

CLOR 89/D

Raport Nr CLOR-89/D

**TERMOLUMINESCENCYJNY
DAWKOMIERZ PALCOWY
PROMIENIOWANIA
GAMMA**

**A. Koczyński
M. Wolska - Witer
T. Musiałowicz**

WARSZAWA

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:
OŚRODEK INFORMACJI O ENERGIJ JĄDROWEJ
Pełnomocnika Rządu d/s Wykorzystania Energii Jądrowej
Warszawa, Pałac Kultury i Nauki

W y d a j o Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Nakład 550 egz., Objętość ark.: wyd.
złożenia maszynopisu przez autora
30.V.72, Druk ukończono w VI, SP

, Ark.:druk. , Data
, Oddano do druku
Zamów. 181/72



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

Report Nr CLOR-89/D

TERMOLUMINESCENCYJNY DAWKOMIERZ PALCOWY
PROMIENIOWANIA GAMMA

TERMOLUMINESCENT FINGER GAMMA RADIATION DOSIMETER
ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ПАЛЬЦЕВОЙ ДОЗИМЕТР
ГАММА ИЗЛУЧЕНИЯ

A. Koszyński
H. Wolka-Witczak
T. Musiałowicz

W A R S Z A W A

1972

S t r e s z c z e n i e

Na podstawie dostępnych w kraju materiałów TL opracowano i przygotowano do prowadzenia kontroli narażenia rąk termoluminescencyjny dawkomierz palcowy /TLDP/ do pomiaru dawek ekspozycyjnych powyżej 100 mR promieniowania gamma. Dawkomierz wykonano w dwu wersjach: w TLDP-1 użyto 10 mg sproszkowanego $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ w posrebrzonym naczyniu aluminiowym, w TLDP-2 - 30 mg krążek spieku LiF .

Opisano budowę dawkomierzy, ich własności dozymetryczne, aparaturę i technikę pomiarową.

S u m m a r y

Thermoluminescent finger dosimeter /TLDP/ based on commercially available Polish-made TL material for measurements of gamma radiation doses to hands over 100 mR, have been developed. The dosimeters have been prepared in two types: TLDP-1 with 10 mg powder of $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ in Al silver-plated dish, and TLDP-2 with 30 mg sintered LiF disc.

Construction of dosimeters, their dosimetric properties, instrumentation, and technique of measurements have been described.

(auth)

Р е з ю м е

Термолюминесцентный пальцевой дозиметр /ТЛПД/ для измерения гамма излучения выше 100 мр разработан на основе доступных в Польше материалов и приготовлено для контроля облучения рук.

Сделано два типа дозиметров:

- в ТЛПД-1 применяется 10 мг порошкообразного $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ в посеребренном алюминиевом стаканчике.
- в ТЛПД-2 - 30 мг спека LiF в виде диска.

Описано конструкцию дозиметров, их дозиметрические свойства, аппаратуру и измерительную технику.

WSTĘP

Radiotermoluminescencyjna /TL/ metoda pomiaru dawek polega na wykorzystaniu zjawisk fizycznych, zachodzących w kryształach jonowych z defektami sieci. Mechanizm zjawisk najłatwiej zobrazować na uproszczonym energetycznym modelu pasmowym takiego kryształu. W czasie napromienienia dawkomierza część elektronów uwalnianych z pasma walencyjnego kryształu lokuje się w pułapkach /rys.1/. Wychwyte elektrony przebywają w nich w stanie metastabilnym /okres magazynowania energii/ tak długo, dopóki nie zostaną uwolnione przez dostarczenie kryształowi odpowiedniej energii cieplnej. W czasie pomiaru luminescencji wskutek podwyższenia temperatury kryształu uwalniane elektrony poprzez pasmo przewodnictwa rekombinują z centrami luminescencji, którymi są najczęściej jony obcych atomów znajdujące się w kryształu /rys.2/. Przy ogrzewaniu kryształu w sposób liniowy / $\frac{dT}{dt} = \beta = \text{const}$ / krzywa TL ma przebieg przedstawiony na rys.3.

Temperatura maksymalnej TL / T_{maks} / jest wprost proporcjonalna do głębokości pułapek elektronów. Im wyższa jest T_{maks} , tym lepszy jest materiał TL pod względem zdolności magazynowania informacji.

Miarą wartości napromienienia może być albo mak-

symalne natężenie TL $/I_{maks}/$, albo suma kwantów TL zarejestrowanych w czasie ogrzewania, którą obrazuje pole S pod krzywą TL $/rys.3/$. W praktyce do oznaczania dawek w kontroli rutynowej częściej wykorzystuje się metodę całkującą, ponieważ wyniki tych pomiarów są mniej zależne od powtarzalności warunków ogrzewania.

W przypadkach badania warunków stosowania materiałów TL, zwłaszcza w długich okresach użytkowania dawkomierzy, wygodniej jest jednak użyć metodę pomiaru maksymalnego natężenia TL z wykreśleniem krzywej TL. Charakter krzywej TL dostarczyć może dodatkowych informacji o wpływie czynników zniekształcających wyniki pomiarów.

Celem niniejszej pracy było opracowanie i przygotowanie w dostatecznej do przeprowadzenia kontroli ilości termoluminescencyjnych dawkomierzy palcowych $/TLD/$ w oparciu o dostępne w kraju materiały.

W kraju nie uruchomiono dotychczas na większą skalę produkcji materiałów TL. Dla przygotowania dawkomierzy dysponowano otrzymywanymi w skali laboratoryjnej : - wysokotemperaturowym, polikrystalicznym fluorkiem litowym otrzymywanym w GOR i IPJ-Kraków, - monokryształami fluoru litowego o wymiarach $6 \times 6 \times 6$ mm, otrzymywanymi w IPJ-Kraków,

- fluorkiem wapniowym domieszkowanym manganem otrzymanym w CIOR w ilości zabezpieczającej prowadzenie kontroli rutynowej.

Ze względu na trudności materiałowe oraz pilną potrzebę objęcia kontrolą narażenia palców rąk osób zatrudnionych w lecznictwie przy aplikatorach radowych, opracowanie TLDP i wprowadzenie ich do kontroli podzielono na dwa etapy: pierwszy polegał na opracowaniu dawkomierzy promieniowania gamma, drugi - na opracowaniu dawkomierzy bardziej uniwersalnych, do pomiaru promieniowania beta i gamma.

W niniejszej pracy podano wyniki dotyczące zakończenia pierwszej części opracowania. Dotyczą one badań i przygotowania pierwszej serii dawkomierzy TL do prowadzenia kontroli dawek na palcach rąk u osób, których ręce podczas pracy znajdują się w niewielkiej odległości od silnych źródeł promieniowania gamma. Podano także wyniki pierwszych prób wprowadzania ich do kontroli.

MATERIAŁY I URZĄDZENIA

Wybór materiału TL

Wszystkie materiały TL mogą być przed ich użyciem

dowolnie długo magazynowane bez zmiany własności dozymetrycznych -nie starzeją się. Oznaczają się natomiast różnymi wartościami zaniku TL w czasie ich przechowywania po napromienieniu. Zanik TL zależy od wartości temperatury maksymalnej TL materiału $/T_{maks}/$, a w przypadku obecności kilku maksimów, od temperatury pików pomiarowego. Na wartość zaniku TL, niezależnie od temperatury, może mieć wpływ światło. Do użycia na TIDP jak i w innych zastosowaniach w dozymetrii indywidualnej, nadają się wyłącznie materiały TL o małym zaniku $/T_{maks} \geq 200^{\circ}C/$ nieprzekraczającym 10% na rok $/T_{maks}$:
LiF - $200^{\circ}C$, $CaF_2:Mn$ - $260^{\circ}C/$.

Materiały TL różnią się także zakresem pomiarowym dawek, zwłaszcza ich dolną granicą pomiaru. Najbardziej czułe na promieniowanie jonizujące są materiały niskotemperaturowe, nie nadające się do zastosowań w kontroli indywidualnej. Na TIDP może być zatem użyty wysokotemperaturowy materiał o czułości umożliwiającej pomiary dawek ekspozycyjnych promieniowania gamma począwszy od 100 mR z błędem pomiaru nieprzekraczającym 20%.

Poza małym zanikiem i wysoką czułością, materiały TL użyteczne do celów dozymetrii indywidualnej powinny mieć Z_{ef} zbliżone do Z_{ef} tkanki lub powietrza $/Z_{ef}$:

powietrza - 7,6; tkanki - 8; LiF - 8,2, CaF₂:Mn - 16,3/.

Przy wyborze materiału TL należy także uwzględnić rodzaj i energię mierzonego promieniowania, a w przypadku promieniowania mieszanego wpływ poszczególnych składowych promieniowania na sygnał pomiarowy /wynik pomiaru/.

