

CLOR - 85/D



Raport CLOR - 85/D

**BADANIE ZASTOSOWAŃ
AWARYJNEGO DAWKOMIERZA
TERMOLUMINESCENCYJNEGO
DO PRAC KONTROLNYCH**

WARSZAWA

CLOR

CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
CENTRAL LABORATORY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION
Warsaw, Poland

Report Nr CLOR-85/D

**BADANIE ZASTOSOWAŃ AWARYJNEGO DAWKOMIERZA
TERMOLUMINESCENCYJNEGO DO PRAC KONTROLNYCH**

**EXAMINATION OF ACCIDENTAL THERMOLUMINESCENT
DOSIMETER IN ROUTINE DOSIMETRIC USES**

**ИСПЫТАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО
АВАРИЙНОГО ДОЗИМЕТРА ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

M.Wolska-Witer
A.Koczyński
T.Musiałowicz
J.Jakubiak

W A R S Z A W A

1971

This report has been reproduced directly from
the best available copy

Распространяет:

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ
ПРИ УПОЛНОМОЧЕННОМ ПРАВИТЕЛЬСТВА ПНР
по Использованию Ядерной Энергии
Дворец Культуры и Науки
Варшава, ПОЛЬША

Available from:

NUCLEAR ENERGY INFORMATION CENTER
of the Polish Government Commissioner for Use
of Nuclear Energy
Palace of Culture and Science
Warsaw, POLAND

Drukuje i rozprowadza:

OSRODEK INFORMACJI O ENERGII JADROWEJ
Pełnomocnika Rządu d/р Wykorzystania Energii Jądrowej
Warszawa, Pałac Kultury i Nauki

Wydaje Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Nakład 600 egz., Objętość ark. wyd. 1,25 , Ark. druk. 1,75 , Data
złożenia maszynopisu przez autora 5. XI 1971 r. , Oddano do druku
8. XI 71 r., Druk ukończono XI 71 , SP-09/250/66, Zam. nr 399/71

Streszczenie

W czasie dwuletnich prób użytkowania sprawdzono przydatność awaryjnego dawkomierza termoluminescencyjnego /ADT/ z $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ w postaci proszku luzem w różnych zastosowaniach kontroli dawek promieniowania X i gamma. Małe dawki oznaczano metodą odczytu z krzywej TL. Mierzono ekspozycje od 10 mR do 1000 R. We wnioskach omówiono błędy pomiarów i możliwości ich zmniejszenia w zastosowaniach ADT w kontroli indywidualnej.

Summary

Thermoluminescent accidental dosimeter /ADT/ with $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ powder for X and gamma radiation has been examined during two years for various dosimetric purposes. Small doses have been determined by the glow curve method. Exposures from 10 mR to 1000 R have been measured. The errors of the measurements and the possibility of their decreasing in the applications of ADT for individual dosimetry purposes have been discussed.

Резюме

В течении двух лет употребления аварийного термолуминесцентного дозиметра "АДТ" с $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ в виде порошка, проведено проверку его исправности при различных применениях для контроля доз излучения X и гамма. Небольшие дозы определено методом чтения показаний на кривой "ТЛ". Измерено экспозиции в диапазоне от 10мр до 1000р. В заключении обсуждено отклонения измерений и возможность их понижения при использовании "АДТ" для индивидуального контроля.

WSTĘP

Awaryjny dawkomierz termoluminescencyjny /ADT/, opracowany i wykonany w CLOR w roku 1969 [1], przeznaczony jest do pomiaru awaryjnych dawek indywidualnych promieniowania fotonowego. Ma on stanowić stałe wyposażenie nowej kasecy kontroli rutynowej dla osób, potencjalnie narażonych na ekspozycje znacznie przekraczające dawki dopuszczalne. Przewidywany jest do umieszczenia w kasecie w postaci wkładki jako jeden z dawkomierzy uzupełniających kontrolę indywidualną, prowadzoną z użyciem dawkomierzy fotometrycznych. Ma on być noszony w kasecie przez cały czas jej użytkowania, a odczytywany tylko w wypadkach awarii, lub przy przekroczeniu dawki dopuszczalnej w sytuacjach bezawaryjnych.

W ADT użyto fluorek wapniowy domieszkowany manganem, ponieważ dawkomierz ma służyć do pomiaru promieniowania fotonowego także w obecności neutronów. Jego energetyczną charakterystykę czułości wyrównano od 60 keV, stosując filtr wyrównujący /1 mm Al + 0,5 mm Pb/. Dawkomierzem można mierzyć dawki od 10 mradów przy stosowaniu techniki odczytu z krzywej termoluminescencyjnej /TL/ lub od 1 rada metodą całkowania termoluminescencji. Błąd oceny dawki nie przekracza $\pm 10\%$. Wskazania ADT są liniowe w dostatecznie szerokim zakresie dawek. Dawkomierze te mogą być wielokrotnie używane, a zanik TL w czasie jednego roku użytkowania w normalnych warunkach przy stosowaniu wstępnego ogrzewania fosforu nie przekracza 5% w ciągu roku.

Stosowanie detektorów o tego rodzaju parametrach na awaryjne wkładki w kasecie dawkomierza fotometrycznego umożliwia wykorzystanie ich nie tylko w przypadku awarii. Stanowią one drugie, cenne źródło informacji o dawce mierzonej w kontroli rutynowej dawkomierzem fotometrycznym

i mogą być wykorzystane, gdy obraz na błonie dozymetrycznej budzi wątpliwości, lub gdy uzasadnione jest oznaczenie dawki z większą dokładnością. W przypadku zagubienia, lub zniszczenia błony stanowią one jedyne źródło informacji o wielkości napromienienia.

Dawkomierzom stosowanym w kontroli indywidualnej stawia się bardzo szerokie wymagania, ponieważ nieznanne są warunki ich noszenia, które mogą być krańcowo różne. Nieznane są także najczęściej rodzaj i energia promieniowania oraz czas ekspozycji dawkomierzy. Wszystkie te nieznanne czynniki mogą być powodem dodatkowych mniejszych lub większych błędów popełnianych przy ocenie dawki. Dlatego przed wprowadzeniem nowych dawkomierzy do kontroli indywidualnej poddaje się je szczegółowym próbom w warunkach praktycznego użytkowania. Uwzględnia się czas i sposób noszenia oraz warunki napromieniania. W takich próbach noszone są dwa lub więcej rodzajów dawkomierzy, a następnie porównuje się ich wskazania, ocenia przydatność i ekonomię stosowania [2]. Tego rodzaju próbom poddano ADT wykonane w CLOR, które noszone były przez wybrane grupy osób razem z dawkomierzami fotometrycznymi w różnych zakładach pracy.

