

Małgorzata Adamowicz

Sylwia Papierz

Janusz Kacprzyk

Zbigniew Kamiński

Marek Zmysłony

POMIAR INDYWIDUALNEGO RÓWNOWAŻNIKA DAWKI PROMIENIOWANIA X I GAMMA ZA POMOCĄ DOZYMETRU PIERŚCIONKOWEGO – WYNIKI PORÓWNAŃ MIĘDZYLABORATORYJNYCH

MEASUREMENT OF PERSONAL DOSE EQUIVALENT OF X AND GAMMA RADIATION BY RING DOSIMETER:
RESULTS OF INTERCOMPARISON MEASUREMENTS

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Department of Radiation Protection

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem pracy było potwierdzenie, na podstawie wyników porównań międzylaboratoryjnych dla dozymetrów pierścionkowych, że stosowana metoda badawcza jest odpowiednia do pomiaru indywidualnego równoważnika dawki $H_p(0,07)$. Ponadto w pracy przedstawiono procedury kalibracyjne stosowane podczas walidacji metody badawczej przed wdrożeniem do rutynowych pomiarów związanych z oceną narażenia pracowników na działanie promieniowania X i γ . **Materiał i metody:** Przedmiotem porównań międzylaboratoryjnych były dozymetry pierścionkowe wykonane z elastycznego tworzywa o standardowej średnicy 20 mm i z umieszczonymi wewnątrz dwoma detektorami termoluminescencyjnymi (TL) typu MTS-N – po naeksponowaniu u organizatora porównań odczytywano je za pomocą nowego, manualnego czytnika detektorów TL (prod. FIMEL, Francja). Wszystkie ekspozycje dozymetrów, przeprowadzone dla celów walidacyjnych ww. czytnika, wykonano we wzorcowych wiązkach promieniowania X i γ z zastosowaniem fantomu prętowego ISO. Metodologia wykonanych ekspozycji była odpowiednia do potrzeb pracowni oraz zgodna z metodami stosowanymi przez Europejską Grupę ds. Dozymetrii Promieniowania (European Radiation Dosimetry Group – EURADOS) – organizatora porównań międzylaboratoryjnych o europejskim zasięgu w zakresie dozymetrii indywidualnej. **Wyniki:** Wykonane charakterystyki – energetyczna, dawkowa i kątowna dozymetru pierścionkowego – umożliwiły opracowanie wzoru dotyczącego oszacowania indywidualnego równoważnika dawki $H_p(0,07)$ oraz poddania go testowi weryfikacyjnemu. Stwierdzono zadowalający wynik testu oceny wielkości $H_p(0,07)$ i tym samym potwierdzono gotowość wdrożenia czytnika termoluminescencyjnego do stosowanej metody badawczej oraz uczestniczenia w porównaniach międzylaboratoryjnych. **Wnioski:** Laboratorium – zgodnie z wymaganiami Polskiego Centrum Akredytacji – uczestniczyło w porównaniach międzylaboratoryjnych (organizowanych przez grupę EURADOS) w zakresie pomiaru dawki równoważnej na ręce promieniowania jonizującego X i γ . Wynik porównania był pozytywny, a jego przedmiotem były dozymetry pierścionkowe. Potwierdzono tym samym prawidłowość realizowanej procedury badawczej. Med. Pr. 2013;64(5):631–637

Słowa kluczowe: porównania międzylaboratoryjne, promieniowanie rentgenowskie i gamma, indywidualny równoważnik dawki, dozymetr pierścionkowy, detektor termoluminescencyjny

ABSTRACT

Background: The aim of the study was to present the results of the interlaboratory comparisons for ring dosimeters and to confirm that the applied method is suitable for measuring the personal dose equivalent $H_p(0,07)$. In addition, calibration procedures used in dosimetric measurements in persons occupationally exposed to ionizing photon radiation X and γ were presented. **Materials and Methods:** Ring dosimeters made of flexible plastics with the diameter of approximately 20 mm, equipped with two thermoluminescence (TL) detectors type MTS-N, were the subject of interlaboratory comparisons. Irradiated detectors were read out using a new manual TLD's reader (FIMEL, France). All TLD exposures were done for validation of TLD readers and were performed using the reference X-ray and γ beams with the ISO rod phantom. The methodology of performed exposures corresponded with the methods applied by the European Radiation Dosimetry Group (EURADOS), the European organizer of interlaboratory comparisons. **Results:** The energy, dose and angular characteristics of the ring dosimeter allowed to elaborate the formula for estimating and verifying the personal dose equivalent $H_p(0,07)$. The test was performed to check and confirm the correctness of the estimated characteristics. The test results were satisfactory, and thus the readiness to implement TLD reader in the used method and to participate in interlaboratory comparisons was confirmed. **Conclusions:** According to the requirements of the Polish Centre for Accreditation, the laboratory was participating in the interlaboratory comparison organized by EURADOS in terms of the personal dose equivalent $H_p(0,07)$. The result of the comparison was satisfactory, therefore the correctness of the testing procedure was confirmed. Med Pr 2013;64(5):631–637

