowania w pomieszczeniu, czy też są obciążone dodatkowymi błędami. W tym celu należało przeprowadzić dodatkowe pomiary porównawcze z użyciem niezależnego przyrządu dozymetrycznego.

Pomiary tła promieniowania w pomieszczeniu zamkniętym

Na przełomie maja i czerwca 2018 r. wykonano serię pomiarów tła promieniowania w pomieszczeniu, gdzie testowane są nowe stacje TDPMS3. Wykorzystano do tego celu komorę jonizacyjną typu Reuter Stokes (RSS-

131). Była ona ustawiana kolejno w czterech rogach pokoju na okres kilku dni. Ostatnia (piąta) seria pomiarowa została wykonana dokładnie w tym samym miejscu co pierwsza w celu potwierdzenia porównywalności wyników po upływie określonego czasu.



Fot. 1. Komora jonizacyjna RSS-131 na tle jednej z sond TDSG3 podczas pomiarów porównawczych

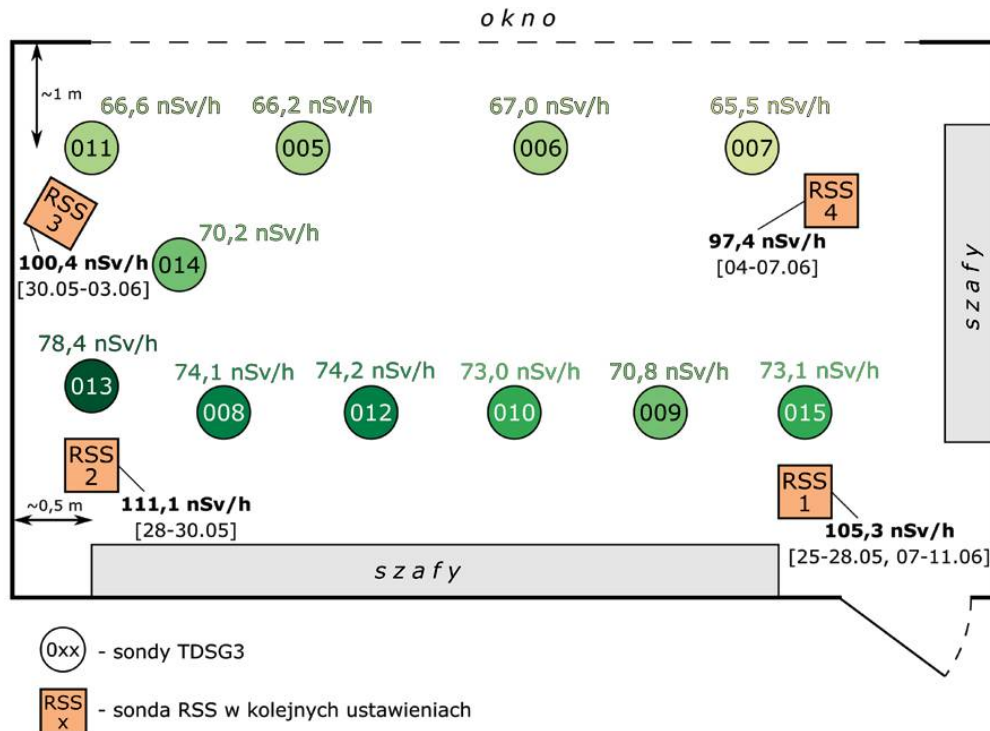
Photo 1. Ionization chamber RSS-131 in front of one of the TDSG3 probes during the intercomparison

Na rys. 2 znajduje się schematyczny plan pomieszczenia z zaznaczonymi miejscami, w których ustawiona była komora jonizacyjna, z podaniem dokładnych dat pomiaru. Przedstawione jest również rozmieszczenie 11-tu sond radiometrycznych stacji TDPMS3, które były wtedy zainstalowane w pomieszczeniu. Na rysunku podane są również uśrednione wyniki pomiarów z komory jonizacyjnej przeliczone na moc przestrzennego równoważnika dawki $\dot{H}^*(10)$ oraz ta sama wielkość obliczona na podstawie widm zmierzonych przez detektory NaI w sondach TDSG3. Ponieważ obecność komory jonizacyjnej o dość dużych rozmiarach w bliskiej odległości od poszczególnych sond TDSG3 miała istotny wpływ na ich wyniki pomiarów (co będzie szczegółowo omówione dalej), do porównania i uśrednienia wzięte zostały wyniki z sond TDSG3 z okresu 7 dni bezpośrednio przed rozpoczęciem pomiarów porównawczych.

