

Renata Kopeć*, Piotr Pawlik**

Analiza obrazów z termoluminescencyjnego czytnika z kamerą CCD dla celów dozymetrii indywidualnej***

1. Wprowadzenie

1.1. Termoluminescencja

Zjawisko termoluminescencji (TL), czyli zjawisko termicznie stymulowanej luminescencji polega na emisji światła z materiału krystalicznego, eksponowanego uprzednio na promieniowanie jonizujące. Zdolność substancji wykazujących właściwości termoluminescencyjne do „zapamiętywania” pochłoniętej dawki promieniowania jonizującego, stanowi podstawę ich zastosowań w dozymetrii [2].

Odczyt dawkomierza termoluminescencyjnego polega na podnoszeniu w kontrolowany sposób temperatury luminoforu, przy równoczesnym mierzeniu natężenia wysyłanego przezeń światła. Pomiar światła w stosowanych tradycyjnie technikach dokonywany jest wyłącznie poprzez fotopowielacze.

1.2. Ekspozycja statyczna i dynamiczna

Dozymetr indywidualny noszony przez pracownika podczas pracy z promieniowaniem jonizującym zmienia swoje położenie względem źródła. Jest to tzw. **ekspozycja dynamiczna**. Natomiast w przypadku, gdy dozymetr został pozostawiony w polu promieniowania jonizującego i zostaje napromieniony w sposób nieruchomy w stosunku do źródła mówimy o **ekspozycji statycznej**.

Dozymetria termoluminescencyjna jest nowoczesną i powszechnie stosowaną metodą pomiaru dawek. W przypadku zastosowania fotopowielaczy nie ma jednak możliwości weryfikacji, w jaki sposób nastąpiła ekspozycja. Skonstruowanie w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN unikalnego czytnika TL z kamerą CCD umożliwiło uzyskanie obrazu z detektora termoluminescencyjnego oraz zainicjowanie badań w tej dziedzinie [1].

* Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

** Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

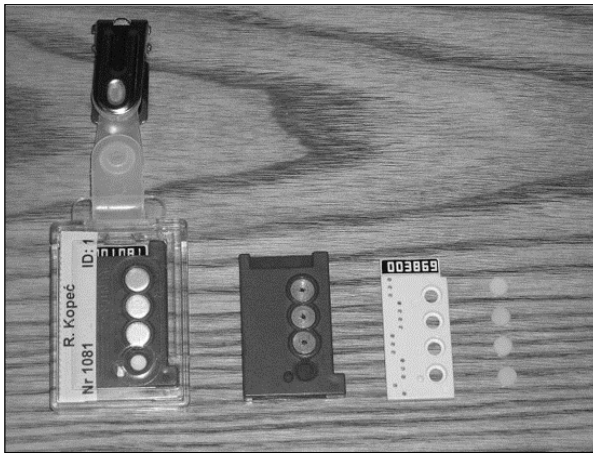
*** Praca jest częścią projektu badawczego finansowanego ze środków na naukę w latach 2007–2008 jako projekt badawczy Nr N404 087 32/3088

2. Materiał i metody

2.1. Dawkomierze termoluminescencyjne

Do celów niniejszej pracy wykorzystano wysokoczułe detektory termoluminescencyjne typu MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) otrzymywane metodą spiekania fluorku litu LiF aktywowanego magnezem Mg, miedzią Cu i fosforem P. Detektory zostały wyprodukowane w IFJ PAN w Samodzielnej Pracowni Ochrony przed Promieniowaniem. Podstawową cechą tych detektorów w stosunku do najpopularniejszych detektorów produkowanych w IFJ MTS-N (LiF:Mg,Ti) jest 30-krotnie większe natężenie światła przy promieniowaniu gamma. W dozymetrii dwuwymiarowej duża całkowita ilość emitowanego światła TL jest wymogiem podstawowym z powodu czułości kamer CCD (*Charge Coupled Device*), która jest znacznie niższa niż czułość fotopowielaczy.

Detektory termoluminescencyjne umieszczono w kasetach dozymetrycznych. Do celów niniejszej pracy stosowano typowe kasetki dozymetryczne typu Rados wyposażone w filtry ołowiane o grubości 1 mm z jednym otworem o średnicy 1 mm (rys. 1).