Sprawdzanie użyteczności ADT, stosowanego jako uzupełnienie błon dozymetrycznych w normalnych warunkach kontroli rutynowej, wymagało wykonania szeregu dodatkowych pomiarów w zakresie małych dawek. ADT był uprzednio [1] dokładnie przebadany jedynie w zakresie jego przeznaczenia, tzn. dla ekspozycji powyżej 1 R. Wyniki tych uzupełniających doświadczeń oraz prób dwuletniego sprawdzania ADT w różnych zastosowaniach są przedmiotem niniejszego opracowania.

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Z otrzymanych w CLOR 150 g jednorodnego CaF_2 : Mn wykonano w latach 1970-71 ponad 500 sztuk dawkomierzy ADT, z których 200 sztuk sprawdzano w różnych warunkach użytkowania dla celów kontroli dawek indywidualnych. Badano je także w innych zastosowaniach. Pozostała część przygotowanych ADT stanowi pulę awaryjnych dawkomierzy zgłoszonych przez CLOR do dyspozycji Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej /IAEA/ w ramach międzynarodowej pomocy awaryjnej [3].

I. Wyznaczanie współczynnika wzorcowania dla ADT przy stosowaniu techniki odczytu z krzywej TL.

Dawkomierze TL służą wyłącznie do pomiarów względnych i wskutek tego wymagają wzorcowania. Miarą wielkości dawki jest określona wartość radiotermoluminescencji "w", wyrażona w nanoamperach, jaką rejestruje fotopowielacz czytnika TL w czasie ogrzewania fosforu. Współczynnik wzorcowania "k", określający wartość sygnału na jednostkę dawki ekspozycyjnej "X" wyrażonej w rentgenach, zależy od wydajności radiotermoluminescencyjnej fosforu, rodzaju dawkomierza oraz jakości aparatury odczytowej i musi być doświadczalnie wyznaczony zgodnie z wzorem:

$$k = \frac{W}{X}$$

Wielkość dawki ekspozycyjnej w kontroli indywidualnej z użyciem ADT wyznaczano z krzywej TL. Po otwarciu ADT, wysypywano po 50 mg fosforu na podstawki platynowe o średnicy 8 mm i wygrzewano je wstępnie w suszarce przez 5 minut w temperaturze 110°C . Po wyjęciu z suszarki i ochłodzeniu, podstawki z fosforem umieszczano kolejno na części grzejnej czytnika TL i mierzono intensywność luminescencji w funkcji temperatury, przy stałym przepływie

gazu obojętnego, w czasie 40 sekund podwyższania temperatury grzejnika do 320°C. Z otrzymanej krzywej TL /rys.1/ wyznaczano wielkość radiotermoluminescencji "w" na podstawie wzoru:

$$w = a - c$$

gdzie: a - maksymalne natężenie TL [nA],
c - wartość ekstrapolowanego biegu własnego [nA].

Współczynnik wzorcowania dla ADT i aparatury, przystosowanej do pomiaru małych dawek, wyznaczano dla ekspozycji 1 R /tabela 1/ i sprawdzano go w zakresie od 10 mR do 1 R /tabela 2/. Współczynnik ten można przyjąć za stały w badanym zakresie ekspozycji /tabela 2 i rys. 2/. Jego wartość średnia wynosi 42,0 $\frac{nA}{R}$.

Wartość współczynnika wzorcowania, wyznaczonego w ten sposób dla dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma /Ra/, nie odbiega od wartości wyznaczonej w czasie pomiarów promieniowania X, uzyskanego przy stałym napięciu 200 kV i filtracji 0,5 mm Cu. Pomiary promieniowania X wykonano w IBJ - Żerań w ramach międzynarodowej akcji porównawczej oznaczania dawek dla celów radiobiologii EULEP [4] /European Late Effects Project Group/. Dawkomierze CLOR napromieniano w tych samych warunkach jak dawkomierze testowe EULEP-u. Wszystkie detektory napromieniano kolejno dawką ekspozycyjną 300 R, mierzoną dawkomierzem "Simens Universal Dosismesser" z komorą narparkową.

Wyniki wskazań ADT porównywano z wynikami odczytów dawkomierzy testowych EULEP, przesłanych do napromienienia w IBJ, a odczytanych przez EULEP. Porównano je także z odczytami kontrolnych i wzorcowych dawkomierzy, napromienianych i odczytanych w ramach akcji EULEP. Dawkomie-

rzami kontrolnymi nazwane zostały dawkomierze, które po napromienieniu promieniowaniem gamma Cs-137, przesyłano razem z dawkomierzami testowymi z EULEP do IBJ i z powrotem. Wzorcowymi nazwano dawkomierze, które używano do wzorcowania w EULEP. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3.

II. Badanie ADT stosowanych w kontroli rutynowej.

1/ Wybór różnych środowisk pracy.

ADT noszono w okresie trzymiesięcznym razem z dawkomierzami fotometrycznymi przez pracowników:

- Ośrodka Produkcji i Dystrybucji Izotopów IBJ w Świerku /OPiDI/, -
- Zakładu Obsługi Reaktora IBJ w Świerku,
- Instytutu Onkologii w Warszawie.

Obydwa rodzaje dawkomierzy noszone były również przez pracowników Ekip Interwencyjnych Ośrodka Dyspozycyjnego Służby Awaryjnej - CLOR.

Wymienione instytucje wytypowane zostały ze względu na występujące w nich znaczne różnice warunków pracy dawkomierzy.

W gorących laboratoriach produkcji izotopów warunki noszenia są najostrożniejsze. Dawkomierze narażone są na szkodliwy wpływ różnych chemikaliów i skażenia promieniotwórcze. Rodzaj promieniowania i jego energia są różnorodne. Prawdopodobieństwo awarii jest tam także największe. Odchylen od prawidłowej oceny małych dawek oczekiwano tutaj wskutek wzrostu TL, wzbudzonej innymi czynnikami niż promieniowanie jonizujące, od t.zw. NRI /ang. non radiation induced TL/. Spodziewano się tu większej chemiluminescencji, niż w innych warunkach noszenia dawkomierzy.

W Zakładzie Obsługi Reaktora prawdopodobieństwo zetknięcia się z wyziewami chemicznymi jest mniejsze, natomiast obecność neutronów w polu promieniowania gamma może mieć wpływ na zniekształcenie wskazań dawkomierza, przeznaczonego do pomiaru dawki promieniowania fotonowego. Zależnie od strumienia oraz od energii neutronów wskazania mogą być zawyżone, ponieważ ADT nie jest dawkomierzem całkowicie nieczułym na promieniowanie neutronowe [5].

