



Kalibracja detektorów termoluminescencyjnych UD-802 firmy Panasonic w polu promieniowania rentgenowskiego

Calibration of Panasonic UD-802 thermoluminescent detectors in the X-ray field

Agata Grygier, Krystian Skubacz

Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, Główny Instytut Górnictwa, pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, tel. +48 32 259 28 02, e-mail: agrygier@gig.eu

Wprowadzenie

Dobrze poznane właściwości materiałów termoluminescencyjnych pozwoliły na ich zastosowanie w wielu dziedzinach, w tym w dozymetrii promieniowania jonizującego. Detektory termoluminescencyjne są od wielu lat wykorzystywane do wyznaczania dawek, jakie otrzymują od promieniowania osoby pracujące w pobliżu instalacji generujących promieniowanie, sztucznych źródeł lub materiałów o podwyższonym stężeniu naturalnych radionuklidów [1-4]. Dozymetry mogą służyć do oceny dawki zarówno dla całego organizmu, jak i dla niektórych narządów ludzkich, takich jak oczy czy kończyny. Ponadto pełnią ważną rolę w kontrolowaniu dawek, jakie pacjent otrzymuje podczas badań

diagnostycznych czy w radioterapii, aby zapewnić jakość leczenia i zweryfikować, czy dawka otrzymana w leczonej objętości jest zgodna z planowaną [5, 6]. Mimo wielu zalet, jakie niewątpliwie posiada opisywana metoda (np. szeroki zakres pomiarowy, niewielkie rozmiary detektorów), konieczne jest kalibrowanie detektorów TL do rzeczywistych warunków ekspozycji, czyli w polu promieniowania z odpowiednią energią i przy użyciu odpowiednich fantomów, aby można było z nich korzystać. Najczęściej w procedurze kalibracji wykorzystuje się źródła: Cs-137, Co-60, Sr-90 / Y-90 [7-9]. Kalibracje wykonywane są również przy użyciu promieni rentgenowskich [10-12] czy Kr-85. Artykuł przedstawia opis procesu kalibracji detektorów TL z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego o różnych energiach oraz wyznaczone

238

Streszczenie

Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, działające w strukturach Głównego Instytutu Górnictwa, od lat zajmuje się ochroną radiologiczną oraz radioekologią. Ochrona radiologiczna jest bardzo szerokim tematem obejmującym między innymi monitorowanie dawek w środowisku pracy. W celu oceny dawek, jakie otrzymują osoby pracujące w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące, powszechnie stosuje się metodę detektorów termoluminescencyjnych. Metoda ta jest akceptowana w większości krajów. Cały proces oceny dawki za pomocą takich dozymetrów można podzielić na kilka etapów. Niewątpliwie jednym z najważniejszych jest etap kalibracji. W artykule przedstawiono wyniki napromieniowania dozymetrów Panasonic UD-802 w polach promieniowania rentgenowskiego o różnych energiach oraz pod różnymi kątami (0°, 30°, 60°). Na podstawie wyników otrzymanych podczas naświetlań wyznaczono współczynniki kalibracji.

Słowa kluczowe: dozymetria termoluminescencyjna, UD-802, kalibracja, promieniowanie rentgenowskie, zależność kątowa

Abstract

The Silesian Center of Environmental Radiometry, operating within the structures of the Central Mining Institute, has been dealing with radiological protection and radioecology for many years. Radiation protection is a very broad topic, including, inter alia, the monitoring of doses in the work environment. In order to assess the doses received by people working in conditions of exposure to ionizing radiation, the method of thermoluminescent detectors is commonly used. This method is accepted in most countries. The entire process of dose evaluation with such dosimeters can be divided into several steps. Undoubtedly, one of the most important is the calibration step. The article presents the irradiation results of Panasonic UD-802 dosimeters in X-ray fields of different energies and at different angles (0°, 30°, 60°). Based on the results obtained during the irradiation, the calibration coefficients were determined.

Key words: thermoluminescence dosimetry, UD-802, calibration, photons, X-ray, angular dependence

otrzymano / received:

18.05.2021

poprawiono / corrected:

23.06.2021

zaakceptowano / accepted:

30.06.2021



współczynnikami kalibracji. Celem opisywanej pracy było usprawnienie procesu kalibracji i szacowania dawek oraz zmniejszenie niepewności wyznaczanych dawek w sytuacjach, gdy dozymetry są narażone na inne pole promieniowania niż podczas kalibracji w laboratorium. Często laboratoria wykonujące pomiary posiadają co najwyżej źródło promieniowania Cs-137 i dawki są oceniane na podstawie wykonanej przy jego pomocy kalibracji. Ponadto przedstawiono odpowiedź kątową dozymetrów dla kątów 0°, 30° i 60° w wymienionych polach promieniowania. Wykorzystanie opracowanych współczynników jest możliwe tylko wtedy, gdy rzeczywiste warunki narażenia są dobrze znane.