Rys. 1. Od lewej: Indywidualny dawkomierz termoluminescencyjny typu Rados stosowany podczas pracy z promieniowaniem jonizującym; kasetka dozymetryczna typu Rados, którą wyposażono w filtry ołowiane o grubości 1 mm z otworami o średnicy 1 mm; karty dozymetryczne do kaset; dawkomierze termoluminescencyjne typu MCP-N

Dawkomierze ze zmodyfikowanymi filtrami, w których umieszczono detektory TLD zostały naświetlone w warunkach statycznych i dynamicznych. Ekspozycje prowadzono na aparacie rentgenowskim w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie. Dawkomierze ekspozowano na energię promieniowania X z zakresu 30÷75 kV. Naświetlań dokonano dawką 20 mSv. Jest to roczna dawka graniczna dla osób pracujących w narażeniu na promieniowanie jonizujące. Naświetlenia „statyczne” wykonano, umieszczając dawkomierz w sposób

nieruchomy w stosunku do źródła. Stosowano różne kąty ułożenia dawkomierza w stosunku do źródła (kąty naświetlań z zakresu $0\text{--}60^\circ$). Ekspozycje statyczne miały symulować sytuacje celowego, bądź przypadkowego pozostawienia dawkomierza w polu promieniowania jonizującego. Naświetlania dynamiczne wykonano na specjalnie skonstruowanym do tego celu stanowisku obrotowym.

2.2. Termoluminescencyjny czytnik z kamerą CCD

Rozwiązanie problemu identyfikacji ekspozycji statycznej w przypadku dozymetrów termoluminescencyjnych stało się możliwe, dzięki zastosowaniu do odczytu detektorów czytnika termoluminescencyjnego z kamerą CCD. Nowością tego czytnika jest zastąpienie fotopowielacza poprzez ultraczułą kamerę CCD cechującą się czułością wystarczającą dla efektywnego zapisu słabego sygnału termoluminescencyjnego i wizualizacji źródła – detektora TL. Czytnik z kamerą CCD umożliwia uzyskanie obrazu z detektora termoluminescencyjnego. Odczytów detektorów do niniejszej pracy dokonywano na powstałym w 2005 roku prototypie laboratoryjnym czytnika z kamerą CCD. W czytniku zastosowano 12-bitową kamerę SensiCam firmy PCO o rozdzielczości 640 na 480 pikseli.

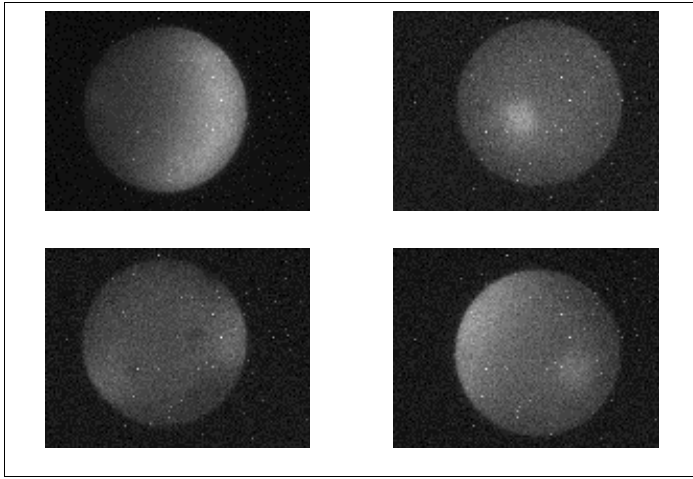
2.3. Przetworzenie i analiza obrazów

Obrazy uzyskane za pomocą termoluminescencyjnego czytnika z kamerą CCD charakteryzowały się stałymi zakłóceniami wynikającymi z uszkodzeń matrycy CCD. Na powstanie takich zakłóceń duży wpływ mają warunki, w jakich pracuje kamera czytnika. Zakłócenia zostały wyeliminowane przez zastosowanie standardowego filtra medianowego o rozmiarze 3×3 .