Key words: interlaboratory comparisons, X-ray and gamma radiation, personal dose equivalent, ring dosimeter, thermoluminescence detectors

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Małgorzata Adamowicz, Zakład Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: madam@imp.lodz.pl
Nadesłano: 25 czerwca 2013, zatwierdzono: 1 października 2013

WSTĘP

Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 (1) laboratorium badawcze powinno mieć procedury sterowania jakością, które zapewniają stałe monitorowanie miarodajności wyników badań dostarczanych klientom. Zapewnia to bowiem wysoką jakość i wiarygodność wyników badań. Uzyskiwane dane powinny być zapisywane w sposób umożliwiający śledzenie kierunków ich zmian, a w celu przeglądu wyników (w miarę możliwości) powinny być stosowane techniki statystyczne.

Jednym z istotnych narzędzi służących do monitorowania miarodajności badań (zewnętrzne sterowanie jakością) jest udział w badaniach biegłości (proficiency testing – PT) lub porównaniach międzylaboratoryjnych (interlaboratory comparison – ILC). Są one traktowane jako jeden z podstawowych sposobów potwierdzenia kompetencji technicznych danego laboratorium (2). Wyniki uczestnictwa w PT/ILC są ważną częścią oceny laboratoriów przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA) w procesach akredytacji i nadzoru (3). Laboratoria w okresie ważności akredytacji powinny w każdym jej cyklu (cykl akredytacji wynosi 4 lata) uczestniczyć przynajmniej w jednym programie dla każdej z dziedzin pomiarowych objętych zakresem akredytacji i uzyskać wynik pozytywny. Zgodnie z DA-05 (3) brak uczestnictwa w badaniach biegłości albo powtarzające się niezadowolające wyniki mogą być przyczyną nieudzielenia akredytacji, jej zawieszenia, cofnięcia lub przedłużenia na następny cykl.

Laboratoria są zobowiązane do uczestniczenia w odpowiednich programach PT/ILC, wybranych przez laboratorium. Przy wyborze konkretnego programu PT/ILC powinny zostać uwzględnione następujące zasady:

- wybrane programy PT/ILC obejmują dyscypliny, poddyscypliny i reprezentatywne dla dyscypliny lub poddyscypliny metody badań, które są objęte zakresem akredytacji laboratorium;
- obiekty badań są możliwie najbardziej zbliżone do tych, które bada laboratorium;
- wartości mierzonych cech powinny znajdować się w zakresie, które bada laboratorium;

- techniki statystyczne wykorzystywane do oceny osiągniętych wyników porównań powinny być odpowiednie do metod badań objętych programem, a kryteria dotyczące akceptacji osiągniętych wyników powinny być jednoznacznie określone.

Jednostka, która organizuje porównania, powinna mieć odpowiednie kompetencje i spełniać wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17043:2011 (2,3).

Zgodnie z przedstawionymi wyżej wymaganiami dotyczącymi badań biegłości Pracownia Oceny Narażenia Zawodowego (PONZ) Zakładu Ochrony Radiologicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi uczestniczy w porównaniach międzylaboratoryjnych. W 2004 r. została ona akredytowana przez PCA (nr akredytacji AB 327) w zakresie pomiaru dawki równoważnej na ręce, rozumianej jako $H_p(0,07)$, za pomocą pierścienka dozymetrycznego, wyposażonego w detektory termoluminescencyjne. Potwierdziło to, że pracownia spełnia wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 (1).