W Instytucie Onkologii ilość i rodzaj źródeł promieniowania są bardziej ograniczone. Są to aparaty rentgenowskie i najczęściej zamknięte źródła promieniowania gamma. W tym przypadku prawidłowa ocena dawki powinna głównie zależeć od stopnia wyrównania charakterystyki energetycznej dawkomierza, mniej od NRI.

Warunki pracy ADT noszonych podczas wykonywania różnych zadań związanych z działalnością Ośrodka Dyspozycyjnego Służby Awaryjnej różnią się zasadniczo od dotychczas wymienionych. W tym przypadku czas i warunki napromieniania są na ogół znane a dawkomierze odczytywane są szybko po napromienieniu, t.zn. po zakończeniu zadania ekipy. W takich warunkach ocena małej dawki jest obarczona mniejszym błędem niż w innych warunkach pomiarów dawek indywidualnych.

2/ Badania ADT w warunkach noszenia po wstępnych ekspozycjach.

Dla zbadania ewentualnych zniekształceń zarejestrowanej w dawkomierzu informacji o znanej ekspozycji w wyniku działania: tła naturalnego, NRI oraz zaniku TL pracownicy CLOR otrzymali dodatkowo do noszenia dwie serie ADT, poddanych w różnym czasie wzorcowym ekspozycjom: 0, 10, 20, 50 i 100 mR. Pierwszą serię ADT napromie-

niano bezpośrednio przed oddawaniem partii ADT do trzymiesięcznej kontroli w IBJ. Dawkomierze z tej serii noszone w CLOR także przez trzy miesiące. Drugą serię ADT napromieniano po sześciu tygodniach i noszone w CLOR przez półtora miesiąca. Wszystkie dawkomierze obu serii odczytywano razem z ADT i błonami dozymetrycznymi z trzymiesięcznej kontroli okresowej w IBJ. Dodatkowe dawkomierze obu serii dano do noszenia pracownikom CLOR, którzy w tym okresie nie przewidywali styczności ze źródłami promieniowania jonizującego.

Wyniki odczytów tych dawkomierzy porównywane były pomiędzy sobą, z odczytami błon dozymetrycznych kontroli rutynowej oraz z wynikami kalibracji ADT. Na podstawie odczytów nienapromienionych wstępnie ADT stwierdzono, że w czasie trzymiesięcznego noszenia w CLOR, ADT obydwu serii otrzymały dawki ekspozycyjne około 8 mR /tabela 4/. Zmienił się charakter krzywych TL wszystkich noszonych ADT w porównaniu do krzywych wzorcowych oraz wzrosły także ich biegi własne. Nie zaobserwowano jednak systematyczności w zmianach wartości narastającej termoluminescencji typu NRI w tym okresie i w takich warunkach noszenia /tabela 5/.

Na podstawie porównania wyników odczytów ekspozycji, w zakresie od 10 do 100 mR z krzywych TL o wysokiej NRI, uproszczono ich obliczanie. Zamiast ekstrapolowania intensywności biegu własnego do temperatury pików i odejmowania od wysokości pików jego wartości /c/, przyjęto następujący wzór empiryczny na ocenę c z krzywej TL, mierzonej na zakresie do 5 nA i w naszych warunkach pomiarowych:

/rys. 1/ $c = \frac{2b^2}{3a}$; stąd:

$$w = a - \frac{2b^2}{3a};$$

w - wartość radiotermoluminescencji [nA],

a - maksymalne natężenie TL [nA],

b - natężenie Tl w minimum krzywej [nA].

3/ Wyniki pomiarów dawek indywidualnych promieniowania fotonowego przy użyciu ADT i dawkomierzy fotometrycznych noszonych na klatce piersiowej.

Przykładowe zestawienia wyników odczytów ADT i dawkomierzy fotometrycznych w czasie trzymiesięcznej kontroli dawek indywidualnych dla zatrudnionych w różnych zakładach pracy ujęto w tabelach 6,7 i 8. Wyniki uzupełniono odczytami miesięcznych dawek o ile dany pracownik nosił dodatkowy dawkomierz fotometryczny kontrolowany w okresie miesięcznym. Dla wykonanych pomiarów podano także wartości biegów własnych otrzymanych krzywych TL. /wysokość odcinka c na rys. 1/.

Przykładowe wyniki kontroli dawek otrzymanych przez dozymetrystów Służby Awaryjnej CLOR podczas 4-godzinnej akcji usuwania skutków wypadku radiacyjnego /defektoskop ze źródłem Co-60 o aktywności 31 Ci/ zestawiono w tabeli 9.

III. Inne zastosowania ADT.

Oprócz zastosowań w dozymetrii indywidualnej ADT może być wykorzystany do szeregu innych pomiarów wymienionych poniżej. Wielkości błędów przy tych rodzajach zastosowań są zawsze mniejsze, ponieważ znane są warunki ekspozycji dawkomierzy /rodzaj promieniowania, czas i warunki napromieniania/. Mierzone wielkości ekspozycji są także znacznie większe niż w kontroli dawek indywidual-

nych. Mieszczą się one najczęściej w zakresie dawek awaryjnych w którym ADT został dokładnie zbadany [1]. Z tego względu w niniejszym opracowaniu ograniczono się do podania rodzajów zastosowań, w jakich wykorzystano ADT w latach 1970-71 oraz wielkości mierzonych ekspozycji.

1/ ADT użyto jako dawkomierze stacjonarne do pomiaru rozkładu pola ekspozycji wokół akceleratora w IBJ w Świerku. Wartości trzymiesięcznych ekspozycji w 10-ciu interesujących punktach pola zawierały się w granicach od 10 mR do 36 R.

2/ ADT wykorzystano także w Instytucie Onkologii do długookresowych pomiarów tła w pomieszczeniach pracy, sąsiadujących z pomieszczeniami, w których stosowane są silne źródła promieniowania jonizującego. Odczytane wartości ekspozycji po półrocznym okresie pomiarowym mieszczą się w granicach od 70 do 640 mR. Jest to tło wyższe niż mierzone w warunkach pracy w CLOR.

3/ Po kalibracji ADT, w określonych warunkach ekspozycji promieniowania rentgenowskiego, pomierzono rozkłady dawek na powierzchni różnych części ciała kilku żywych królików dla celów radiobiologii. Mierzono ekspozycje od 200 do 925 R.

4/ ADT zastosowano również do pomiaru ekspozycji rzędu 1000 R podczas krótkotrwałych napromieniowań myszy doświadczalnych Co-60 w Instytucie Leków /pomiaru przy dużej mocy dawki ekspozycyjnej/.