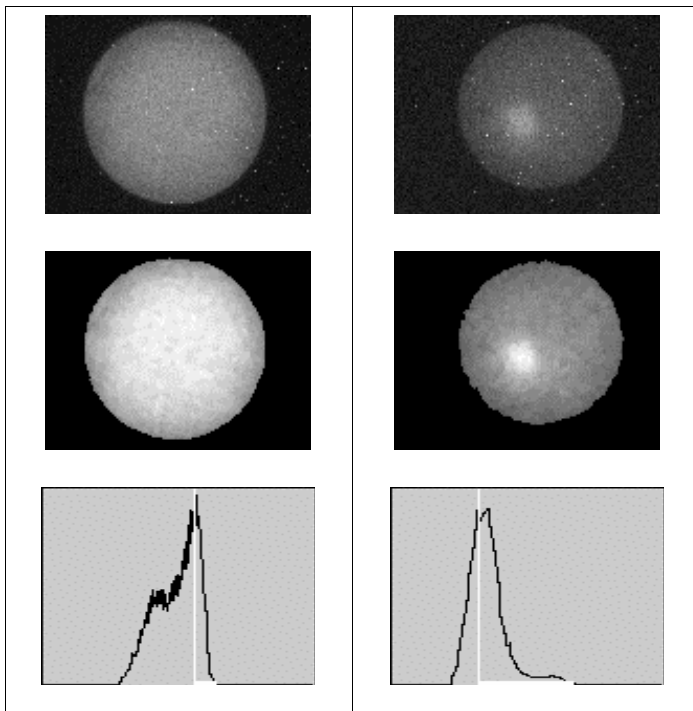
Analiza przefiltrowanego obrazu wykazała, iż obrazy „dynamiczne” wykazują stałą i w miarę równomierną jasność na całym obszarze próbki, natomiast obrazy „statyczne” zawierają różnego rodzaju niejednorodności jasności. Ze względu na dużą różnorodność obrazów statycznych, trudno było wskazać jakąkolwiek prawidłowość (rys. 2). Z tego względu zamiast wykrywać obrazy „statyczne” zdecydowano się stworzyć „wzorzec” obrazu dynamicznego, a za obrazy statyczne uznać wszelkie odchyłki od przyjętego wzorca.

Spośród kilku testowanych metod (m.in. korelacyjnej) zdecydowano się na metodę wykorzystującą histogram obrazu dozymetrycznego. Obraz po filtracji medianowej jest poddawany iteracyjnej binaryzacji zmiennoprogowej klasyczną metodą Ridlera–Calvarda [3] celem wyodrębnienia obszaru próbki i wyzerowania tła. Dla tego obszaru wyliczany jest histogram. W wyniku eksperymentów okazało się, że odległość pomiędzy odciętą maksimum histogramu, a odciętą jego ostatniej niezerowej wartości dla obrazów „dynamicznych” w zasadzie nie przekraczała 20, natomiast dla obrazów „statycznych” była prawie dwukrotnie większa.

Tak duża różnica pozwala na uznanie wyżej opisanej odległości za parametr wystarczający do detekcji obrazów „statycznych”. Rezultaty działania powyższego algorytmu dla przykładowego obrazu „statycznego” i „dynamicznego” przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Przykłady obrazów „statycznych”



Rys. 3. Przykładowe obrazy: wejściowy (górze), po medianie i binaryzacji (środek) oraz histogram (dół) dla obrazu „dynamicznego” (lewa kolumna) i „statycznego” (prawa kolumna). Na histogramach zaznaczono na białe odległości od maksimum do końca histogramu