Organizatorem porównań o zasięgu światowym w zakresie dozymetrii indywidualnej stosowanej rutynowo do oceny narażenia zawodowego pracowników na promieniowanie jonizujące jest Europejska Grupa ds. Dozymetrii Promieniowania (European Radiation Dosimetry Group – EURADOS). Jest to naukowa sieć europejskich laboratoriów zajmujących się dozymetrią promieniowania, której podstawowym celem działania – poprzez stymulowanie współpracy europejskich placówek – jest rozwój techniczny dozymetrii promieniowania jonizującego w takich dziedzinach, jak ochrona radiologiczna, radiobiologia, radioterapia i diagnostyka medyczna.

W 2008 r. EURADOS zrealizował porównania międzylaboratoryjne z zastosowaniem dozymetrów całego ciała. W następnym etapie programu kontynuował porównania dla dozymetrów przeznaczonych do pomiaru dawki na kończynie ($H_p(0,07)$), rutynowo stosowanych przez pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące. W 2009 r. wzięła w nich udział PONZ.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie uzyskanych wyników porównań, które potwierdzają, że metoda badawcza stosowana przez PONZ jest odpowiednia

do pomiaru $H_p(0,07)$ za pomocą dozymetru pierścionkowego. Ponadto zwiększając się liczba klientów korzystających z usług dozymetrycznych PONZ wymaga inwestowania w wyposażenie dozymetryczne i przeprowadzania rewalidacji stosowanych metod badawczych. W związku z powyższym celem niniejszego artykułu jest także przedstawienie procedur kalibracyjnych stosowanych podczas walidacji metody badawczej, przed wdrożeniem jej do rutynowych pomiarów związanych z oceną narażenia pracowników na działanie promieniowania X i γ .

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem porównań międzylaboratoryjnych były dozymetry pierścionkowe stosowane rutynowo w badaniach dla klientów. Dozymetry zostały zaprojektowane przez PONZ i wykonane z elastycznego tworzywa o standardowej średnicy 20 mm, co umożliwiła umieszczenie ich pod rękawicą chirurgiczną na dowolnym palcu kobiecej lub męskiej ręki. Zawierają one etykietę, na której umieszczone są dane osoby objęte kontrolą dozymetryczną (numer pierścionka i jego kod kreskowy, nazwisko i imię osoby badanej, kod zakładu, w którym pracuje, PESEL, okres ekspozycji). Wewnątrz pierścionka umieszczono 2 detektory termoluminescencyjne typu MTS-N (prod. TLD Poland, Kraków) w postaci spiekanych pastylek, wykonanych z fluorku litu z domieszkami magnezu i tytanu (LiF: Mg, Ti). Pochłaniają one promieniowanie jonizujące, które w procesie laboratoryjnego odczytu jest wypromieniowane w postaci światła. Do zalet metody termoluminescencyjnej należą m.in. szeroki zakres dawek (od 30 μ Sv do kilku Sv), możliwość wielokrotnego użycia detektorów, szybkość odczytu, dokładność na poziomie kilku procent, zakres energii fotonów wynoszący 15 keV – 3,0 MeV oraz przede wszystkim dobra tkankopodobność detektora.

Zgodnie z przedstawionym planem porównań międzylaboratoryjnych organizowanych przez grupę roboczą WG2 w imieniu EURADOS Pracownia Oceny Narażenia Zawodowego Zakładu Ochrony Radiologicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi rozpoczęła przygotowania do uczestnictwa w porównaniach.

W pierwszej kolejności podjęto decyzję o wdrażaniu do metody badawczej czytnika TL (prod. Fimel, Francja), wykorzystywanego również do odczytu detektorów naekspozowanych przez organizatora porównań. W związku z powyższym konieczna była, zgodnie z przyjętym systemem zarządzania, ponowna walidacja metody, poprzez poznanie odpowiedzi wdrażane-

go czytnika detektorów TL w zależności od warunków (energia, dawka, kąt), na jakie były ekspozowane dozymetry pierścionkowe.

Uwzględniając parametry techniczne detektorów termoluminescencyjnych stosowanych w dozymetrii pierścionkowej prowadzonej przez PONZ, przystąpiono do przeprowadzenia odpowiednich kalibracji i wyznaczenia charakterystyk energetycznych, dawkowych i kątowych dozymetrów w następujących zakresach:

- energia promieniowania X i γ : 30–662 keV,
- dawka: 0,5 mSv – 1 Sv,
- kąt padania: $\pm 60^\circ$.