Szczegółowe zestawienie wyników pomiarów znajduje się w tabelach 1 i 2. Obliczenia $\dot{H}^*(10)$ na podstawie widm z detektorów NaI zostały wykonane zgodnie z metodą transformacji opisaną w publikacji [2]. Do obliczeń mocy dawki z niskozakresowych detektorów GM posłużono się kalibracją wykonaną w laboratorium

niskotłowym PTB przy użyciu izotopu ^{137}Cs . Przy pomiarach środowiskowych liczniki GM pracujące w sondach TDSG3 są zwykle kalibrowane źródłem ^{226}Ra , które lepiej imituje naturalne tło promieniowania ze względu

na szerokie widmo. Jednak w tym przypadku wybrano źródło ^{137}Cs , aby zachować spójność z kalibracją komory jonizacyjnej, która również została wykonana przy użyciu tego izotopu.



Rys. 2. Rozmieszczenie sond TDSG3 w pomieszczeniu CLOR i miejsca kolejnych ustawień komory jonizacyjnej RSS. Podane są uśrednione wartości mocy przestrzennego równoważnika dawki $\dot{H}^*(10)$ z komory jonizacyjnej oraz obliczone z widm detektorów NaI w sondach TDSG3 (szczegóły w tekście)

Fig. 2. Distribution of the TDSG3 probes in the CLOR room and subsequent locations of the ionization chamber RSS. Average values of the ambient gamma dose equivalent rate $\dot{H}^*(10)$ obtained from the ionization chamber and calculated from NaI spectra from the TDSG3 probes are given (details in text)

W przedstawionych tabelach celowo nie są podane niepewności statystyczne uśrednionych wyników, gdyż z powodu długich czasów pomiarów byłyby one bardzo małe. Sama niepewność statystyczna średniej nie uwzględniałaby w tym przypadku wszystkich źródeł niepewności pomiarowych, więc podawanie jej mogłoby sugerować nieprawdopodobnie niskie niepewności wyników. Zamiast tego podane są odchylenia standardowe wyników 10-minutowych, co bardzo dobrze odzwierciedla ich rozrzuty dla poszczególnych przyrządów pomiarowych.

Tabela 1. Wyniki pomiarów $\dot{H}^*(10)$ (w nSv/h) wykonanych komorą jonizacyjną w czterech miejscach w pomieszczeniu CLOR

Table 1. Results of $\dot{H}^*(10)$ measurements (in nSv/h) performed with the ionization chamber in four places in the CLOR room

Ustawienie komory jonizacyjnej	Daty pomiaru	Średnia	Odchylenie standardowe wyników 10-minutowych
RSS 1	25-28.05	105,4	0,8
RSS 1	07-11.06	105,1	0,8
RSS 2	28-30.05	111,1	0,7
RSS 3	30.05-03.06	100,4	0,8
RSS 4	04-07.06	97,4	0,9

Tabela 2. Wyniki pomiarów $\dot{H}^*(10)$ z sond TDSG3 (w nSv/h) wykonanych w okresie poprzedzającym pomiary komorą jonizacyjną w pomieszczeniu CLOR podane w rosnącej kolejności wartości otrzymanych z detektorów NaI

Table 2. $\dot{H}^*(10)$ measurement results (in nSv/h) from the TDSG3 probes during the period before the intercomparison with the ionization chamber in the CLOR room given in the increasing order of the values obtained from the NaI detectors

Nr sondy TDSG3	Detektor GM		Detektor NaI	
	Średnia	Odchylenie standardowe wyników 10-minutowych	Średnia	Odchylenie standardowe wyników 10-minutowych
007	104,0	4,0	65,5	0,3
005	106,5	4,0	66,2	0,3
011	110,4	4,1	66,6	0,3
006	106,1	4,2	67,0	0,3
014	109,2	4,3	70,2	0,3
009	109,5	4,1	70,8	0,3
010	111,6	4,0	73,0	0,3
015	110,1	4,0	73,1	0,6
008	115,0	4,3	74,1	0,3
012	113,2	4,1	74,2	0,3
013	119,4	4,2	78,4	0,3