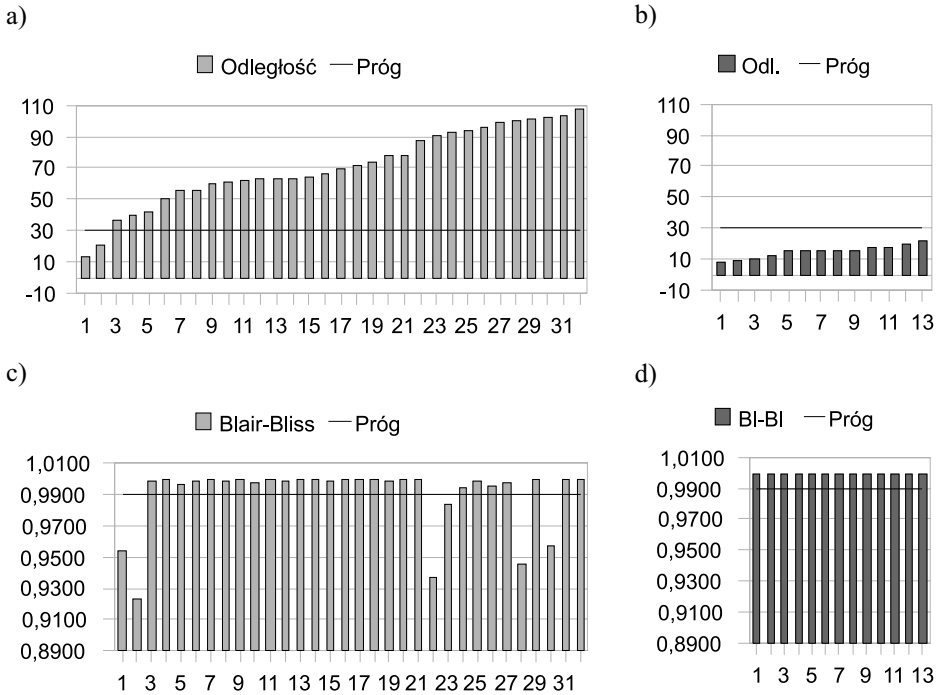
Zróznicowanie obrazów „dynamicznych” okazało się także mieć wpływ na użytą metodę iteracyjnej binaryzacji zmiennoprogowej. W niektórych przypadkach wydzielony przez binaryzację obszar nie obejmował całości próbki. W takim wypadku odległość pomiędzy odciętą maksimum histogramu a odciętą ostatniej niezerowej wartości histogramu malała, zbliżając się do eksperymentalnie wyznaczonej granicy charakterystycznej dla obrazów „statycznych”, a w niektórych wypadkach nawet ją przekraczała. W celu wychwycenia takich sytuacji zastosowano metodę współczynników kształtu [4] dla sprawdzenia kształtu wydzielonego przez binaryzację obszaru. Kolisty obszar próbki sugerował użycie współczynnika cyrkularności, jakim jest współczynnik Malinowskiej. Jednakże ten współczynnik zależy od obwodu obiektu, a w przypadku zbinaryzowanych obrazów dozymetrycznych częstokroć długość obwodu jest zawyżona wskutek „postrzępienia” brzegu analizowanego obszaru. Z tego samego powodu nie można było wykorzystać współczynnika Haralicka. Ponieważ niektóre implementacje innego współczynnika cyrkularności – R_{min}/R_{max} – są czułe na występowanie dziur optycznych, które także mogą wystąpić na zbinaryzowanych obrazach dozymetrycznych, ostatecznie zdecydowano się użyć współczynnika Blaira–Blissa. Teoretyczna wartość tego współczynnika dla koła wynosi jeden. Obrazy, dla których wyliczony współczynnik Blaira–Blissa największego obiektu (w wyniku binaryzacji mogło nastąpić podzielenie obszaru próbki na kilka obiektów) był mniejszy od 0,99, uznano za „niekoliste”, a zatem będące efektem ekspozycji statycznej (przy ekspozycji dynamicznej w efekcie binaryzacji zawsze otrzymuje się „koło”).

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Obrazy statyczne i dynamiczne

Celem przetestowania zaproponowanego w poprzednim punkcie algorytmu wykonano 32 próby naświetleń statycznych i 13 prób naświetleń dynamicznych. Dawkomierze poddane ekspozycji zostały następnie odczytane za pomocą termoluminescencyjnego czytnika z kamerą CCD, przy zastosowaniu ustalonych w tym celu procedur. Pozyskano w ten sposób 32 obrazy z naświetleń statycznych oraz 13 obrazów z naświetleń dynamicznych. Obrazy w zależności od energii promieniowania X różniły się intensywnością świecenia dawkomierza. W przypadku statycznych naświetleń kątowych obserwowano niejednorodności w jasności obrazów wynikające z zastosowania filtra oraz stałego kąta ekspozycji. Algorytm przetestowano na zbiorze wszystkich pozyskanych obrazów.

Jako kryterium detekcji obrazu dynamicznego przyjęto wartość współczynnika Blaira–Blissa nie mniejszą niż 0,99 oraz odległość pomiędzy odciętą maksimum histogramu, a odciętą jego ostatniej niezerowej wartości nie większą niż 30. Rysunek 4 przedstawia wyniki uzyskane dla obrazów „statycznych” i „dynamicznych”. Jak widać, przyjęty próg odległości dobrze separuje oba typy obrazów oprócz pierwszych dwóch przypadków ekspozycji statycznych. Jednakże dla tych przypadków wartość współczynnika Blaira–Blissa jest wyraźnie poniżej przyjętego progu 0,99, co pozwala na poprawne zaklasyfikowanie ich jako „statyczne”.