Z dwu najbardziej popularnych materiałów TL - LiF i CaF₂, stosowanych w dozymetrii indywidualnej, CaF₂:Mn jest wielokrotnie czulszy, natomiast pomiary dawek przy użyciu LiF są o wiele mniej zależne od energii promieniowania gamma.

W CIOR sprawdzano przydatność obydwu rodzajów materiałów TL. Początkowo badano monokryształy LiF otrzymane z IFJ-Kraków w ilości 100 sztuk o wymiarach 6x6x1mm. Po kilkumiesięcznych badaniach ich własności dozymetrycznych i otrzymaniu początkowo bardzo obiecujących wyników okazało się, że monokryształy emitują, nawet w warunkach przechowywania ich w pomieszczeniach biurowych, obok radiotermoluminescencji duże ilości kwantów luminescencji wzbudzonej przez inne czynniki zwane NRI /ang. non radiation induced TI/. Podczas porównawczego wzorcowania różnych rodzajów dawkomierzy, m.in. monokryształów LiF, zaobserwowano, iż w tych ostatnich obok piku pomiarowego występuje wysoki pik NRI, usytu-

wany w bardzo bliskiej odległości od pików pomiarowego /rys.4/. Pomiary powtórzone trzykrotnie i potwierdzono obecność różnej wysokości pików NRI zakłócających prawidłowy pomiar dawek. O wynikach tych pomiarów zawiadomiono producentów.

Przygotowanie w CIOR $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ w ilości zabezpieczającej prowadzenie kontroli oraz pojawienie się spieków LiF opracowanych w IFJ-Kraków, pozwoliło na oparcie konstrukcji TIDP do pomiaru promieniowania gamma na tych dwu materiałach. Sproszkowany materiał TL, chociaż pracochłonny i niewygodny w użyciu zapewnia dobrą dokładność pomiaru dawki, zwłaszcza przy stosowaniu go w długotrwałej i szeroko prowadzonej kontroli. Detektory w postaci spiekanych wyprasek LiF są znacznie wygodniejsze w użyciu i rozszerzają możliwości pomiaru dawek w zakresie niższych energii promieniowania fotonowego. Stosowanie ich w kontroli rutynowej jest uzależnione od dokładności wykonania dużej ilości spieków o tych samych parametrach dozymetrycznych.

Opracowanie detektora z materiałem w postaci proszku

Do kontroli narażenia palców rąk może być użyty tylko prosty dawkomierz o małych rozmiarach nie zmniejszający operatywności palców.

Wymaganą dokładność pomiarów dawek na palcach rąk przy użyciu dawkomierzy ze sproszkowanym $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ /TIDP-1/ osiągnięto już przy 10 mg materiału w pojemniku aluminiowym /rys.5/. Aluminiowy pojemnik spełnia jednocześnie trzy funkcje:

- stanowi opakowanie sproszkowanego materiału TL,
- jest podstawką pomiarową, na której ogrzewany jest $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ w czytniku TL,
- jego ścianki stanowią składową filtru korekcyjnego dawkomierza,

Wyniki pomiarów dotyczące możliwości użycia różnych filtrów wyrównujących charakterystykę energetyczną dawkomierza TIDP-1 przedstawiono na rys.6.

Zastosowanie pojemnika z aluminium jako podstawki grzejnej wymagało sprawdzenia powtarzalności pomiarów przy wielokrotnym jej użyciu. Na rys.7 zestawiono wyniki pomiarów dotyczące wpływu powierzchni podstawki grzejnej w okresie sześciomiesięcznego jej użytkowania na zmianę wartości emisji, wzbudzonej ogrzewaniem podstawki i mierzonej w naszych warunkach aparaturowych.

Z przedstawionych krzywych biegu własnego podstawek aluminiowych widać, że z upływem czasu zmieniają się ich własności emisji termicznej /rys.7b/. Zmie-

niają się również ich własności radiotermoluminescencyjne /rys.7d/. Pod wpływem wielokrotnego ogrzewania podstawki, jej powierzchnia ulega utlenieniu, a utworzony tlenek glinu jest materiałem TL /rys.7d/. Zjawisko to nie występuje, gdy podstawkę pokryje się cienką warstwą srebra /rys.7e i d/, które zabezpiecza aluminium przed korozją./Srebro należy do metali o bardzo niskiej emisji termicznej [1]/.

Aparatura pomiarowa

Na dokładność pomiaru dawek - poza jakością materiału TL i zakłóceniami z powodu wysokiej i zmiennej wartości emisji podstawki grzejnej lub grzejnika - wpływają parametry czytnika TL i powtarzalność warunków pomiarowych, głównie warunków ogrzewania.

Schemat czytnika TL stosowanego do pomiaru dawek przy użyciu TIDP przedstawiono na rys.8. Do sprawdzania powtarzalności czułości czytnika TL stosowano standardowe źródło światła składające się ze scyntylatora plastikowego wzbudzanego źródłem $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$. Fotopowielacz typu EMI - 6256S, filtr obcinający podczerwień M3-23 Schotta i odległość fotokatody od grzejnika zostały tak dobrane , aby stosunek sygnału do szumu

był jak najniższy. W czytniku stosowano stabilizowany zasilacz wysokiego napięcia typu ZWH-2,5 kV - prod. ZZGW "Polon". Na fotopowielacz podawano napięcie około 900 V.

Budowa TIDP

Konstrukcję TIDP-1 przedstawiono na rys.9. Składa się na nią przecięta obręczka z pleksi /01/, nakrętka z winiduru /04/ oraz gniazdo /02/, w którym za filtrem z ołowiu /03/ umieszcza się posrebrzone naczynko aluminowe zawierające 10 mg $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ /05/. Przed zamknięciem i umieszczeniem naczynka w gnieździe pierścionka należy pamiętać o krótkim wygrzaniu w nim $\text{CaF}_2:\text{Mn}$ w warunkach aparatury odczytowej [2,3].

TIDP-2 /rys.10/ różni się od TIDP-1 tylko zawartością gniazda pierścionka, które zawiera dwa spieki LiF o średnicy 4,5mm i grubości 0,7mm. Spieki przed umieszczeniem ich w gnieździe należy także poddać krótkiemu wygrzaniu w czytniku TL.

Sposób wykonania pomiaru

W celu wykonania pomiaru dawki przy użyciu TIDP-1 należy zdjąć nakrętkę z winiduru i wyjąć pojemnik ala-

miniowy z gniazda pierścionka. Po otwarciu pojemnika podstawkę z CaF_2 : Mn ogrzewa się wstępnie w suszarce przez 5 minut w temperaturze 110°C . Po wyjęciu i ochłodzeniu podstawkę wprowadza się do głowicy grzejnej czytnika TL /rys. 8/, przez którą przepuszcza się stały przepływ gazu obojętnego /wolnego od tlenu/ z szybkością 30 l/h. Po upływie minuty włącza się ogrzewanie i rozpoczyna pomiar luminescencji. Pikoamperomierz i sprzężony z nim pisak rejestruje chwilowe wartości prądu fotopowielacza podczas ogrzewania detektora do 350°C z szybkością 10°C/s .

W celu pomiaru dawki przy użyciu TIDP-2 wyjmuje się spieki z gniazda pierścionka, ogrzewa wstępnie przez 5 minut w suszarce w 110°C i po ochłodzeniu mierzy luminescencję w atmosferze powietrza w warunkach ogrzewania stosowanych dla TIDP-1.

Wartość dawki oblicza się na podstawie wyników wzorcowania dawkomierzy, które podano w następnej części opracowania.

Po odczycie dawki, a przed powtórny umieszczeniem detektorów w TIDP-1 lub w TIDP-2, należy pamiętać o ich krótkim wygrzaniu w warunkach aparatury odczytowej. W przypadku odczytu wartości napromienienia detektora powyżej 2R stosuje się dodatkowo anilację

standartową /1h w 400°C i 24h w 80°C/.

Parametry przygotowanych TLDP

Wydajność radiotermoluminescencyjna "k" dawko-
mierzy /w naszych warunkach pomiarowych/, określająca
wartość sygnału na jednostkę dawki ekspozycyjnej "X"
wyrażonej w rentgenach, wyznaczano z zależności:

$$k = \frac{I_{\text{maks}} - B_w}{X} \text{ [nA/R]},$$
 gdzie przez B_w ozna-
czono wartość biegu własnego w temperaturze pikę po-
miarowego /rys.11a/.

Do wzorcowania użyto 50 sztuk TLDP-1 i 12 sztuk
TLDP-2, które podzielono na 5 grup. Każdą grupę dawko-
mierzy napromieniano dwukrotnie /źródłem radowym/ nas-
tępującymi dawkami ekspozycyjnymi: 0, 50, 100, 200,
500 i 1000 mR. Krzywe TL otrzymane po napromienieniu
wyżej wymienionymi dawkami przedstawiono: dla TLDP-1
na rys.11a i 11b, a dla TLDP-2 na rys.12a i 12b.