Omówienie wyników pomiarów

Wartości bezwzględne $\dot{H}^*(10)$ otrzymane z poszczególnych typów detektorów różnią się od siebie znacząco, co jest spowodowane różnymi współczynnikami odpowiedzi tych detektorów w zależności od energii promieniowania. Wynika to z konstrukcji i zasad działania przyrządów pomiarowych i ma szczególnie znaczenie dla wtórnego promieniowania kosmicznego o wysokiej energii. Najwyższe wyniki otrzymuje się z liczników GM, których charakterystyka energetyczna znacznie wzrasta przy wysokich energiach. Z kolei detektory scyntylacyjne (jak NaI) prawie wcale nie rejestrują promieniowania kosmicznego, gdyż są z reguły ustawione na pomiar promieniowania o energii do 3 MeV. Zostało to potwierdzone m.in. podczas serii pomiarów porównawczych dozymetrów środowiskowych, które są sukcesywnie prowadzone przez PTB od wielu lat [3].

Głównym celem przeprowadzonych pomiarów było zbadanie, czy obserwowane wcześniej różnice w wynikach pomiędzy poszczególnymi sondami TDSG3 są spowodowane nierównomiernością tła promieniowania naturalnego. Okazało się, że różnice te bardzo dobrze pokrywają się z różnicami wyników pomiarów wykonanych komorą jonizacyjną w czterech miejscach pokoju. Największe wartości $\dot{H}^*(10)$ występują w pobliżu ścian pokoju, natomiast najmniejsze – koło okna. Jest to spowodowane wpływem promieniowania naturalnego od materiałów budowlanych ze ścian budynku CLOR.

W dwóch sondach występują niewielkie rozbieżności pomiędzy wskazaniem detektorów GM i NaI. Ma to miejsce dla sondy nr 011, która znajduje się na tyle blisko zarówno ściany, jak i okna, że istotne stają się szczegóły we wzajemnym położeniu detektorów wewnątrz urządzenia. Z kolei w przypadku sondy nr 015 występowały problemy ze stabilizacją energetyczną widma NaI, przez co wynik obliczony z tego detektora jest najprawdopodobniej zawyżony.

Tabela 3 przedstawia różnice wartości minimalnych i maksymalnych otrzymane z trzech analizowanych detektorów. Są one zgodne w granicach błędów, a ponadto wykazują tę samą, omówioną powyżej, tendencję wynikającą z różnic konstrukcyjnych.

Długoterminowe serie wyników pomiarów $\dot{H}^*(10)$ z detektorów NaI z wybranych sond TDSG3 zostały pokazane na rys. 3. W celu zwiększenia czytelności wykresów pominięte zostały te sondy, z których wyniki nachodziłyby na siebie, a także sonda nr 015, w której wystąpiły problemy z kalibracją energetyczną. Objęty został miesięczny przedział czasowy, w którym zawiera się zarówno okres wykonywania pomiarów porównawczych komorą jonizacyjną, jak i okres poprzedzający.

Tabela 3. Zestawienie różnic pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi wartościami średnich $\dot{H}^*(10)$ (w nSv/h) zmierzonych w różnych miejscach w pomieszczeniu CLOR. Podane niepewności zostały obliczone wzięwszy pod uwagę odchylenia standardowe wyników 10-minutowych w poszczególnych seriach pomiarowych