WNIOSKI

1. Wyniki pomiarów dawek indywidualnych dawkomierzami fotometrycznymi i ADT są zgodne w granicach przyjmowanych dla tych metod błędów pomiarowych [6] /rys.3/.

2. ADT poza swoim podstawowym przeznaczeniem można użyć do oznaczania dawek indywidualnych:

a/ w kontroli rutynowej w zakresie dawek szerszym niż zakres stosowanych dawkomierzy fotometrycznych,

b/ kumulowanych w długim okresie noszenia,

c/ otrzymanych w krótkim okresie czasu po długotrwałym noszeniu. Potrzeba takiego oznaczenia dawki może powstać nawet w bezawaryjnych warunkach, gdy dawkomierz fotometryczny ulegnie zniszczeniu. Ocena dawki otrzymanej w krótkim okresie czasu a będącej końcowym fragmentem dawki zakumulowanej w bardzo długim okresie czasu, przy wcześniejszych ekspozycjach mierzonych dawkomierzami fotometrycznymi, obciążona jest dodatkowo błędami pomiarów fotometrycznych /błąd metody w granicach $\pm 30\%$ /, oraz kumulowaniem dawek poniżej 50 mR nierejestrowanych dawkomierzem fotometrycznym. Dawka zakumulowana w ADT w okresie długotrwałego jego nieodczytywania nie może być duża, ponieważ ADT jest każdorazowo odczytywany przy stwierdzeniu dawkomierzem fotometrycznym ekspozycji powyżej 1,3 R. Ekspozycje nierejestrowane dawkomierzem fotometrycznym, mieścić się mogą w granicach od wielkości tła naturalnego /około 50 mR rocznie/ do maksymalnie 50 mR miesięcznie, w zakładach o miesięcznym okresie kontroli /ekspozycje poniżej 50 mR oznaczone są literą x w tabelach 6, 7 i 8/. Na rys. 4 przedstawiono dawki kumulowane w czasie długotrwałej stałej ekspozycji ADT dla różnych wartości mocy dawek /od 50 mR/rok do 50 mR/miesiąc/. Średni zanik TL przyjęto równy 5% na rok.

Błąd oceny dawki krótkookresowej po długim czasie noszenia ADT można zmniejszyć, gdy znana jest rzeczywista wartość tła. Wydaje się więc celowym sprawdzanie okresowych zmian wysokości tła przy użyciu ADT jako dawkomierzy stacjonarnych w zakładach o podwyższonym tle. Jest to szczególnie istotne w zakładach, gdzie występuje zwiększone prawdopodobieństwo uszkodzenia dawkomierza fotometrycznego, np. w pomieszczeniach produkcji izotopów /możliwość skażeń promieniotwórczych/.

3. Wyniki pomiarów dawek uzyskane na podstawie trzymiesięcznego noszenia ADT w pracowniach chemicznych OPiDI IBJ w Świerku wskazują na podwyższenie średniego biegu własnego /wartość "c"/. Ponieważ stwierdzono również zmiany w odczytach wartości "c", wskutek niejednakowej czystości produkowanych gazów obojętnych /zwłaszcza azotu/, stosowanych w czasie odczytów dawkomierzy, dla potwierdzenia wzrostu NRI większego dla ADT noszonych w OPiDI pomiary powtórzono trzykrotnie przy zachowaniu tych samych warunków pomiarowych /gaz z tej samej butli/.

Znajomość maksymalnej wartości NRI, warunków jej narastania oraz obniżania, umożliwia oznaczanie małych dawek z większą dokładnością. Narastanie NRI można zmniejszyć stosując zamiast proszku luzem, CaF_2 : Mn sprasowany w pastylki, a obniżyć określoną jej wartość warunkami odczytu fosforów w atmosferze gazów oczyszczonych.

4. W oparciu o analizę wyników użytkowania ADT przez Służbę Awaryjną CLOR-u wydaje się celowym rozszerzenie metody TL do oznaczania dawek na innych częściach ciała. Dawkomierze fotometryczne mogą być w tych przypadkach noszone tylko na klatce piersiowej dla oceny

dawki w normalnym okresie kontroli i odczytywane dodatkowo jedynie w sytuacjach specjalnych. Sposób uzyskania informacji o napromienieniu z dawkomierza TL, przy małej liczbie pomiarów, jest szybszy i bardziej ekonomiczny niż przy użyciu błon dozymetrycznych. Inaczej wygląda sytuacja przy odczycie dużej liczby dawkomierzy. Wtedy stosowanie dawkomierzy fotometrycznych jest bardziej ekonomiczne od ADT.

5. Z uwagi na trudności wytworzenia wzorcowych warunków napromieniania nie udało się sprawdzić w dotychczasowych badaniach zachowania ADT w polu promieniowania mieszanego foton - neutron. Według Ayyangar i innych autorów [4], czułości handlowych fluorków wapniowych domieszkowanych manganem są niskie, nawet w porównaniu do specjalnie w tym celu wzbogacanego w ^7Li fosforu TLD-700 produkcji Harshaw, USA. Jednak sprawozdanie zachowania ADT na promieniowanie neutronowe w warunkach zbliżonych do awarii reaktora, wydaje się konieczne. ADT poddano dwukrotnie napromienianiu w symulowanych sytuacjach przekroczenia stanu krytycznego reaktora, przy okazji doświadczeń prowadzonych przez IAEA nad detektorami awaryjnymi. Wnioski można będzie jednak dopiero wyciągnąć po opublikowaniu przez IAEA szczegółów dotyczących warunków napromieniania.

PODZIĘKOWANIE

Autorzy dziękują Panom: doc. dr A. Danczewiczowi, dr inż. J. Peńsko, mgr inż. R. Siwickiemu i mgr inż. T. Œwikowi z Instytutu Badań Jądrowych, mgr inż. M. Dworakowskiemu z Instytutu Onkologii oraz mgr inż. M. Biernackiej i dr inż. B. Gwiazdowskiemu z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej za cenne uwagi i życzliwą współpracę w czasie wykonywania pomiarów.

LITERATURA

1. Koczyński A., Musiałowicz T., Wolska-Witer M., Wysopolski J., Awaryjny dawkomierz termoluminescencyjny do pomiaru dawek indywidualnych promieniowania X i gamma, Raport Nr CLOR - 82/D, /1970/.
2. Piesch E., Personnel Monitoring with Radiophotoluminescent Dosimeters, Radiation Dosimetry Vol.2, 159 /1970/, Proc. Int. Summer School on Rad. Prot.-Cavtat, 21-30 Sept. 1970.
3. IAEA: Mutual Emergency Assistance for Radiation Accidents. WP/35/Rev.2. Vienna, 1968.
4. Broerse J.J., Hogeweg B., Puite K.J., Second Interim Report: EULEP Dose Distribution Intercomparison RJ 71/229/RPW/EULEP, 16th June/1971/.
5. Ayyangar K., Thermoluminescence Response of LiF to Neutrons, IAEA, Symp. on New Developments in Phys. and Biolog. Rad. Detectors, Vienna, 23-27 November 1970.
6. Wachsmann F., Kimberger F., Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Methoden zur Messung der Individualdosis, Zivilschutz, 7/8, 243 /1964/.