Dla każdej wartości pomierzonych dawek obliczo-
no średnią wskazań i wykreślono proste wzorcowania
/rys.13/. Wydajność radiotermoluminescencyjną wyzna-
czono z nachylenia prostej wzorcowania do osi odcię-
tych. Wynosi ona: dla TLDP-1 z zawartością 10 mg $\text{CaF}_2:\text{Mn}$
 $k = 8 \text{ nA/R}$ i dla TLDP-2 z 30 mg spiekanego LiF $k=10\text{nA/R}$.

Dla każdego z 16 pomiarów wykonanych dla poszczególnych wartości dawek przy użyciu TLDP-1 wyznaczono także odchylenia standardowe, rozrzuty maksymalne i współczynniki wariancji /rys.14/.

Parametry dozymetryczne spieków LiF, poza pomiarami wykonanymi w CIOR /dla 12 sztuk otrzymanych z IFJ-Kraków/, badań ZZUJ "Polon" w Bydgoszczy [4]. Ze sprawozdania obejmującego dokładne pomiary 200 detektorów spiekanych w IFJ wynika, że odchylenie maksymalne od wartości średniej przy pomiarach dawek ekspozycyjnych 100 mR wynosi + 49%, -45%; a współczynnik wariancji $\pm 11,7\%$.

Kontrola dawek na palcach rąk przy użyciu TLDP

Od sierpnia 1971 roku TLDP stanowi, obok dawkomierza fotometrycznego noszonego na piersi i TL dawkomierza [3] noszonego w różnych miejscach na powierzchni ciała, stałe wyposażenie członków ekip dozymetrycznych Służby Awaryjnej CIOR. TLDP i ADP odczytywane są po każdej akcji awaryjnej, w jakiej dozymetryści CIOR biorą udział, a dawkomierz fotometryczny odczytuje się w okresach przewidzianych w kontroli rutynowej. Wyniki pomiarów noszenia wymienionych dawkomie-

rzy podczas dwu akcji awaryjnych zestawiono w tabl.1. W ostatniej rubryce podano dla porównania wartości dawek zmierzonych na piersiach dozymetrystów w czasie kwartalnego noszenia przez nich w tym okresie dawko-
mierzy fotometrycznych.

Przygotowano także pierwszą partię 100 sztuk TIDP w celu wprowadzenia ich do kontroli okresowej . W roku bieżącym kontrolą narażenia rąk objęci zostaną pracownicy zatrudnieni przy aplikatorach radowych w Instytucie Onkologii w Warszawie i pracownicy Szpitala Bielańskiego rozdozowujący roztwory J-131, J-132 i Tc-99.

Rodzaj detektora jaki zostanie w przyszłości użyty w TIDP do kontroli okresowej narażenia rąk zależy będzie od jakości spieków fluorku litowego otrzymanych z IFJ-Kraków. Jeśli rozrzut w jednorodności pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami detektorów nie będzie przekraczał 20% TIDP-2 zastąpią TIDP-1 w pomiarach dawek od promieniowania gamma.

LITERATURA

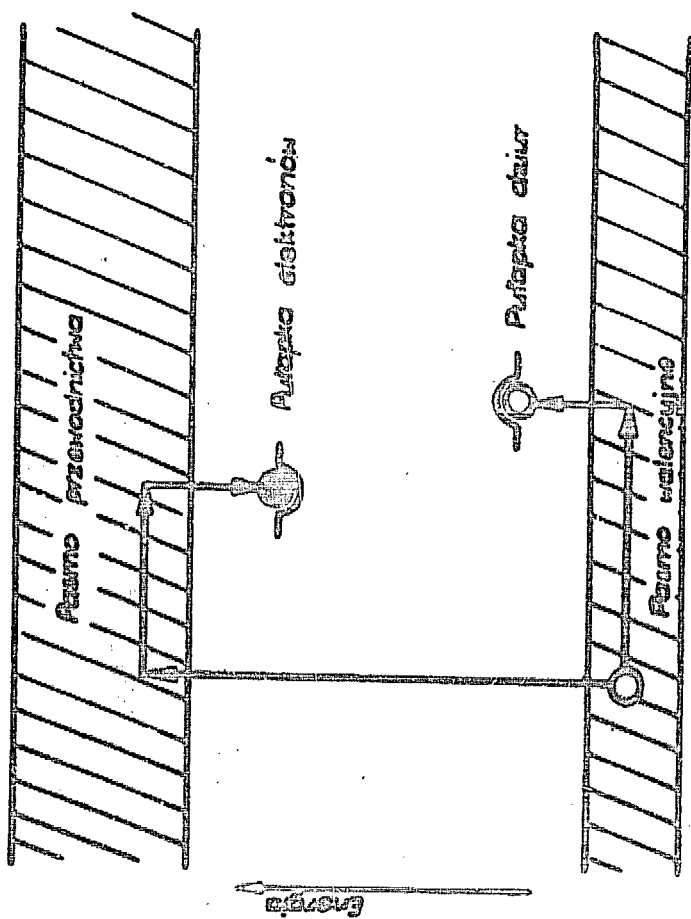
1. Cameron J.R., Suntharalingam M., Kenney G.N.; Thermoluminescent Dosimetry, The University of Wisconsin Press /1968/.
2. Roman J., Wolska-Witer M.; Reuse of Lithium Fluoride Thermoluminescent Dosimeters, Symp. on Nuclear Electronics and Radioprotection, March 4-5, Toulouse, France /1968/.
3. Koczyński 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.
4. Wóźny A.: Detektor termoluminescencyjny osobisty. Sprawozdanie do użytku służbowego Z.U.D. - Bydgoszcz 10 stycznia 1972.

PODZIĘKOWANIE

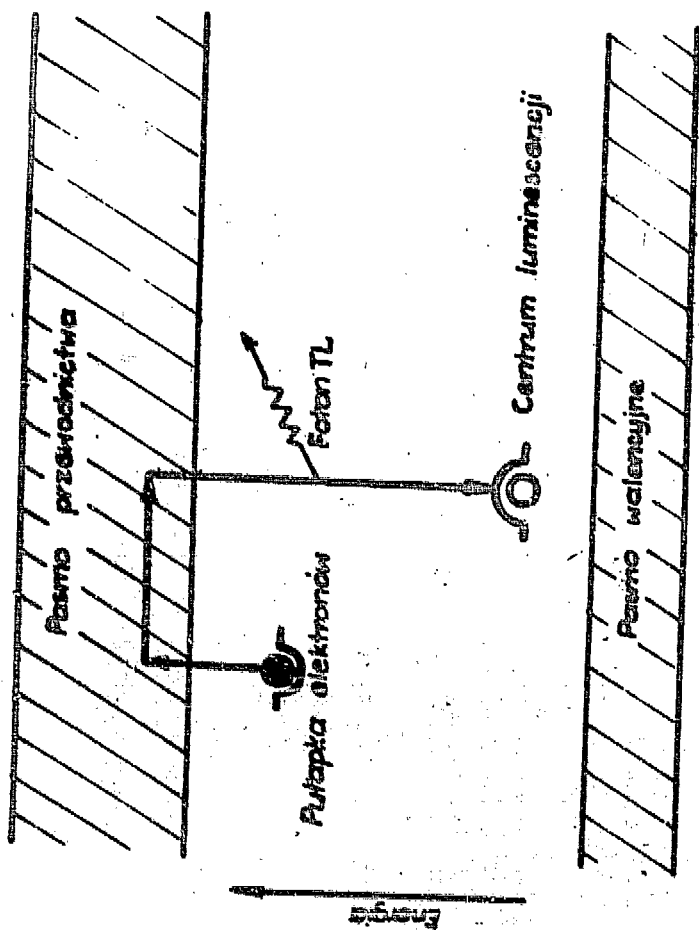
Autorzy dziękują Panom: dr inż. T. Niewiadomskiemu za udostępnienie monokryształów i spieków LiF z Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, dr inż. J. Peńsko z Instytutu Badań Jądrowych, dr inż. B. Gwiazdowskiemu, dr inż. T. Wardaszko i mgr inż. J. Wysopolskiemu z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, za cenno uwagi oraz Panu W. Blochowi za życzliwą współpracę przy wykonywaniu dawkomierzy.

Tablica 1. Odczyt dawkomierzy po 2 akcjach awaryjnych oraz po upływie 1 kwartału / w którym te akcje miały miejsce/.