Materiały i metody

Pomiary przeprowadzono w Śląskim Centrum Radiometrii Środowiska Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach. Kalibracje wykonano w referencyjnych polach promieniowania określonych w normach Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej [13]. W tabeli 1 zawarto szczegółowe informacje dotyczące pól promieniowania zastosowanych podczas kalibracji. Wykorzystana instalacja to lampa rentgenowska XCS-320-ST / X-RAY CAL firmy TEMA Sinergie.

Tabela 1. Charakterystyka użytych wiązek promieniowania jonizującego

Źródło promieniowania	Średnia energia	Napięcie zasilające	Filtracja
	[keV]	[kV]	[mm]
seria N-40	33	40	4.00 Al + 0.21 Cu
seria N-100	83	100	4.00 Al + 5.00 Cu
seria N-200	164	200	4.00 Al + 2.00 Cu + 3.00 Sn + 1.00 Pb
seria N-300	250	300	4.00 Al + 3.00 Sn + 5.00 Pb

Źródło: Dane podane przez producenta w instrukcji obsługi urządzenia.

Autorzy do przeprowadzenia pomiarów zastosowali dozymetry Panasonic UD-802, które składają się z 4 detektorów TL, 2 detektory wykonane są z luminoforu $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$; Cu z naturalną zawartością litu i boru, a pozostałe 2 to luminofor CaSO_4 ; Tm. Wszystkie detektory zakryte są filtrami o różnej gęstości powierzchniowej (element E1: 17 mg/cm² plastiku, E2: 320 mg/cm² plastiku, E3: 320 mg/cm² plastiku i E4: 160 mg/cm² plastiku + 700 mg/cm² ołowiu), a cały dozymetr umieszczony jest w uchwycie UD-874ATM. Do odczytu dozymetrów wykorzystano automatyczny czytnik Panasonic UD-7900M.

Kolejnym krokiem było określenie dawek referencyjnych dla wszystkich zastosowanych energii promieniowania rentgenowskiego. Referencyjne dawki określono za pomocą sferycznej komory jonizacyjnej TK-30 (PTW, Niemcy), o objętości 28 cm³, podłączonej z Elektrometrem Unidos Weblin (PTW, Niemcy). Napięcie zasilające komorę wynosiło 400V. Dawki referencyjne wyznaczone w odległości L = 130 cm od ogniska lampy. Komora została skalibrowana w akredytowanym laboratorium. Otrzymane wyniki skorygowano o aktualne warunki środowiskowe (temperatura i ciśnienie).

Naświetlono 10 dozymetrów UD-802 firmy Panasonic, pod różnymi kątami względem osi wiązki promieniowania, z wykorzystaniem źródeł wymienionych w tabeli 1. W celu odzwierciedlenia warunków, jakie panują podczas rutynowego użytkowania, dozymetry na czas ekspozycji były umieszczane w uchwycie UD-874ATM na fantomie z płyty PMMA o wymiarach 30 × 30 × 15 cm [7]. Każdy dozymetr napromieniowano oddzielnie i umieszczono na środku fantomu, prostopadle do osi wiązki, tak aby wszystkie dozymetry były naświetlane w jednakowych warunkach. Dozymetry naświetlano pod kątami: 0°, 30°, 60° i odczytano 48 godzin po zakończeniu ekspozycji. Odczyt został wykonano w automatycznym czytniku Panasonic UD-7900M.

Dla wszystkich detektorów wyznaczono współczynnik kalibracji zgodnie z równaniem:

$$k = \frac{H(d)}{M} \left[\frac{mSv}{cnt} \right]$$

gdzie:

H (d) – równoważniki dawki na głębokości d,

M – odczyt dozymetru po ekspozycji [7].

Wartość M skorygowano o bieg własny dozymetrów, współczynnik ECF (element *correction factor*) oraz współczynnik korygujący różnicę między bieżącym odczytem źródła C-14 a wartością odniesienia.

Wyniki

W tabeli 2 umieszczono informacje o dawkach referencyjnych oraz obliczonych współczynnikach kalibracji, wraz z rozszerzoną niepewnością pomiaru (przy współczynniku pokrycia k = 2), dla wszystkich detektorów umieszczonych w dozymetrze UD-802. Różnice między współczynnikami kalibracji są spowodowane różnymi luminoforami i filtrami. Elementy E1 i E2 charakteryzują się największą czułością dla wiązki promieniowania rentgenowskiego o energii 33 keV, a najmniejszą dla energii 83 keV. Odwrotną korelację zauważamy dla elementu E3, który jest najbardziej czuły na energię 83 keV, a najmniej na 33 keV. Element E4, mimo tego, że wykonany z tego samego luminoforu co E3, zachowuje się inaczej, ponieważ osłonięty jest nie tylko plastikiem (jak E3), ale także ołowiem. Charakteryzuje się największą czułością na promieniowanie o niskich energiach. Przedstawione wyniki są średnią wartością współczynnika kalibracji z 10 dozymetrów, odpowiedzi wszystkich 10 dozymetrów były podobne (w ramach tego samego typu detektora), procentowe odchylenie standardowe wynosiło poniżej 10%.