Przygotowano 240 detektorów TL typu MTS-N, które napromieniono dawką o wartości 500 μ Gy w polu promieniowania rtg. o energii 83 keV. Odrzucono detektory niespełniające kryterium mówiącego, że odczyt wartości impulsów z detektora powinien się mieścić w zakresie:

$$(N_{sr} - 2s; N_{sr} + 2s) \quad [1]$$

gdzie:

N_{sr} – średnia wartość impulsów obliczona dla całej partii detektorów,

s – odchylenie standardowe z badanej partii.

Przed każdą ekspozycją detektory poddawano procesowi anilacji (wygrzanie detektorów TL według zalecanej przez producenta procedury w celu wyczyszczenia zawartej informacji). Anilację przeprowadzano w piecu TLD-Oven (prod. PTW Freiburg, Niemcy) w temperaturze 400°C przez 4 godziny.

Wszystkie ekspozycje wzorcowe dozymetrów pierścionkowych wykonano w Laboratorium Wzorców Wtórnych Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi na stanowiskach kalibracyjnych rentgenowskich oraz γ . Zgodnie z zaleceniami normy PN-ISO 4037-3 (4) ekspozycje wykonywane dla potrzeb charakterystyk były przeprowadzane z zastosowaniem fantomu prętowego ISO (walec z PMMA o średnicy 19 mm i długości 300 mm). Dozymetry pierścionkowe mocowane były na fantomie w taki sam sposób jak w czasie normalnego użytkowania, czyli część dozymetru zawierająca detektory TL skierowana była w stronę źródła promieniowania.

Poprawnie przeprowadzona walidacja i zweryfikowane wyniki kalibracji dały podstawę do zatwierdzenia stosowanej metody badawczej, czyli potwierdzono gotowość uczestniczenia w porównaniach międzylaboratoryjnych.

Z partii wyselekcjonowanych detektorów termoluminescencyjnych wybrano 56 sztuk i przygotowano 28 dozymetrów pierścinkowych, oznaczono je zgodnie z zaleceniami organizatora porównań i przesłano do EURADOS. Po odesłaniu napromienionych dozymetrów w PONZ oszacowano dawkę $H_p(0,07)$, a następnie uzyskane wyniki wraz z podaną wartością niepewności odesłano do organizatora porównań. Na zakończenie do uczestników przesłano certyfikat uczestnictwa w porównaniach, w którym przedstawiono warunki wykonanych ekspozycji (energia, dawka, kąt) i wyniki oszacowań podane przez uczestników.

Pracownia Oceny Narażenia Zawodowego Zakładu Ochrony Radiologicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi do przeprowadzenia oceny wyników z porównań międzylaboratoryjnych zastosowała zalecenie PN-EN ISO/IEC (2), według którego do oceny przyjęto liczbę E_n , obliczoną według wzoru:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad [2]$$

gdzie:

x – wynik pomiaru uzyskany przez uczestnika porównań,
 X – wartość przypisana (wartość poprawna), czyli wynik pomiaru ustalony przez organizatora ILC, z którym porównywany jest wynik uczestnika ILC,

U_{lab} – niepewność rozszerzona wyniku pomiaru uczestnika,

U_{ref} – niepewność rozszerzona wartości przypisanej.

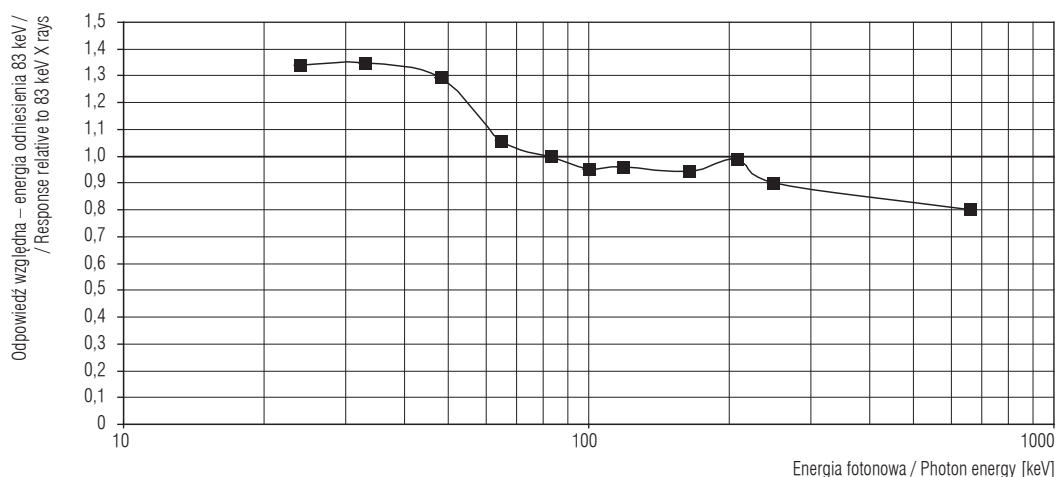
Zgodnie z zaleceniem do oceny wyników porównań wynik zadowalający ma miejsce, jeśli $|E_n| \leq 1$, a niezadowalający, jeśli $|E_n| > 1$.