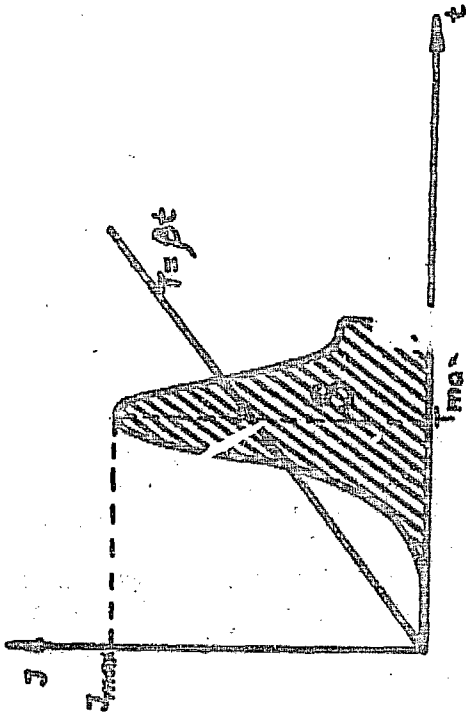
Lp	Dawka ekspozycyjna [mR]		Rodzaj awarii	Odczyt dawkomierza fotometrycznego noszonego 3 miesiące [mR]
	TLDP-1 palec ręk	ADT gonady		
1	2	2	4	5
1	880	30	Zródło Ir-192 o aktywności 3,7 Ci	140
2	19	26	utknęło w przewodzie defektoskopu.	70
3	18	16		90
4	250	120	Zródło Ir-192 o aktywności 20 Ci.	70
5	200	100	Uszkodzenie defektoskopu.	140



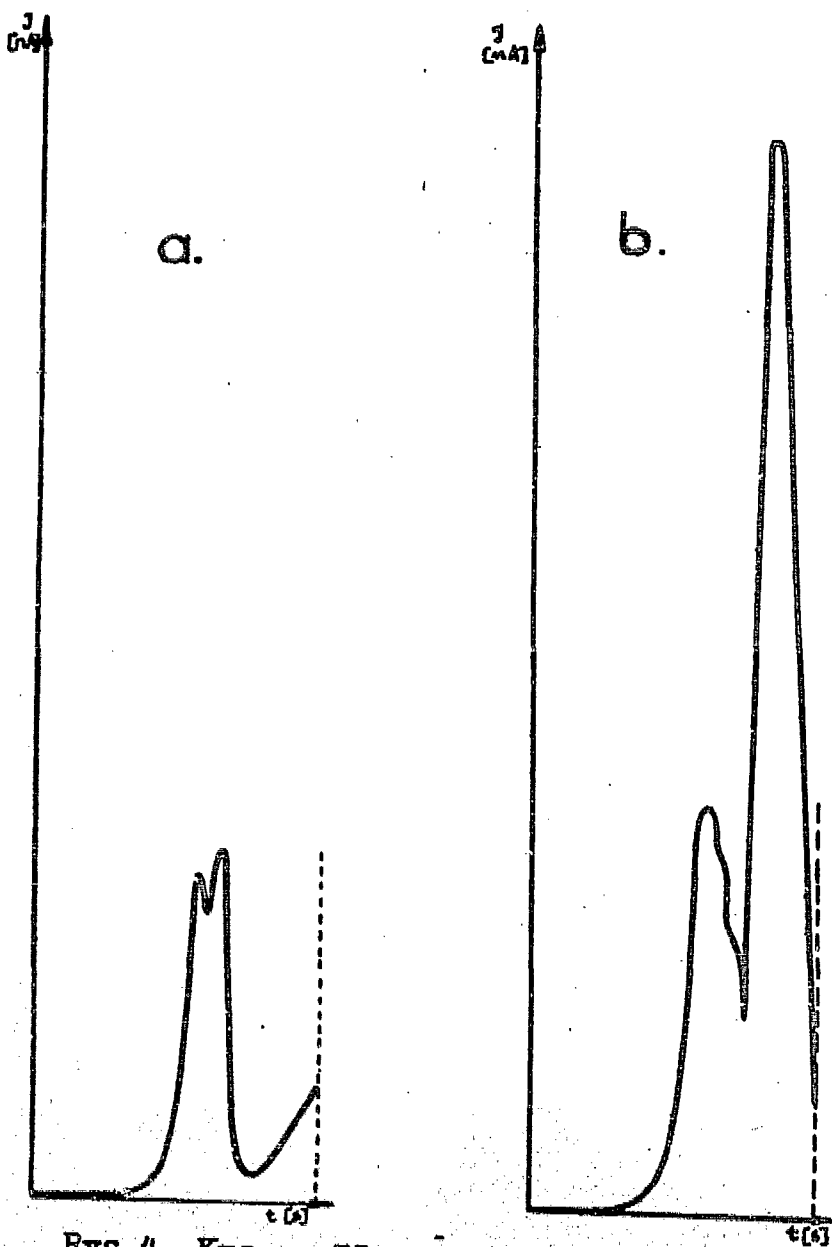
Rys. 1. Przebieg elektronów w czasie napromieniania kryształu.



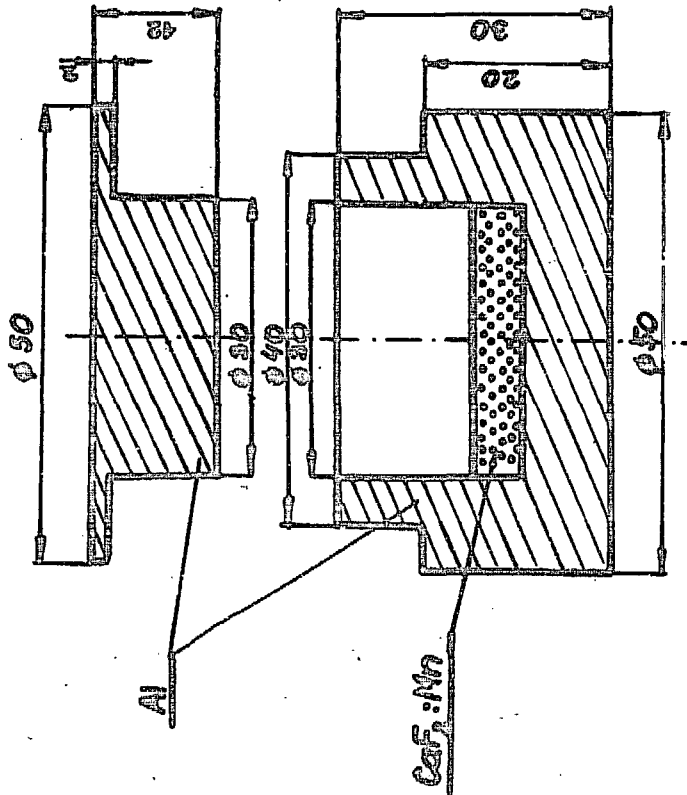
Rys. 2. Przejście elektronów w czasie ogrzewania uprzednio napromienionego kryształu.



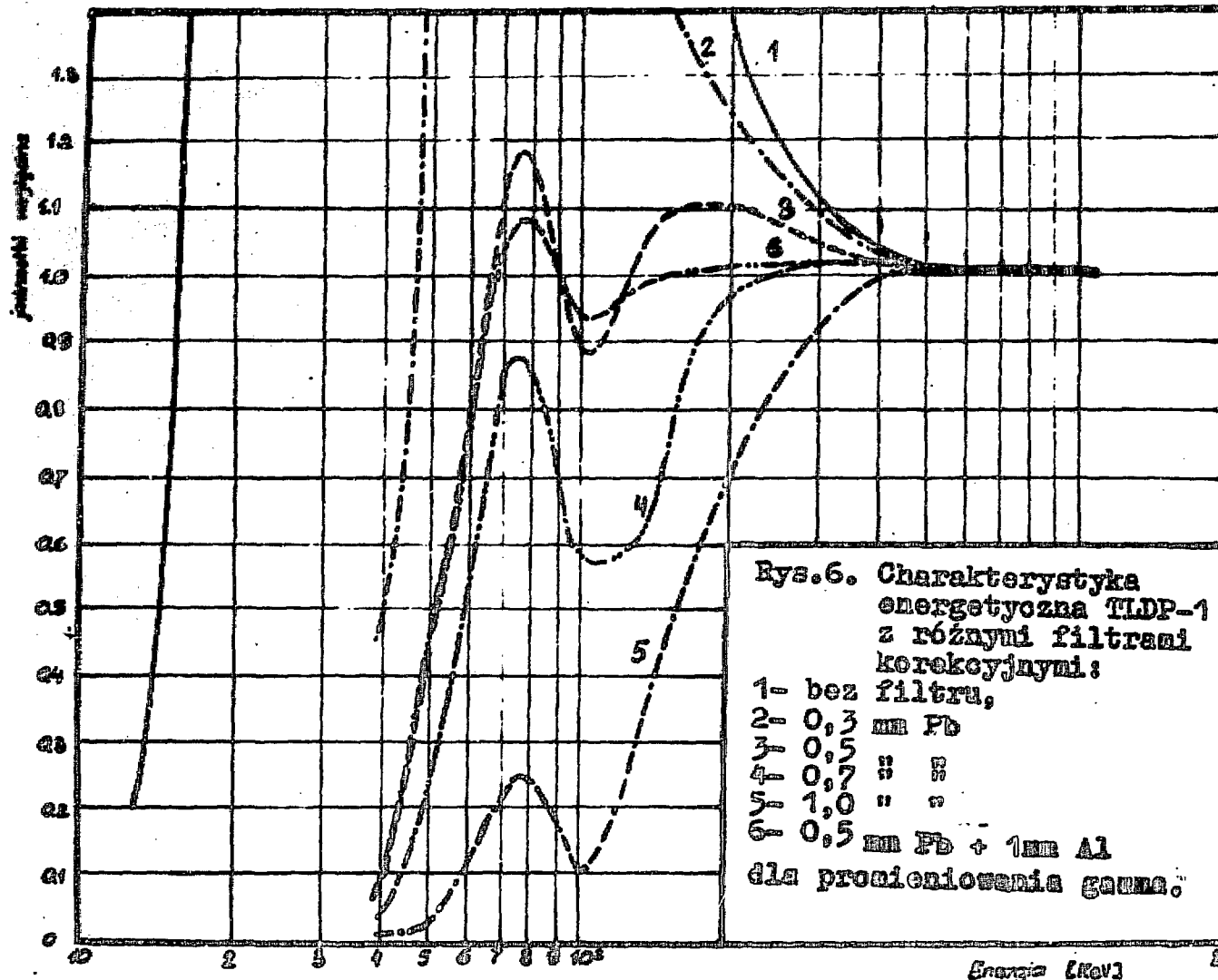
Rys. 3. Charakterystyczna krzywa TL.