W tabeli 3 przedstawiono współczynniki korekcyjne, które można wykorzystać do skorygowania obliczeń dawki w przypadku, gdyby dozymetry były naświetlane pod innym kątem niż podczas kalibracji pod kątem 0°, ale przy porównywalnej energii promieniowania. Tabela zawiera współczynniki korekcyjne dla 30° i 60°. Z wycień wynika, że odpowiedź detektorów na promieniowanie rentgenowskie maleje wraz ze wzrostem kąta padania.



Tabela 2. Współczynniki kalibracyjne dozymetrów obliczone dla napromieniowania pod kątem 0° na fantomie płytowym

Źródło promieniowania	Równoważnik dawki [mSv]	DCF [Sv/Gy]	Współczynnik kalibracji $\times 10^{-3}$ [mSv/cnt]			
			E1	E2	E3	E4
seria N-40	Hp(10) 2.34 ± 0.04	1.17	2.031 ± 0.186	1.734 ± 0.164	0.656 ± 0.063	0.034 ± 0.003
seria N-100	Hp(10) 3.76 ± 0.06	1.88	3.183 ± 0.283	2.561 ± 0.238	0.015 ± 0.001	0.048 ± 0.004
seria N-200	Hp(10) 3.14 ± 0.05	1.57	2.522 ± 0.233	2.155 ± 0.202	0.034 ± 0.003	0.062 ± 0.006
seria N-300	Hp(10) 2.84 ± 0.04	1.42	2.160 ± 0.201	1.965 ± 0.186	0.042 ± 0.004	0.056 ± 0.005

Źródło: Obliczenia własne autorów, współczynniki DCF zgodnie z Normą PN-ISO 4037-3.

Tabela 3. Współczynniki korekcyj w odniesieniu do kąta padania 0°


Energia	Kąt	Współczynnik korekcyj			
		E1	E2	E3	E4
Seria N-40, 33 keV	0°	1.00	1.00	1.00	1.00
	30°	0.69 ± 0.10	0.72 ± 0.11	0.74 ± 0.11	0.62 ± 0.09
	60°	0.84 ± 0.11	0.80 ± 0.11	0.01 ± 0.001	0.53 ± 0.07
Seria N-100, 83 keV	0°	1.00	1.00	1.00	1.00
	30°	0.85 ± 0.10	0.90 ± 0.12	0.89 ± 0.12	0.89 ± 0.11
	60°	0.80 ± 0.10	0.82 ± 0.11	0.90 ± 0.12	0.76 ± 0.10
Seria N-200, 164 keV	0°	1.00	1.00	1.00	1.00
	30°	0.99 ± 0.13	1.00 ± 0.13	1.04 ± 0.14	0.96 ± 0.12
	60°	1.00 ± 0.13	0.94 ± 0.12	1.07 ± 0.14	1.10 ± 0.14
Seria N-300, 250 keV	0°	1.00	1.00	1.00	1.00
	30°	1.04 ± 0.14	0.97 ± 0.13	1.01 ± 0.14	1.09 ± 0.14
	60°	0.97 ± 0.13	0.90 ± 0.12	1.02 ± 0.14	0.15

Źródło: Obliczenia własne autorów.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na poszerzenie wiedzy na temat dozymetrów Panasonic UD-802. Ich reakcję na promieniowanie scharakteryzowano w zależności od energii promieniowania i kąta padania. Zdaniem autorów dozymetry są odpowiednie do przeprowadzania kontroli dozymetrycznej. Dozymetry UD-802 zostały również przetestowane przez innych badaczy [14], którzy uzyskali zadowalające wyniki stosowania detektorów w dozymetrii indywidualnej i środowiskowej. Podobnie Takenaga i wsp. [15] wskazują na doskonałe właściwości dozymetryczne $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ takie jak: dobra liniowość, niska zależność energetyczna i niewielki zanik sygnału.

Analizy pokazują, że współczynnik kalibracji zależy od energii promieniowania. Procentowe odchylenie standardowe współczynnika kalibracji w zakresie energii od 33 do 250 keV sięga nawet 45% (E4), dlatego uzasadnione jest kalibrowanie dozymetrów w wiązkach o różnych energiach. Jeśli użytkownik nie jest w stanie skalibrować dozymetrów w polach o różnych energiach, konieczne jest uwzględnienie współczynnika korygującego dla różnych energii promieniowania w celu prawidłowego oszacowania dawki. Współczynnik kalibracji zależy również od kąta padania promieniowania. Przy wyższych energiach (250 keV) odpowiedź kątowa dozymetrów utrzymuje się na podobnym poziomie dla wszystkich elementów dawkomierza, jednak przy bardzo niskich energiach dozymetry wykazują dużą zmienność czułości kątowej. W takim przypadku również zaleca się zastosowanie współczynnika korygującego.