- Rys. 1 Krzywa TL $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ w warunkach odczytu w CLOR po ekspozycji 10 mR /Cs-137/.
- Rys. 2 Zależność radiotermoluminescencji ADT od dawki ekspozycyjnej.
- Rys. 3 Różnice wskazań ADT i błon dozymetrycznych stosowanych w kontroli indywidualnej.
- Rys. 4 Dawki kumulowane w czasie długotrwałej stałej ekspozycji ADT.

Tabela 1

Wyniki wzorcowania ADT dla ekspozycji 1 R
/źródło Ra/

Wartość radiotermoluminescencji "w", NA											
Lp. / NF. ADT / Odczytu	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Wartość średnia
1	41,5	44,0	43,0	40,5	43,0	42,0	39,5	41,5	41,0	44,5	42,0
2	41,0	43,0	40,5	41,5	43,5	42,5	41,0	42,5	41,5	43,5	
						σ / Odchylenie standardowe				+ 1,3	
						Współczynnik wzorcowania				42,0 ± 1,3	
						σσ / Współczynnik wariancji				3,0%	

$$\sigma / S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

gdzie:

S - odczylenie standardowe,
 x_i - wartość kolejnego /i/ pomiaru,
 \bar{x} - wartość średnia wszystkich pomiarów,
 n - ilość pomiarów.

$$\sigma\sigma / v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]$$

v - współczynnik wariancji

Tabela 2

Odczyty ekstremów krzywych TL po ekspozycjach od 10 do 1000 mR
/źródło Ra/ wyrażone w nanoamperach

Nr grupy i lp. odczytu A B T	10 mR			20 mR			50 mR			100 mR			500 mR			1000 mR			
	a x/	c xx/	w xxx/	a	c	w	a	c	w	a	c	w	a	c	w	a	c	w	
I	1	1,25	0,85	0,40	1,60	0,80	0,80	2,40	0,50	1,90	4,50	0,30	4,20	21,5	0,5	21,0	41,5	0,5	41,0
	2	1,30	0,85	0,45	1,55	0,75	0,80	2,50	0,50	2,00	4,60	0,30	4,30	22,0	0,5	21,5	41,0	0,5	40,5
II	1	1,20	0,75	0,45	1,45	0,65	0,80	2,35	0,50	1,85	4,90	0,50	4,40	21,0	0,5	20,5	43,5	0,5	43,0
	2	1,25	0,85	0,40	1,65	0,70	0,95	2,45	0,45	2,00	5,20	0,85	4,35	20,5	0,5	20,0	43,5	0,5	43,0
III	1	1,15	0,75	0,40	1,55	0,65	0,90	2,70	0,45	2,25	4,80	0,45	4,35	20,0	0,5	21,5	42,0	0,5	41,5
	2	1,25	0,80	0,45	1,55	0,65	0,90	2,60	0,45	2,15	5,20	0,50	4,70	20,5	0,5	20,0	43,0	0,5	42,5
Wartość średnia w:			0,425	0,86			2,025			4,383			20,75			41,92			
Współczynnik wariancji:			6,46%	7,73%			7,12%			3,86%			3,32%			2,55%			
Współczynnik wzorcowania $k = \frac{w}{x} \left[\frac{nA}{T} \right]$			42,5 ±2,7	43,0 ±3,3			40,5 ±3,9			43,8 ±1,7			41,5 ±1,4			41,9 ±1,1			

x/ a - maksymalne natężenie TL

xx/ c - bieg własny w temperaturze T_{max}

xxx/ w = a - c

Tabela 3

Porównanie wyników pomiarów ekspozycji 300 R z użyciem ADT - CLOR
z wynikami wzorcowania E U L E P [R]

Rodzaj dawko- mierza	Lp. ADT i ich odczyty									Wartość średnia pomia- ru	Współ- czynnik warian- cji [%]
	I			II			III				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
ADT-CLOR	296	284	314	305	291	307	300	318	309	302,7	3,63
TLD-100 EULEP: testowe	300,6	302,1	298,6	297,6	302,1	306,9	301,5	301	301,5	301,3	0,84
kontrol- ne	325,2	330,3	324,6	321,3	328,2	316,4	334,8	330,3	328,5	326,6	1,67
wzorco- we	301,2	298,8	-	300	301,2	298,8	294,6	298,8	298,8	300	1,07

Tabela 4

Wartości radiotermoluminescencji "w" krzywych TL w nanoamperach dla ADT noszonych w CLOR przez pracowników nie pracujących ze źródłami promieniowania jonizującego w różnym czasie i po różnych wstępnych ekspozycjach

Nr grupy i lp. odczytu A B T	Czas noszenia ADT /w miesiącach/ po wstępnej ekspozycji															
	0 mR			10 mR			20 mR			50 mR			100 mR			
	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	
I	1	-	0,10	0,45	0,40	0,75	0,75	0,80	1,15	1,20	1,90	2,40	2,35	4,20	4,35	3,95
	2	-	0,25	0,25	0,45	0,50	0,85	0,80	1,05	1,10	2,00	2,35	2,35	4,30	4,15	4,05
II	1	-	0,35	0,30	0,45	0,65	0,50	0,80	1,00	1,35	1,85	2,15	2,20	4,40	4,20	4,20
	2	-	0,15	0,55	0,40	0,60	0,74	0,95	0,90	0,95	2,00	2,20	2,35	4,35	4,05	4,00
Wartość średnia			0,21	0,39	0,43	0,63	0,71	0,84	1,02	1,15	1,95	2,28	2,31	4,31	4,19	4,05
Obliczona wartość dawki ek- spozycyj- nej [mR]			5,0	9,3	10,2	14,9	16,9	20,0	24,3	27,4	46,2	54,3	55,0	103	99,6	96,5

Tabela 5

Wartości "c" krzywych TL w nanoamperach dla ADT noszonych w CLOR przez pracowników nie pracujących ze źródłami promieniowania jonizującego w różnym czasie i po różnych wstępnych ekspozycjach