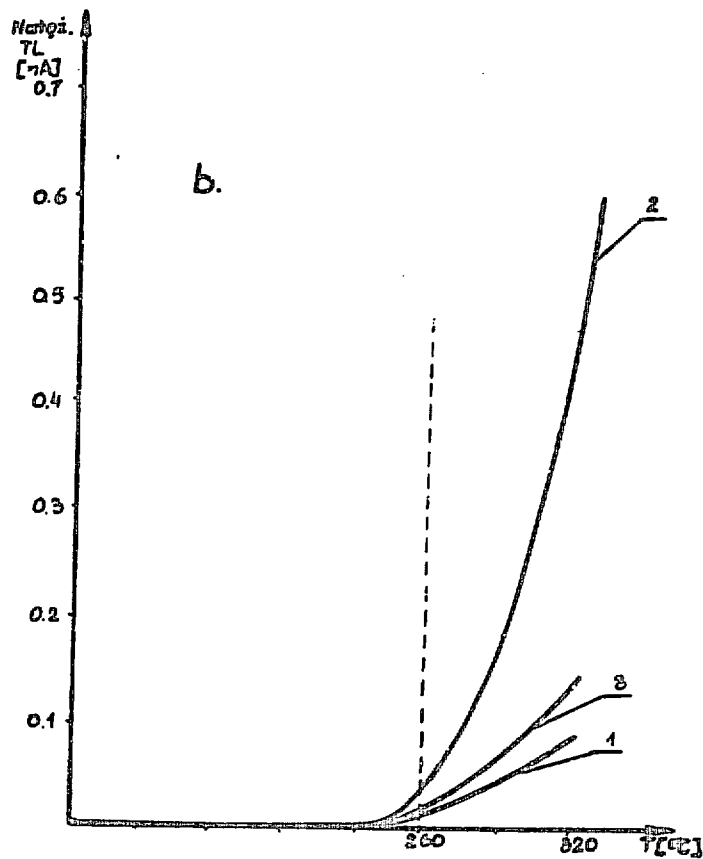
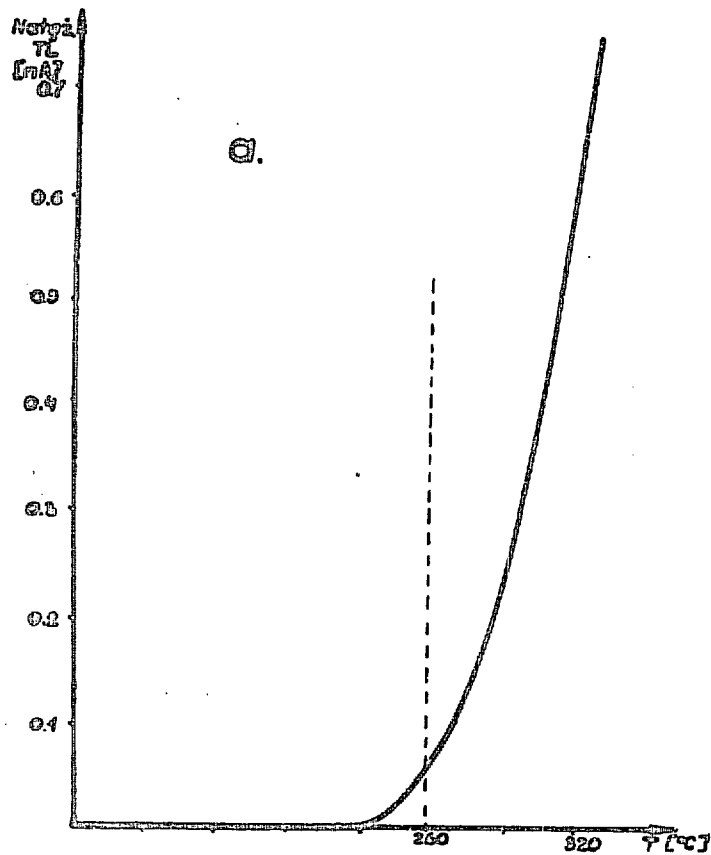


Rys.4. Krzywe TL po napromienieniu mono-
kryształów LiF /IFJ-Kraków/ 100 mR
źródłem Cs-137.
a/ odczyt po 15 min. po napromienieniu,
b/ odczyt po 3 mies. po napromienieniu.



Rys. 5° Pojemnik aluminiowy w FIDP-1





Rys. 7. Krzywe biegu własnego:

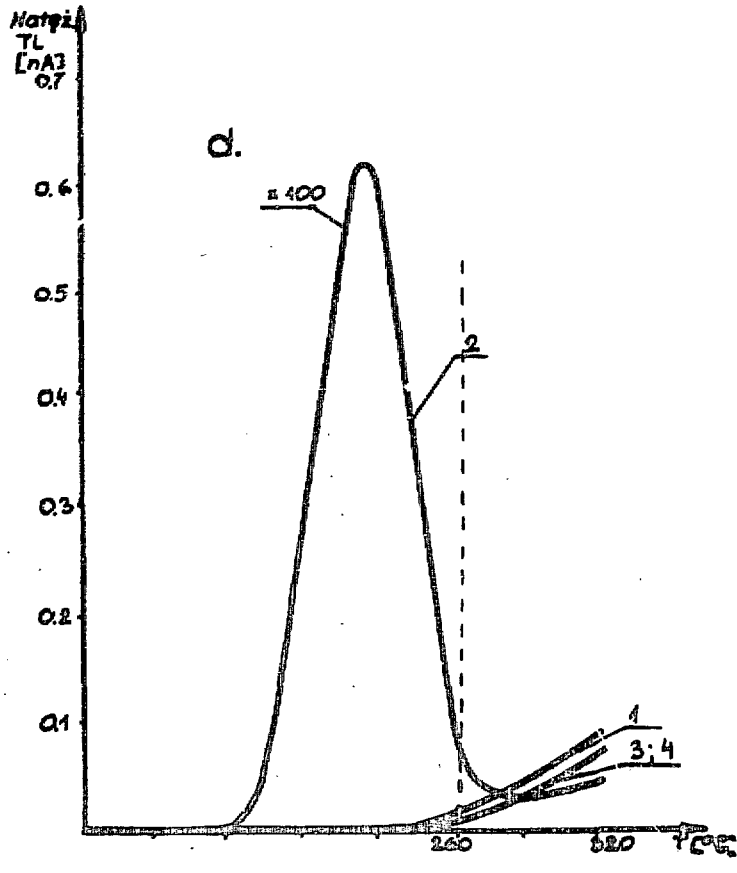
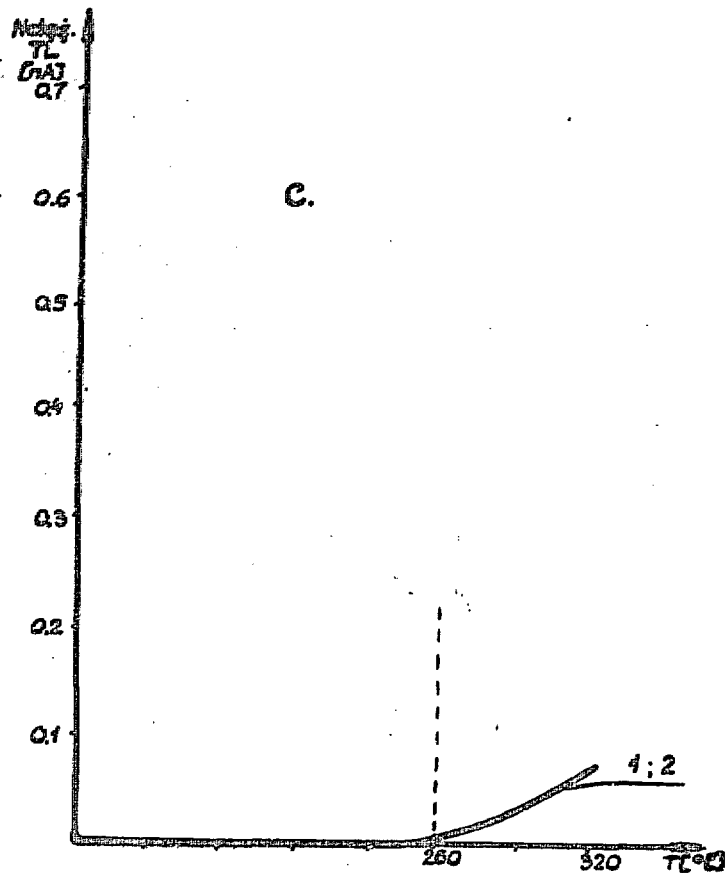
a - samego grzejnika,