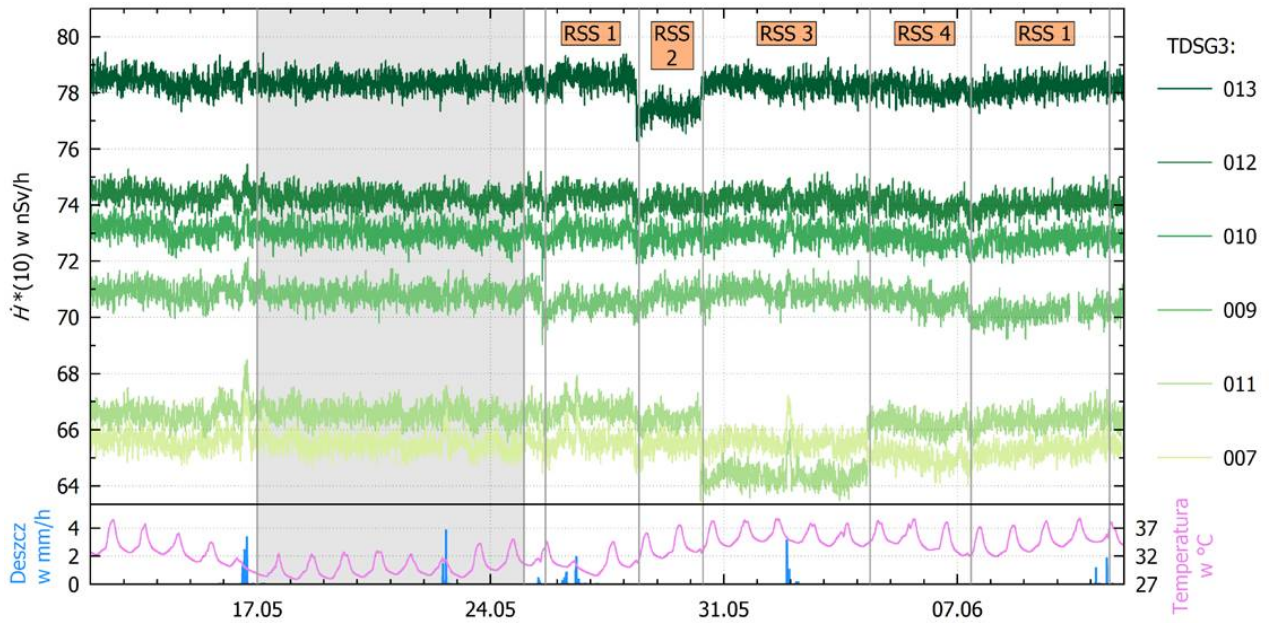
Table 3. Differences between minimal and maximal averages of $\dot{H}^*(10)$ values (in nSv/h) measured in different places in the CLOR room. The uncertainties are given as standard deviations of the 10-minute values from the corresponding measurement series

Detektor	Różnica $\dot{H}^*(10)$
RSS	13,7 ± 1,2
TDSG3, GM	15,4 ± 5,8
TDSG3, NaI	12,9 ± 0,4

Począwszy od momentu rozpoczęcia pomiarów porównawczych (25.05 15:30) widoczny jest wyraźny wpływ komory jonizacyjnej na wyniki pomiarów z tych sond TDSG3, które znajdowały się w najbliższej odległości od niej. Ustawienie dodatkowego, masywnego przyrządu pomiarowego pomiędzy sondą a ścianą pokoju za każdym razem powoduje zwiększenie tłumienia naturalnego promieniowania docierającego do sondy od ściany. Wyniki pomiarów maleją zatem o kilka nSv/h w stosunku do wartości zmierzonych bez komory jonizacyjnej w pobliżu.

Na uwagę zasługują również niewielkie, ale wyraźne podwyższenia $\dot{H}^*(10)$ w okresach opadów deszczu, co miało miejsce m.in. w dniu 16.05 po południu. Opady atmosferyczne powodują zwykle gwałtowne i szybko zanikające wzrosty mocy dawki. Ich przyczyną jest zwiększenie stężenia w powietrzu przy powierzchni ziemi krótkożyjących izotopów pochodnych ^{222}Rn , które wraz z opadem są wyłukiwane z wyższych warstw atmosfery. Zjawisko to jest bardzo dobrze widoczne w przypadku dozymetrów środowiskowych pracujących na wolnym powietrzu, natomiast trudno je dostrzec wewnątrz budynku w zamkniętym pomieszczeniu. W naszym przypadku najwyraźniejsze wzrosty mocy dawki (do około 2 nSv/h) były rejestrowane przez sondy znajdujące się w pobliżu okna. Im dalej od niego, tym mniej widoczne staje się podwyższone stężenie izotopów pochodnych ^{222}Rn w powietrzu na zewnątrz budynku. Zdolność sond TDSG3 do wykrycia nawet tak niewielkich wahań tła promieniowania świadczy o ich dobrym przystosowaniu do pracy w sieci wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych.