WYNIKI I OMÓWIENIE

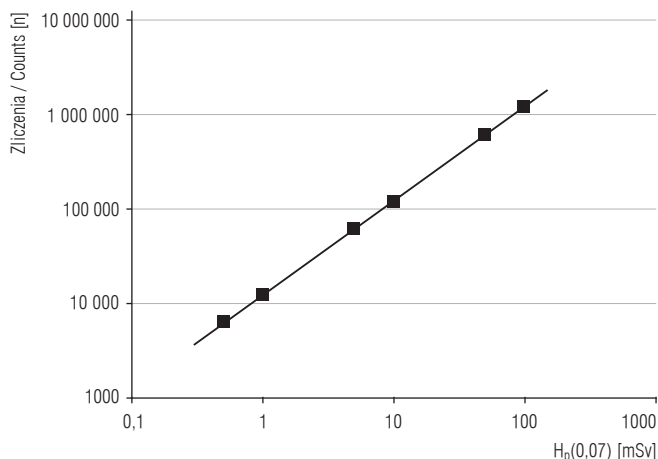
W pomiarach rutynowych dla klienta uzyskana wartość indywidualnego równoważnika dawki $H_p(0,07)$ obciążona jest błędem, który wynika przede wszystkim z nieznaności energii padającego promieniowania. Ponadto budowa pierścinka dozymetrycznego nie pozwala zweryfikować kąta, pod jakim pada na niego promieniowanie, dlatego podczas szacowania dawki należy uwzględnić błąd wynikający ze zmian geometrii promieniowania.

W związku z powyższym w pierwszej kolejności procedury walidacyjnej wyznaczono charakterystykę energetyczną (ryc. 1), przyjmując za energię odniesienia 83 keV, dla której w następnym etapie badań wykonano kalibrację dawkową dozymetrów pierścinkowych dla 6 dawek o wartościach 500 μ Sv, 1 mSv, 5 mSv, 10 mSv, 50 mSv oraz 100 mSv (ryc. 2).

W celu oszacowania błędu wynikającego ze zmian geometrii promieniowania przeprowadzono ekspozycje dozymetrów pierścinkowych dla 4 energii promieniowania fotonowego – 24 keV, 83 keV, 208 keV i 662 keV – i kierunku odniesienia, ustawionym równoległe do kierunku padania promieniowania. Następnie fantom prętowy obrócono o 60° wokół jego osi prostopadłej do kierunku padania i przeprowadzono ekspozycje z zachowaniem parametrów promieniowania. Wartości impulsów odczytane dla kąta promieniowania wynoszącego 60° odniesiono do impulsów przy zerowym kącie padania promieniowania. Obliczono w ten sposób współczynnik korekty kątowej.



Ryc. 1. Znormalizowana odpowiedź energetyczna dozymetru pierścinkowego z detektorami TL typu LiF: Mg, Ti
 Fig. 1. Standard photon energy response of ring dosimeter with TL detectors of type LiF: Mg, Ti



Ryc. 2. Odpowiedź dawkowa dozymetru pierścienkowego z detektorami TL typu LiF: Mg, Ti

Fig. 2. Dose response of ring dosimeter with TL detectors of type LiF: Mg, Ti

Analizując uzyskane wyniki i dane producenta zaobserwowano, że dozymetry pierścienkowe z detektorami termoluminescencyjnymi typu MTS-N charakteryzują się bardzo dobrą liniowością w zakresie pomiaru indywidualnego równoważnika dawki od 0,5 mSv do 100 mSv. Kwadrat współczynnika korelacji (R^2) wynosi 1.