Nr grupy i lp. odczytu ADT	Czas noszenia ADT /w miesiącach/ po wstępnej ekspozycji															
	0 mR			10 mR			20 mR			50 mR			100 mR			
	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	0 mies.	1,5 mies.	3 mies.	
I	1	0,07	0,35	0,30	0,85	0,60	0,85	0,80	0,70	0,75	0,50	0,60	0,75	0,30	0,90	1,20
	2	0,05	0,25	0,45	0,85	1,10	0,50	0,75	0,80	0,60	0,50	0,75	0,85	0,30	1,05	0,95
II	1	0,06	0,40	0,65	0,75	0,80	1,00	0,65	0,90	0,50	0,50	0,95	0,90	0,50	1,60	1,05
	2	0,08	0,55	0,40	0,85	0,75	0,85	0,70	1,05	0,90	0,45	0,80	0,75	0,85	1,15	1,00
Średnia pomiaru		0,07	0,39	0,45	0,83	0,81	0,55	0,73	0,86	0,69	0,48	0,78	0,81	0,49	1,18	1,05

Tabela 6

Wyniki odczytów ADT i dawkomierzy fotometrycznych
noszonych w Ośrodku Produkcji Izotopów IBJ [mR]

Lp.	Dawkomierze fotometryczne kontroli miesięcznej \times /				Dawkomierze kontroli kwart.		Wartości c dla odczytanych ADT [nA] /z obliczenia/
	m i e s i ą c e				Dawkomierz fotometryczny \times /	A D T	
	I-szy	II-gi	III-ci	Sumaryczna ekspozycja kwartalna /z obliczenia/			
1	-	240	320	560	490	590	0,85
2	-	-	800	800	1080	940	0,90
3	100	100	800	1000	1000	930	0,75
4	80	-	250	330	540	650	1,00
5	60	90	-	150	320	240	0,90
6	-	650	360	1010	1400 + s	1050	0,95
7	60	200	240	500	510	550	0,75
8	x	240	x	240 + 2x	280	290	0,45
9	x	Z + s	x	Z + s + 2x	Z	2230	0,80
10	x	900	-	900 + x	1050	850	0,80
11	x	awaria 110	130	240 + x	250	240	0,90
12	50	80	90	220	350 + s	490	0,85
13	-	x	100	100 + x	440 + x	430	0,70
14	x	1000 awaria	240	1240	1280	1100	0,80
wartość średnia c =							0,81

\times / x - ekspozycje poniżej 50 mR

s - skażenie dawkomierza

Z - zniszczenie dawkomierza

Tabela 7

Wyniki odczytów ADT i dawkomierzy fotometrycznych
noszonych w Zakładzie Obsługi Reaktora IBJ [mR]

Lp.	Dawkomierze fotometryczne kontroli miesięcznej π /				Dawkomierze kontroli kwart.		Wartości c dla odczytanych ADT [nA] /z obliczenia/
	m i e s i ą c e				Dawkomierz fotometryczny π /	k A D T	
	I-szy	II-gi	III-ci	Sumaryczna ekspozycja kwartalna /z obliczenia/			
1	x	80	220	300 + x	400	300	0,50
2	x	x	120	120 + 2x	320	200	0,45
3	50	70	160	280	630 + s	490	0,65
4	x	x	240	240 + 2x	310	440	0,70
5	x	x	250	250 + 2x	280	320	0,50
6	-	x	x	2x	x	40	0,40
7	x	x	x	3x	x	60	0,30
8	340	50	x	390 + x	x	110	0,45
9	x	x	x	3x	80	65	0,35
10	x	x	x	100 + 3x	100	110	0,35
Wartość średnia c =							0,465

π / x - ekspozycje poniżej 50 mR

s - skażenie dawkomierza

z - zniszczenie dawkomierza

Tabela 8

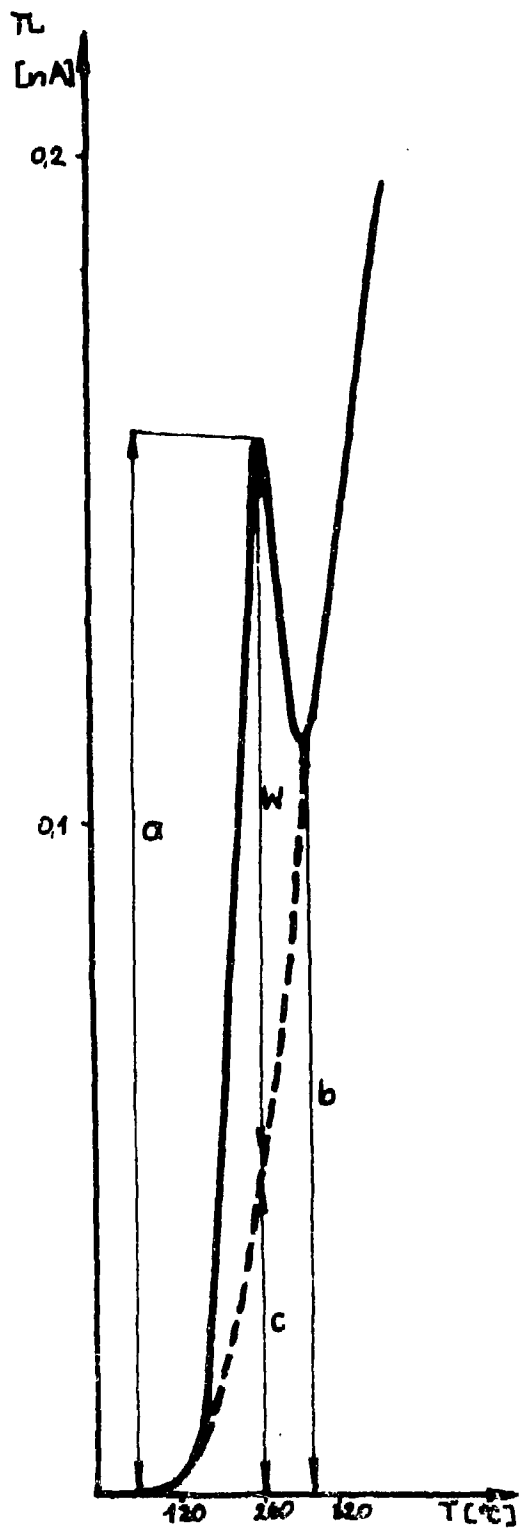
Wyniki odczytów ADT i dawkomierzy fotometrycznych noszonych
w Instytucie Onkologii [mR]