b - podstawki aluminiowej:

1 - nowej,

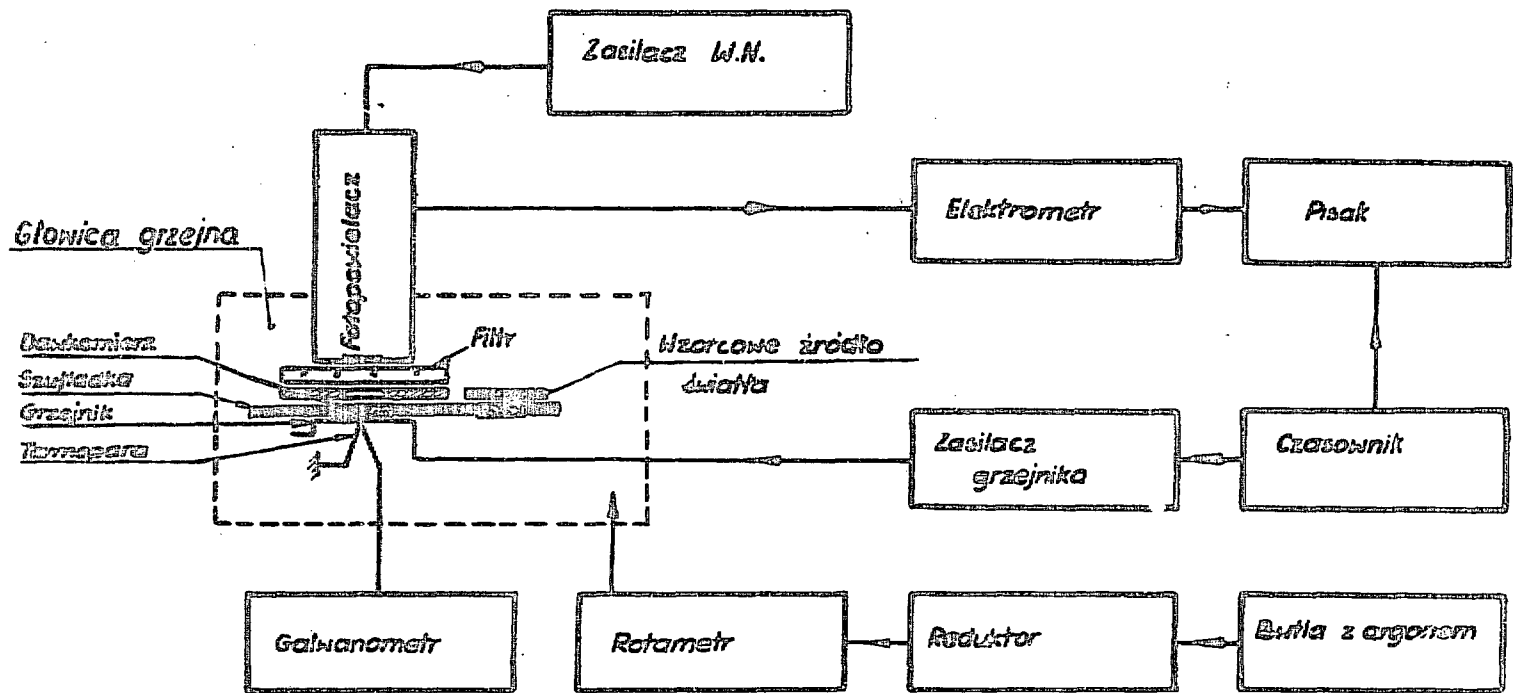
2 - po 6 m-cach /odezyt I/,

3 - po 6 m-cach /odezyt II/,

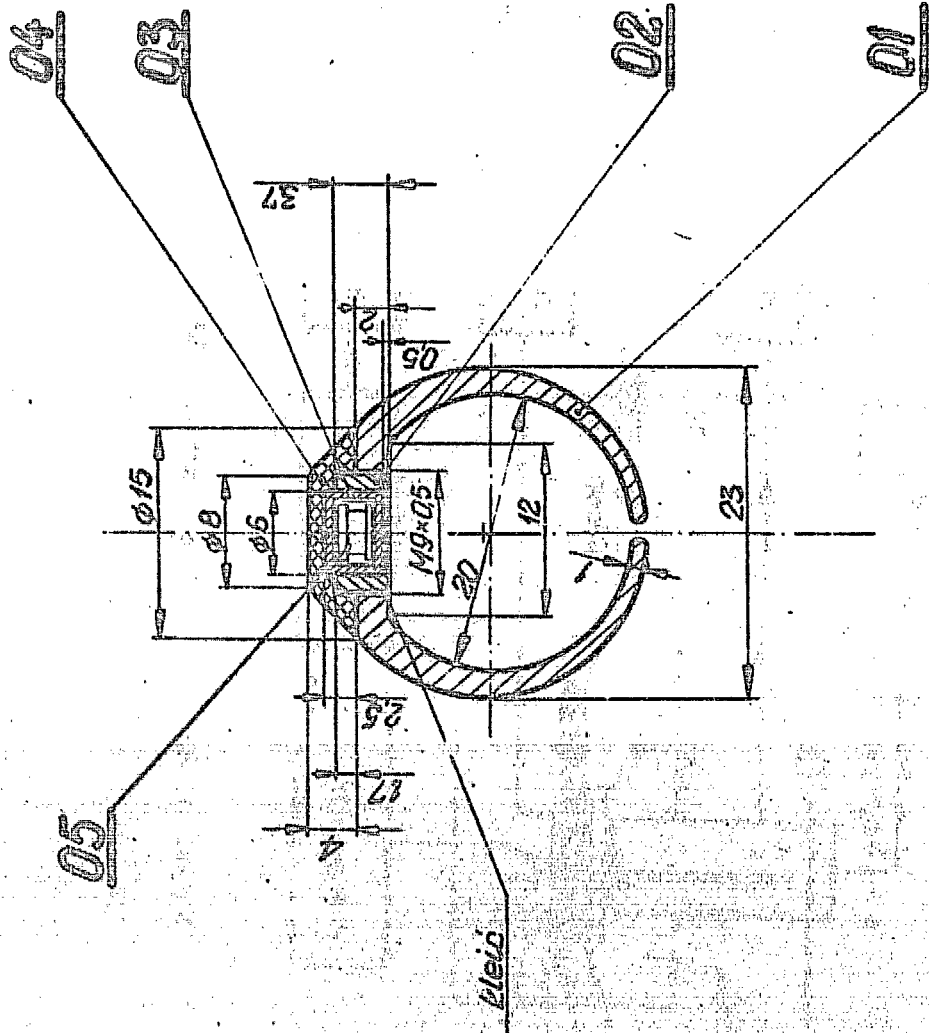


c - podstawki aluminiowej posrebrzonej:
1 - nowej, 2 - po 6 m-cach;

d. - obydwu rodzajów podstawek po napromienieniu ich 50 R Co-60:
1 - podstawki aluminiowej nowej, 2 - po 6 m-cach jej użytkowania, 3 - podstawki Al posrebrzonej nowej i po 6 m-cach.