Na podstawie zależności liczby impulsów od dawki padającego promieniowania obliczono współczynnik kalibracji: $k_D = (8,1 \pm 0,1) \times 10^{-5}$ mSv. W celu obliczenia indywidualnego równoważnika dawki $H_p(0,07)$ współczynnik k_D należy pomnożyć przez liczbę impulsów odczytanych z detektora TL. Z kolei niepewność rozszerzoną $U(H_p(0,07))$ oszacowuje się na podstawie niepewności współczynnika kalibracji, niepewności wynikającej z braku informacji na temat energii stosowanego promieniowania fotonowego oraz niepewności wynikającej ze zmian geometrii promieniowania. Podane wartości niepewności rozszerzonej stanowią niepewność przy poziomie ufności ok. 95% i współczynnika rozszerzenia (k) równym 2.

W celu sprawdzenia i potwierdzenia poprawności opracowanych charakterystyk dozymetrów pierścienkowych oraz potwierdzenia poprawnie wykonanej walidacji metody przeprowadzono w PONZ próbną ocenę dawki $H_p(0,07)$, ekspozując przygotowane 3 partie dozymetrów pierścienkowych na dawki o nieznannej (dla osoby odpowiedzialnej za opracowanie danych) wartości, energii i geometrii. Obliczone wartości $H_p(0,07)$ i jej niepewności rozszerzonej poddano weryfikacji zgodnie ze wzorem 2. Uzyskano zadowalający wynik wewnętrznego testu oceny wielkości $H_p(0,07)$ (tab. 1).

Tabela 1. Test oceny indywidualnego równoważnika dawki $H_p(0,07)$ przeprowadzony w PONZ, na podstawie charakterystyk dozymetru pierścienkowego

Table 1. Evaluation test of the personal dose equivalent $H_p(0,07)$ carried out in PONZ, based on the characteristics of ring dosimeter

Warunki ekspozycji Exposure conditions		$H_p(0,07)_R \pm U_R$ [mSv]	$H_p(0,07)_C \pm U_C$ [mSv]	$ E_n $
energia energy [keV]	kąt angle [°]			
83	0	5,00±0,13	4,72±1,42	0,20
			4,54±1,36	0,34
			4,63±1,39	0,27
83	30	5,00±0,13	4,69±1,41	0,22
			4,73±1,42	0,19
			5,05±1,51	0,03
83	60	5,00±0,13	4,54±1,36	0,34
			4,47±1,34	0,39
			4,91±1,47	0,06

PONZ – Pracownia Oceny Narażenia Zawodowego Zakładu Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi / Occupational Exposure Assessment Unit, Department of Radiation Protection, Nofer Institute of Occupational Medicine.

$$|E_n| = \left| \frac{H_p(0,07)_C - H_p(0,07)_R}{\sqrt{U_C^2 + U_R^2}} \right|$$

gdzie / where:

$H_p(0,07)_C$ – wartość obliczona / calculated value; U_R – niepewność dawki referencyjnej / uncertainty of reference dose; $H_p(0,07)_R$ – dawka referencyjna / reference dose.

U_C – niepewność wartości obliczonej / uncertainty of calculated value.

W 2009 r. PONZ uczestniczyła w porównaniach międzylaboratoryjnych organizowanych przez grupę EURADOS w zakresie pomiaru dawki na kończy-ny ($H_p(0,07)$). Przedmiotem porównań były dawkomie-ryze pierścienkowe stosowane rutynowo przez pracow-ników narażonych na promieniowanie jonizujące.

W Seibersdorf Labor GmbH – Dosimetry (Austria) dokonano ekspozycji dozymetrów termoluminescenc-yjnych dawką o wartości znanej tylko organizatorowi porównań, a następnie dozymetry odesłano do uczest-ników. W PONZ przeprowadzono odczyt dawek ww. ekspozycji, a wyniki odesłano do EURADOS.

Wyniki porównań zostały zaprezentowane w trakcie sesji dla wszystkich uczestników pomiarów na konfe-rencji „European Conference on Individual Monitoring of Ionizing Radiation”, zorganizowanej przez EURA-DOS w Atenach w marcu 2010 r. W Pracowni Oceny Narażenia Zawodowego Zakładu Ochrony Radiolo-gicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi, na podstawie ich oceny zgodnej z kryteriami podanymi w PN-EN ISO/IEC (2) (tab. 2), stwierdzo-no zadowalający wynik porównań międzylaborato-ryjnych.