Lp.	Dawkomierze fotometryczne kontroli miesięcznej μ / m i e s i ą c e				Dawkomierze kontroli kwartalnej		Wartości c dla odczy- tanych ADT na /z oblicz./
	I-szy	II-gi	III-ci	Sumaryczna ekspozycja kwartalna /z obliczenia/	Dawkomierz fotome- tryczny	A D T	
1	x	80	50	130 + x	-	140	0,65
2	x	x	x	3x	-	90	0,45
3	x	50	90	140 + x	-	110	0,60
4	50	-	100	150	-	160	0,60
5	x	x	x	3x	-	110	0,35
6	x	x	x	3x	-	80	0,45
7	140	2000	250	2390	-	1880	0,90
8	140	250	Z	390 + Z	-	580	0,60
9	x	x	Z	2x + Z	-	100	0,50
10	x	90	Z	90 + x + Z	-	220	0,60
11	x	x	Z	2x + Z	-	630	0,55
12	x	-	80	80 + x	-	160	0,40
13	x	x	x	3x	-	50	0,30
14	x	x	x	3x	-	30	0,40
15	x	x	x	3x	-	130	0,45
16	x	x	x	3x	-	40	0,35
17	x	x	x	3x	-	30	0,35
18	x	x	x	3x	-	30	0,35
					Wartość średnia c =		0,49

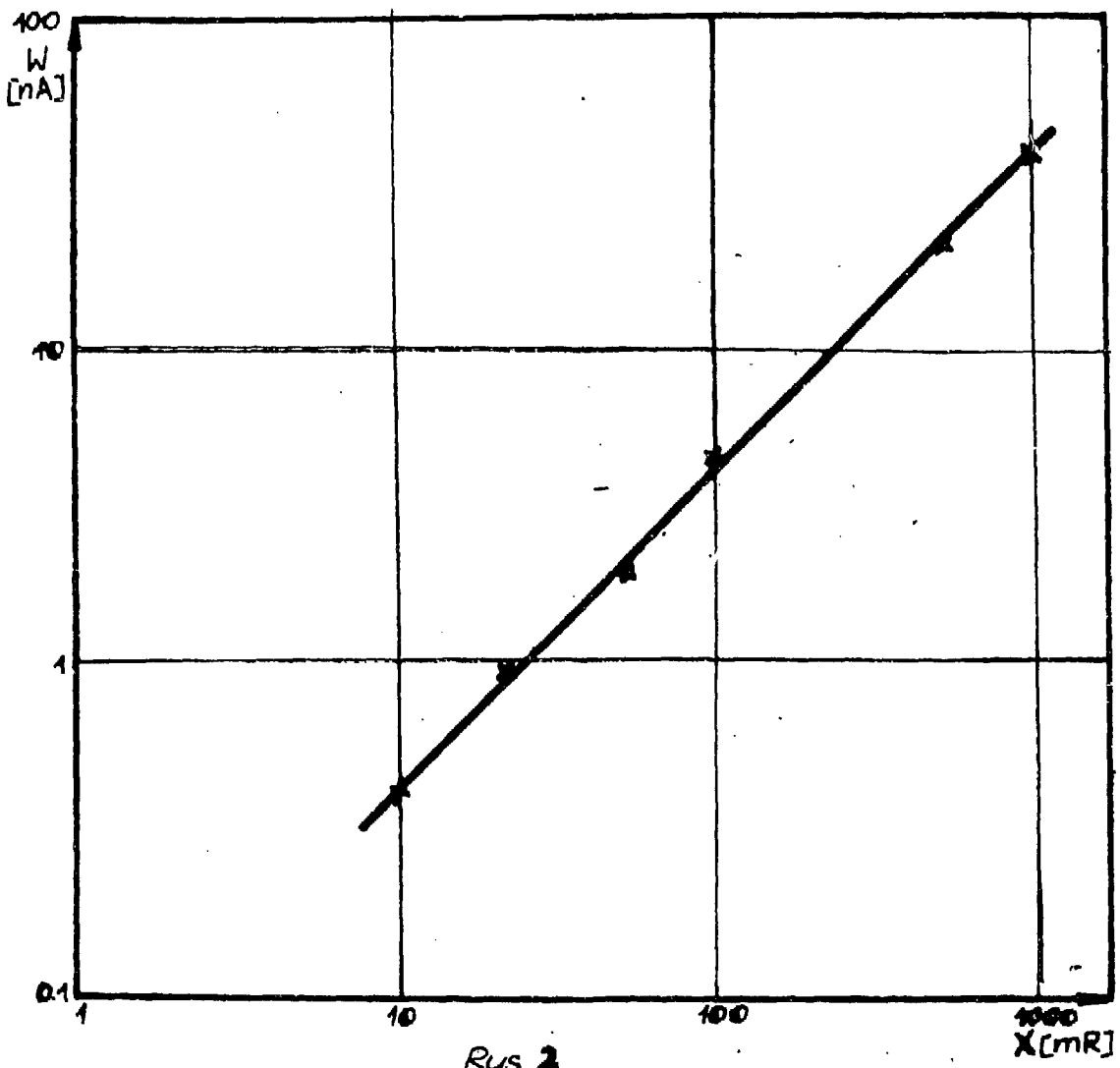
μ / x - ekspozycje poniżej 50 mR
s - skażenie dawkomierza
Z - zniszczenie dawkomierza

Tabela 9**Przykładowe odczyty ADT i dawkomierzy fotometrycznych [mR]
noszonych przez dozymetrystów Służby Awaryjnej CLOR**