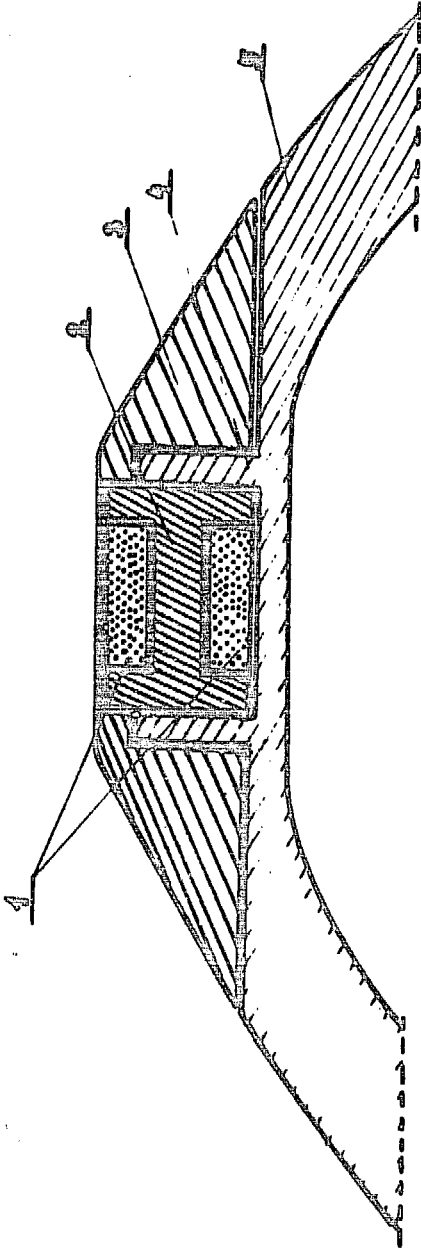


Rys. 8. Schemat blokowy czytnika TL.



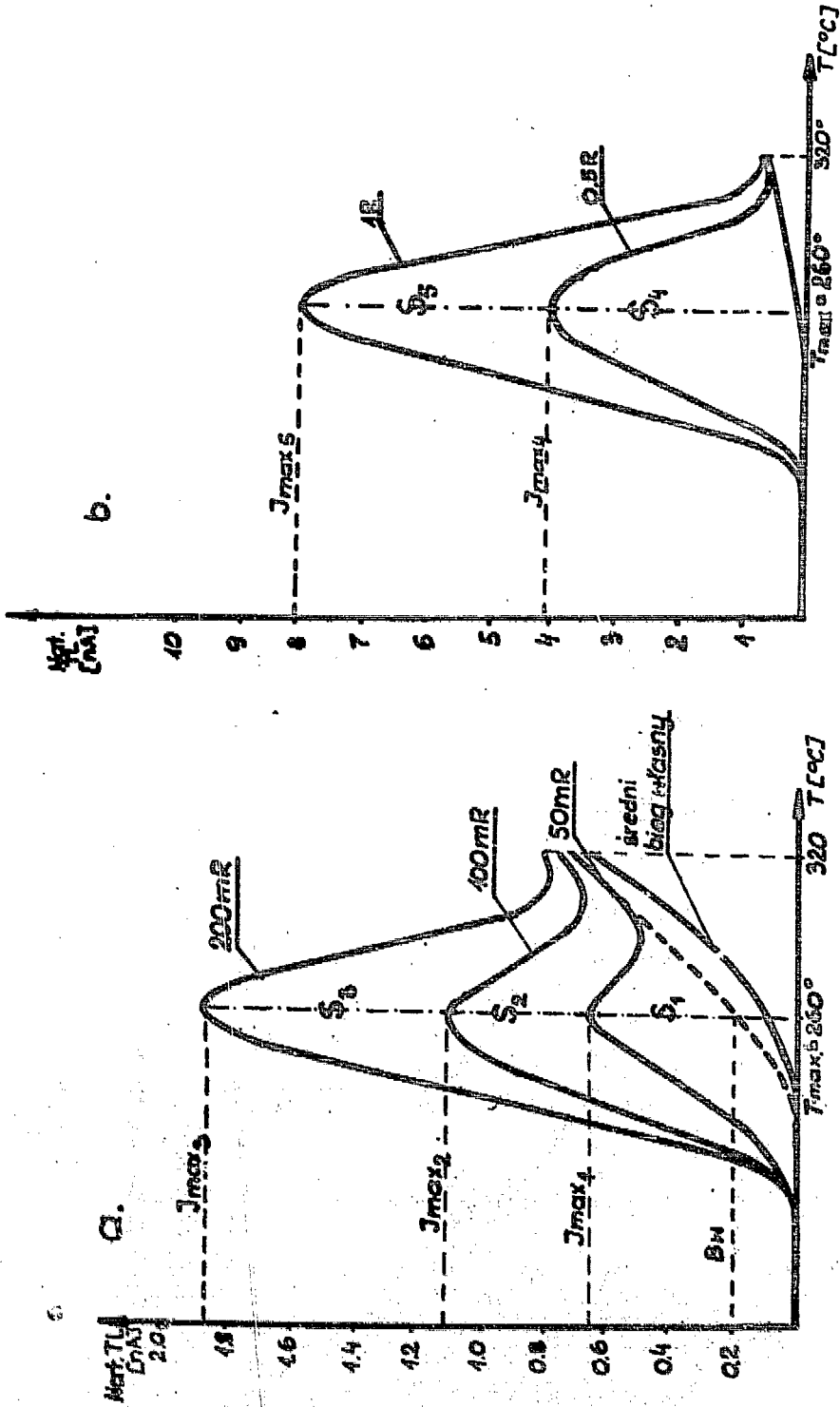
Ny. 7. sudowa HDP-1 :

01 - obręczka z pleksi, 02 - gniazdo pierścionka, 03 - filtr z ołowiu, 04 - nakrętka z winiduru, 05 - pojennik z CaF₂:Mn.



Rys. 10. Budowa TDP-2 :

- 1 - spieki LIP, 2 - wkładka z teflonu, 3 - nakrytka z winidura,
- 4 - gniazdo pierścieniowe, 5 - obręczka z pleksi.



rys. 11. Krzywe TL po napromienieniu MnF_2 -1 różnymi dawkami ekspozycyjnymi /Ra/ :
 a - dla 50, 100 i 200 mR, b - dla 0,5 i 1 R.

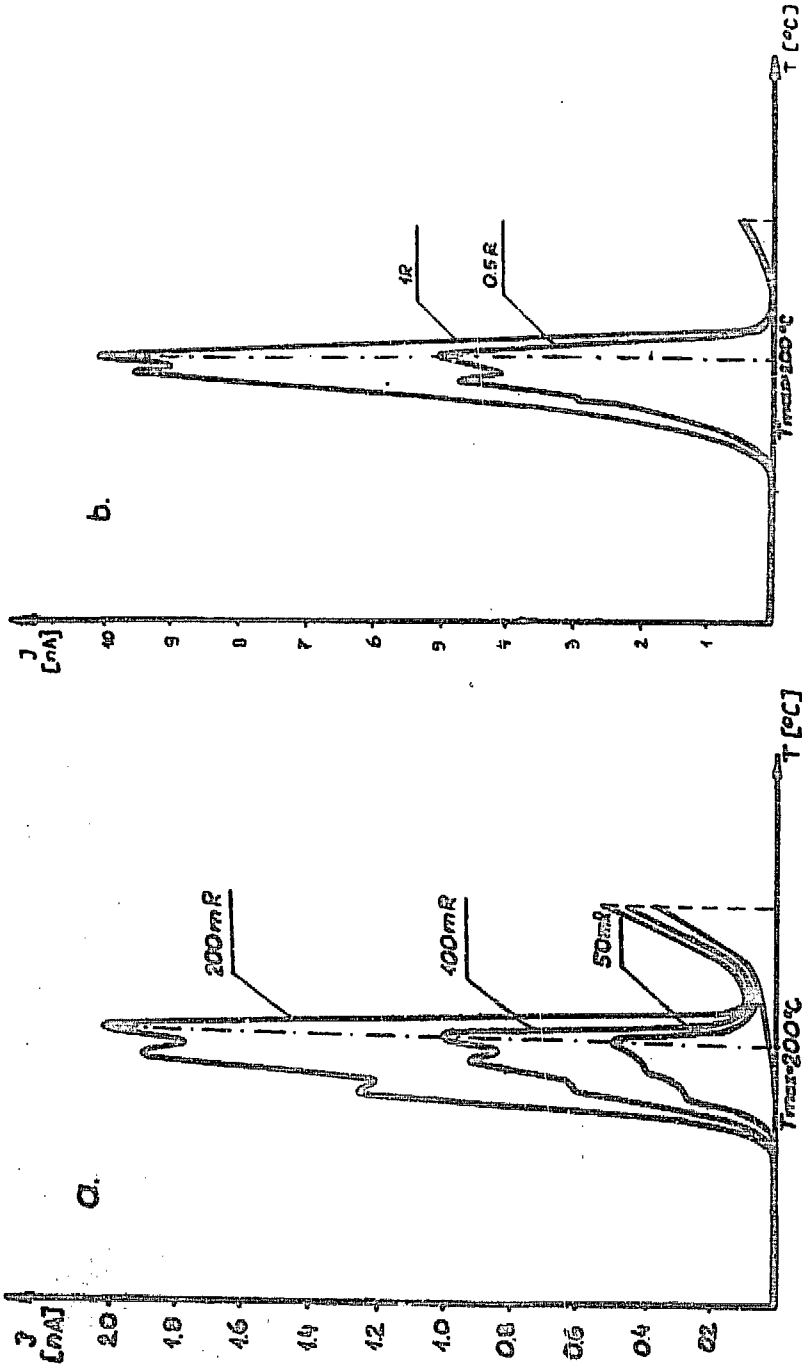


Рис. 12. Кривые ИЛ по направлению ИЛДР-2 разными дозами экспозиции /Ra/.
а - для 50, 100 и 200 мР, б - для 0,5 и 1 R.