Tabela 2. Ocena wyników porównania międzylaboratoryjnego, organizowanego przez EURADOS w 2009 r., w zakresie pomiaru indywidualnego równoważnika dawki $H_p(0,07)$ z zastosowaniem dozymetru pierścienkowego
Table 2. Evaluation of the results of the EURADOS intercomparison organized in 2009 in terms of the personal dose equivalent $H_p(0,07)$ with use of ring dosimetry

Numer dozymetru uczestnika porównań* Dosimeter id of the intercomparison participant*	$H_p(0,07)_A \pm U_A$ [mSv]	$H_p(0,07)_{PONZ} \pm U_{PONZ}$ [mSv]	$ E_n $
NIOM-04	40,00±0,239	43,0±12,6	0,239
NIOM-17	40,00±0,407	45,4±13,3	0,407
NIOM-23	4,98±0,273	5,4±1,6	0,273
NIOM-09	4,98±0,196	5,3±1,5	0,196
NIOM-08	50,10±0,385	56,5±16,4	0,385
NIOM-02	50,10±0,352	55,9±16,3	0,352
NIOM-24	50,10±0,235	53,8±15,7	0,235
NIOM-01	50,10±0,138	52,2±15,2	0,138
NIOM-11	50,10±0,069	49,1±14,3	0,069
NIOM-05	50,10±0,123	52,0±15,2	0,123
NIOM-06	400,00±0,294	438,0±127,0	0,294
NIOM-14	400,00±0,230	429,0±125,0	0,230
NIOM-20	25,00±0,540	21,5±6,3	0,540
NIOM-25	25,00±0,422	22,2±6,5	0,422
NIOM-16	30,00±0,664	25,1±7,3	0,664
NIOM-13	30,00±0,717	24,7±7,2	0,717

* Kolejność zgodna z raportem organizatora / The order according to the organiser's report.

$$|E_n| = \left| \frac{H_p(0,07)_{PONZ} - H_p(0,07)_A}{\sqrt{U_{PONZ}^2 + U_A^2}} \right|$$

gdzie / where:

$H_p(0,07)_A$ – wartość przypisana / assigned value.

U_A – niepewność wartości przypisanej / uncertainty of assigned value.

$H_p(0,07)_{PONZ}$ – wartość uzyskana przez PONZ / value obtained by PONZ.

U_A – niepewność wartości uzyskanej przez PONZ / uncertainty of value obtained by PONZ.

Inne objaśnienia jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

WNIOSKI

Uczestnictwo Pracowni Oceny Narażenia Zawodowego Zakładu Ochrony Radiologicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi w porównaniach międzylaboratoryjnych organizowanych przez EURADOS okazało się skutecznym zewnętrznym sposobem potwierdzenia przydatności stosowanej w Pracowni metody do oceny narażenia pracowników na promieniowanie jonizujące. Potwierdziło też stosowanie właściwych procedur walidacyjnych metody badawczej.

Wdrożenie do rutynowych prac związanych z oceną narażenia pracowników na promieniowanie X i γ nowego czytnika termoluminescencyjnego pozwoliło na zwiększenie liczby wykonywanych pomiarów, a tym samym usprawniło współpracę z klientem. Pozytywny wynik udziału Pracowni Oceny Narażenia Zawodowego Zakładu Ochrony Radiologicznej Instytutu Medycyny Pracy im. prof. Nofera w Łodzi w porównaniach międzylaboratoryjnych pozwolił Polskiemu Centrum Akredytacji na utrzymanie (decyzja o nim podejmowa-

na jest w trakcie corocznej oceny przez PCA), a następnie przedłużenie akredytacji na następny cykl (następuje ono po 4 latach).

PIŚMIENNICTWO

1. ISO/IEC 17025:2005. Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005
2. PN-EN ISO/IEC 17043:2011. Ocena zgodności – Ogólne wymagania dotyczące badania biegłości (ISO/IEC 17043:2010). Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2011
3. Polskie Centrum Akredytacji: Polityka dotycząca uczestnictwa w badaniach biegłości. DA-05. PCA, Warszawa 2011
4. PN-ISO 4037-3:2004. Wzorcowe promieniowanie rentgenowskie i gamma do kalibracji dawkomierzy i mierników mocy dawki oraz do określania ich charakterystyk energetycznych. Część 3: Wzorcowanie dawkomierzy otoczenia i dawkomierzy indywidualnych oraz określania ich charakterystyk energetycznych i kierunkowych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2004