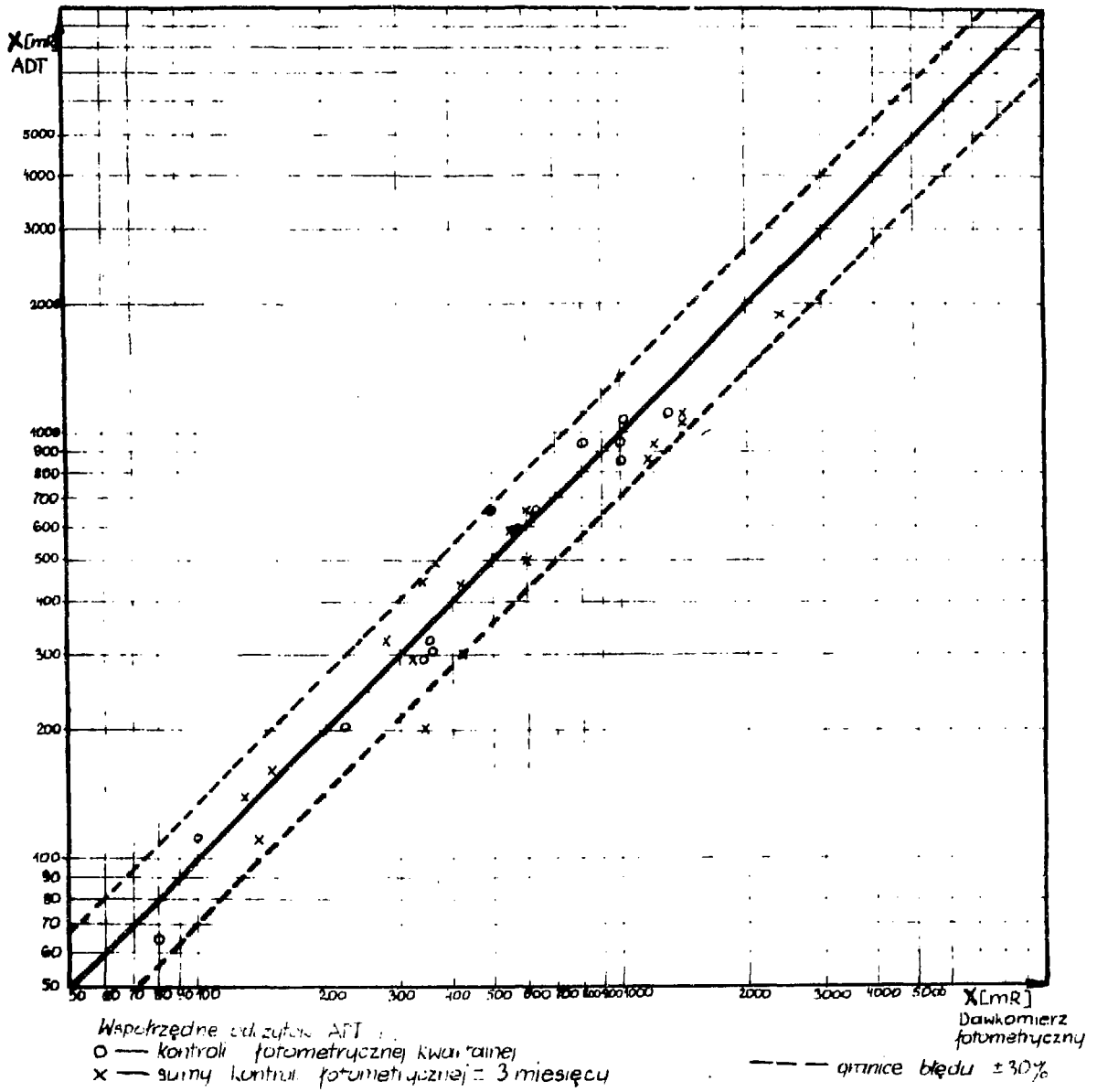
Miejsce pomiaru	Dozymetrysta I		Dozymetrysta II		Rodzaj źródła promienionowania
	Film	ADT	Film	ADT	
klatka piersiowa	110	-	-	-	Co-60
w pasie	90	-	100	-	"
prawa dłoń	-	155	-	240	"
lewa dłoń	-	130	-	220	"
gonady	-	115	-	55	"



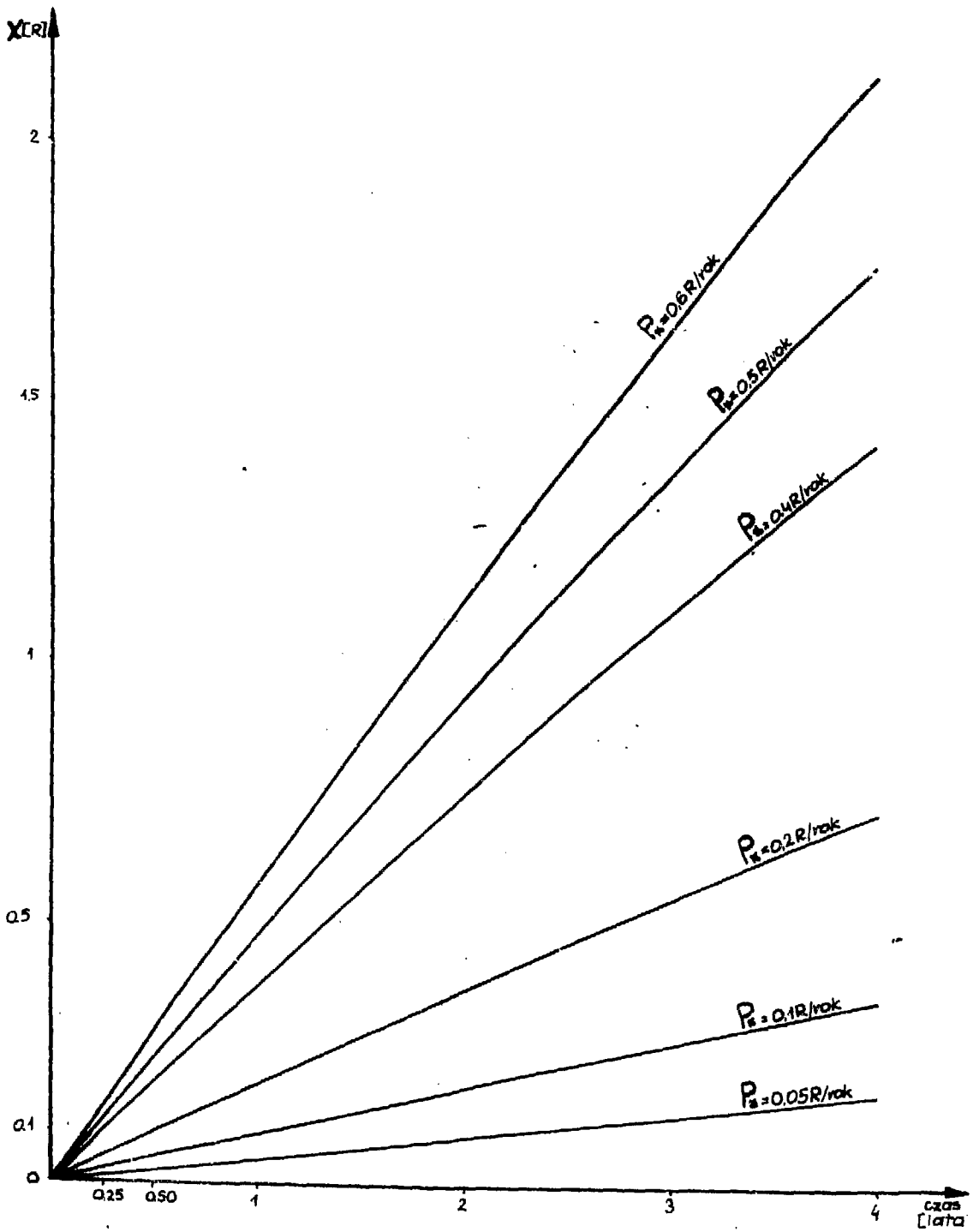
Rys 1



Rys. 2



Rys 3



Rys. 4