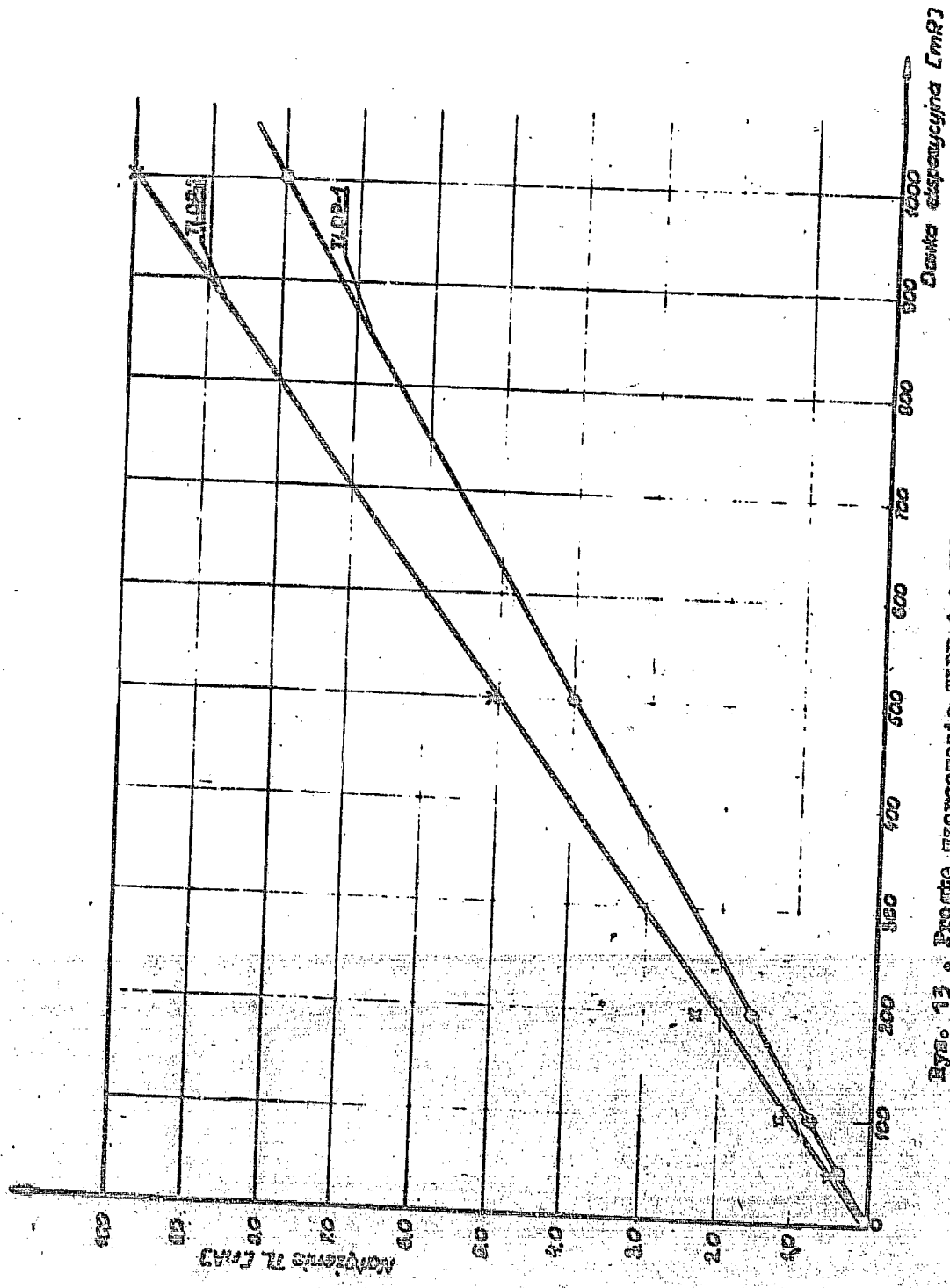
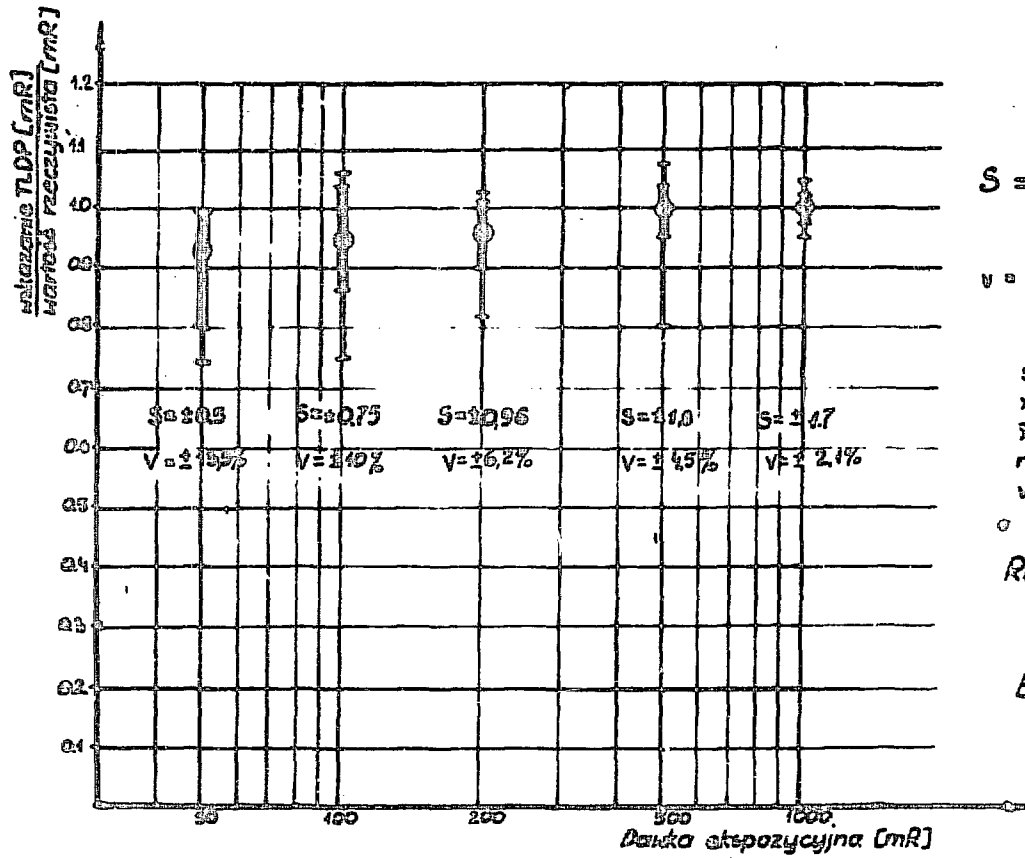
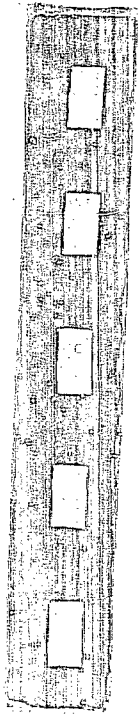


Рис. 13. Проте взрощаваня ИДП-1 и ИДП-2.



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

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

s - odchylenie standardowe

x_i - wartość kolejnego (i) pomiaru

\bar{x} - wartość średnia wszystkich pomiarów

n - ilość pomiarów

v - współczynnik wariacji

Rozrzuty biegów własnych

(dla $D = 0 \text{ mR}$)

$$B_w = (0.11 \pm 0.07) nA$$

Rys. 14. Odchylenia standardowe i maksymalne oraz współczynniki wariacji dla różnych dawek ekspozycyjnych /Ra/ pomierzonych TLDP-1.