Rys. 4. Wartości odległości odciętej maksimum histogramu od odciętej jego ostatniej niezerowej wartości dla obrazów: a) „statycznych” i c) „dynamicznych” oraz wartości współczynnika Blaira-Blissa dla tych samych obrazów; b) „statyczne”; d) „dynamiczne”

Tak więc stosując obydwie kryteria wyznaczonych doświadczalnie progów, uzyskano stu procentowo poprawną klasyfikację obrazów „statycznych” i „dynamicznych”.

Należy podkreślić, że przyjęty próg odległości pozwala na pewną klasyfikację, gdyż najwyższa wartość odległości dla obrazu „dynamicznego” wyniosła 22, natomiast najniższa wartość dla obrazu „statycznego” (zawierającego „koło” wg kryterium Blaira-Blissa) wyniosła 37. Z kolei przyjęty próg wartości współczynnika Blaira-Blissa z dużym zapasem dyskryminuje obiekty „niekoliste”. Wartości tego współczynnika dla obrazów uzyskanych w ekspozycji statycznej nie spadła poniżej 0,999.

3.2. Wnioski

Przedstawione w niniejszej pracy algorytmy umożliwiają przekształcenie i analizę obrazu świecenia detektora TL uzyskanego przy zastosowaniu czytnika z kamerą CCD. Przetestowane za pomocą przedstawionej metody obrazy zostały w 100% prawidłowo zakwalifikowane jako statyczne bądź dynamiczne. Wskazuje to na prawidłowy dobór filtra oraz właściwie opracowaną procedurę pomiarową, a w konsekwencji na rozróżnienie ekspozycji statycznej od dynamicznej dla dawkomierza.

Ponieważ przy zastosowaniu filtra z jednym otworem uzyskano 100% zgodność, należy wnosić, iż przy zastosowaniu innego rodzaju filtrów, z większą liczbą otworów bądź szczelin, uzyska się również poprawne wyniki przy analizie odczytów tego typu detektorów. Jest to jednak zbędne ze względu na dużą granicę tolerancji przy zastosowaniu tylko jednego otworu (za próg wg kryterium odległości odciętej maksimum histogramu od odciętej jej ostatniej wartości niezerowej przyjęto wartość 30, natomiast uzyskane minimalne i maksymalne wartości dla odpowiednich typów obrazów wyniosły 22 i 37).

4. Podsumowanie

Rozróżnienie charakteru ekspozycji w dozymetrii indywidualnej jest ważnym zagadnieniem, szczególnie z punktu widzenia zdrowia publicznego. Rozpoznanie charakteru ekspozycji oraz informacja o tym, czy wynik odczytu odpowiada rzeczywistej dawce ma szczególne znaczenie przy podejmowaniu decyzji o stosowaniu procedur medycznych dla osób, u których stwierdzono przekroczenie dawki granicznej przewidzianej w ustawie, tj. 20 mSv/rok.

W niniejszej pracy zaproponowano metodę, która umożliwia rozróżnienie ekspozycji statycznej od dynamicznej dla dawkomierza termoluminescencyjnego, na podstawie analizy obrazu świecenia detektora termoluminescencyjnego. Detektor, umieszczono podczas ekspozycji pod specjalnie do tego celu skonstruowanym filtrem. Zastosowanie tej metody w praktyce byłoby możliwe poprzez zastąpienie jednego ze standardowych aluminiowych filtrów (rys. 1) filtrem ołowianym z 1 mm otworem.

Literatura

- [1] Budzanowski M., Olko P., Kopeć R., Obryk B., Dzikiewicz-Sapiecha H., Siwicki I.R., *Identification of static exposure of standard dosimetric badge with thermoluminescent detectors*. Radiat. Prot. Dosimetry, July 2007, 125, 213–216.
- [2] Niewiadomski T., *Dozymetria termoluminescencyjna w praktyce*. Raport Nr 1550/D, IFJ, Kraków 1991.
- [3] Ridler T.W., Calvard S., *Picture thresholding using an iterative selection method*. IEEE Trans. System, Man and Cybernetics, t. 8, 1978, 630–632.
- [4] Tadeusiewicz R., *Systemy wizyjne robotów przemysłowych*. Warszawa, WNT 1992.