W niektórych fragmentach poszczególnych serii pomiarowych widoczne są także bardzo niewielkie wahania wyników, skorelowane z dobowymi zmianami temperatury panującej w pokoju. Wynikają one zapewne z niedoskonałości algorytmu utrzymującego stabilizację energetyczną widm.



Rys. 3. Serie wyników pomiarów $\dot{H}^*(10)$ z detektorów NaI wybranych sond TDSG3 przeprowadzonych w pomieszczeniu CLOR od 12.05 do 12.06.2018 r. Zaznaczone zostały okresy poszczególnych ustawień komory jonizacyjnej RSS oraz – na szarym tle – okres, z którego wyniki zostały uśrednione do porównania (zob. Tabela 2). Dane o intensywności opadu deszczu pochodzą ze stacji PMS usytuowanej w niewielkiej odległości od budynku CLOR. Temperatura w pokoju została zmierzona przy pomocy sondy meteorologicznej jednej ze stacji TDPMS3

Fig. 3. $\dot{H}^*(10)$ measurement series (in nSv/h) from the NaI detectors of the selected TDSG3 probes in the CLOR room in the period from 12.05 to 12.06.2018. Subsequent dates of the different locations of the ionization chamber are marked with the 'RSS' labels. The period, from which the results have been averaged for comparison (see Table 2) is marked with the grey background. Rain intensity data have been taken from the PMS early warning station situated nearby the CLOR building. Temperature in the room was measured with the meteorological probe of one of the TDPMS3 stations

Podsumowanie

Pomiary porównawcze z użyciem niezależnego przyrządu dozymetrycznego (komory jonizacyjnej RSS-131) potwierdziły, że różnice w wynikach z poszczególnych sond TDSG3, dochodzące do kilkunastu nSv/h, są spowodowane nierównomiernym tłem promieniowania naturalnego na stanowisku testowym w budynku CLOR.

Wahania statystyczne wyników obliczeń $\dot{H}^*(10)$ z widm NaI są bardzo małe. Odchylenia standardowe wyników 10-minutowych wynoszą około 0,3 nSv/h (z wyjątkiem sondy nr 015) i są mniejsze nawet od analogicznych odchyłek wyników z komory jonizacyjnej (0,7-0,9 nSv/h). Pozwala to zaobserwować nawet bardzo niewielkie zmiany tła promieniowania naturalnego (od około 2 nSv/h) spowodowane np. wzrostem stężenia izotopów pochodnych radonu ^{222}Rn za oknem budynku podczas deszczu lub tłumieniem przez inny przedmiot promieniowania docierającego od ściany.

Wahania statystyczne wyników pomiarów $\dot{H}^*(10)$ z detektorów GM są na tyle duże (odchylenia standardowe wyników 10-minutowych przekraczają 4 nSv/h), że nie pozwalają na zaobserwowanie tak małych zmian tła promieniowania. Niemniej jednak wyniki pomiarów z tych detektorów zgadzają się z nierówno-

miernością tła w pokoju zmierzoną komorą jonizacyjną i detektorami NaI. Zastosowanie w sondzie środowiskowej dwóch niezależnych detektorów o różnych mechanizmach działania pozwala na łatwe porównywanie wyników i ich wzajemną weryfikację, dzięki czemu można w prosty sposób eliminować wszelkie nieprawidłowości.

Rafał Dąbrowski,
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa
Katarzyna Wołoszczuk,
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej,
Warszawa

Literatura:

- [1] Karta katalogowa stacji TDPMS3, <http://tdpms3.td-electronics.pl>
- [2] Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, biuletyn informacyjny PAA, 3(113)/2018, ISSN 2353-9062, 16-23
- [3] S. Neumaier, H. Dombrowski, *EURADOS intercomparisons and the harmonisation of environmental radiation monitoring*, Radiat. Prot. Dosim. 160 (4) (2014), 297-305