Uzyskane wyniki wskazują, że może zaistnieć konieczność skorygowania różnic między rzeczywistymi warunkami ekspozycji a warunkami laboratoryjnymi podczas wzorcowania. Należy jednak zachować ostrożność podczas dokonywania korekty. Jak pokazują badania przeprowadzone dla małych energii promieniowania jonizującego i dla dużych kątów, może wystąpić duża zależność energetyczna i kierunkowa – dlatego chcąc wprowadzić korektę, musimy mieć pewność co do rzeczywistych warunków, w jakich dozymetr był ekspozycyj, a ich określenie jest niezwykle trudne. 

Podziękowanie

Praca ta była wspierana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górniczego, umowa nr 11131030-370 w okresie 01.01.2020-31.12.2020.

Piśmiennictwo

1. B. Mukherjee, C. Woda, V. Mares: *A TLD-Microdosimeter for aerospace usage: Results relevant to airline pilots undertook long-haul intercontinental flights during March-May 2017*, Acta Astronautica, 166, 2020, 444-449.
2. S. Chałupnik, K. Skubacz: *A method for the simultaneous measurement of radon and thoron PAEC concentrations in air using a TLD monitor*, Journal of Radiological Protection, 40(4), 2020, 1236-1246.



3. M. Zhou, L. Hu, L. Huang, G. Zhong, K. Li, B. Hong, M. Xiao, R. Zhang: *Measurement of the radiation dose distribution in EAST hall based on thermoluminescence dosimeter*, Fusion Engineering and Design, 160, 2020, 111977.
4. G.C. Soares: *National and international standards and calibration of thermoluminescence dosimetry systems*, Radiation Protection Dosimetry, 101(1-4), 2002, 167-171.

reklama

KOSS

Aparaty RTG analogowe cyfrowe

TELERRADIOLOGIA
już od 9,00 zł za badanie

Radiografia cyfrowa DR

RENTGEN-SERWIS
Zygmunt Koss Rafał Koss
ul. Kasjopei 8 • 80-299 Gdańsk
tel. 603 270 482
e-mail: rentgenserwis@gmail.com
www.koss.net.pl

5. T. Kron: *Applications of thermoluminescence dosimetry in medicine*, Radiation Protection Dosimetry, 85(1-4), 1999, 333-340.
6. F. Krause, M. Möller, F. Risske, F. Siebert: *Dosimetry of ruthenium-106 ophthalmic applicators with thin layer thermoluminescence dosimeters – Clinical quality control*, Zeitschrift für Medizinische Physik, 30(2), 2020, 142-147.
7. International Commission on Radiation Units and Measurements: *Measurement of dose equivalents from external photon and electron radiations*, ICRU Report 47, 1992.
8. M. Wrzesień: *Calibration of the LiF-thermoluminescent detectors used for personal dose equivalent Hp(3) assessment*, Zeitschrift für Medizinische Physik, 30(3), 2020, 222-226.
9. A. Szumska, M. Budzanowski, R. Kopeć, P. Olko, K. Ciupek: *The β -ray energy and angular response of the EYE-D eye-lens dosimeter*, Radiation Measurements, 56, 2013, 374-379.
10. M. Wrzesień: *Calibration of thermoluminescent detectors in Hp(0.07) units by using an X-ray tube and Cs-137 source*, Medycyna Pracy, 70(6), 2019, 669-673.
11. F.L.S. Borges, M.C. Guimarães, T.A. Da Silva, M.S. Nogueira Tra-vares: *Calibration of an eye lens dosimeter in terms of $H_p(3)$ to be used in interventional radiology*, Radiation Physics and Chemistry, 104, 2014, 45-47.
12. J.G. Alves, A.M. Calado, J.V. Cardoso, L.M. Santos: *Energy and angular dependence of the personal dosimeter in use at ITN-DPR-SN*, Radiation Measurements, 43, 2008, 641-645.
13. International Organization for Standardization: *Radiological protection – X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*, ISO 4037-3, 2019.
14. B. Ben-Shachar, G.L. Catchen, M. Hoffman: *Characteristics of the Panasonic UD-802 phosphors*, Radiation Protection Dosimetry, 27(2), 1989, 121-124.
15. M. Takenaga, O. Yamamoto, T. Yamashita: *A new phosphor $Li_2B_4O_7:Cu$ for TLD*, Health Physics, 44(4), 1983, 387-393.