

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland.

www.ifj.edu.pl/reports/2000.html
Kraków, grudzień 2000

Raport Nr 1871/D

Laboratorium
Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych
w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie

*P. Bilski, M. Budzanowski, T. Horwacik, B. Marczewska,
T. Nowak, P. Olko, E. Ryba, K. Zbroja*

Abstract:

A new calibration laboratory has been developed at the INP, Kraków, Poland. The laboratory is located in a hall of dimension 9 m (length) x 4 m (wide) x 4.5 m (height). For calibration purposes the Cs-137 source of activity 185 MBq / 5 Ci / is applied, placed in the 16 cm thick lead capsule. The beam is collimated using a collimator with a constant opening of 20°. The source is placed 2 m above the ground to avoid albedo scattering. This source covers a dose rate range from 17 mGy/h to 290 µGy/h. For low-dose calibration 0.05 Ci source is applied. The positioning of the source and opening of the collimator is pneumatically controlled. The dosimeters to be calibrated are placed onto a vehicle with DC motor positioned by PC computer. The vehicle is remotely positioned with the precision of one millimetre at the distance from the source between 1 and 7 meters. The vehicle positioning is controlled electronically and additionally checked via TV-camera. Exact dosimeter positioning is performed with a medical cross-laser and with a telescope device. The construction of the vehicle allows for performing of angular irradiations. On the axis of the vehicle 320 keV Phillips X-ray tube is installed which may be used as an irradiation source. UNIDOS dosimeter with PTW ionisation chambers is used for determination of the dose rate. This calibration stand is designed for calibration of personal dosimeters, calibration of active devices for radiation protections and for research on the newly developed thermoluminescent materials.

1. Wprowadzenie

W Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie od wielu lat prowadzono wzorcowanie przyrządów dozymetrycznych przeznaczonych do nadzoru radiologicznego swoich pracowni izotopowych. Warunki techniczne (małe pomieszczenie i ręcznie obsługiwane źródło) nie pozwalały na prowadzenie kalibracji na szerszą skalę. W latach 1997–1998 utworzono na terenie IFJ nowe laboratorium kalibracyjne do kalibracji przyrządów dozymetrycznych wiązką ze źródła Cs-137 zainstalowanego w obszernej hali pomiarowej. Integralną częścią laboratorium jest ława kalibracyjna z wózkiem zapewniającym swobodę ruchu we wszystkich kierunkach (wzdłuż hali, w poprzek hali, góra – dół oraz obroty). Zarówno wysuwanie źródła do pozycji roboczej, jak również ruch wózka wzdłuż łąwy wykonywane jest automatycznie za pośrednictwem komputera PC umieszczonego w sąsiadującej sterowni. Dodatkowe wyposażenie stanowią kamery wizyjne oraz laser do pozycjonowania. Kalibracja łąwy dokonywana jest za pomocą dawkomierza wzorcowego z komorą jonizacyjną uwierzytelnioną przez Główny Urząd Miar.

2. Opis laboratorium kalibracyjnego

2.1 Opis pomieszczenia

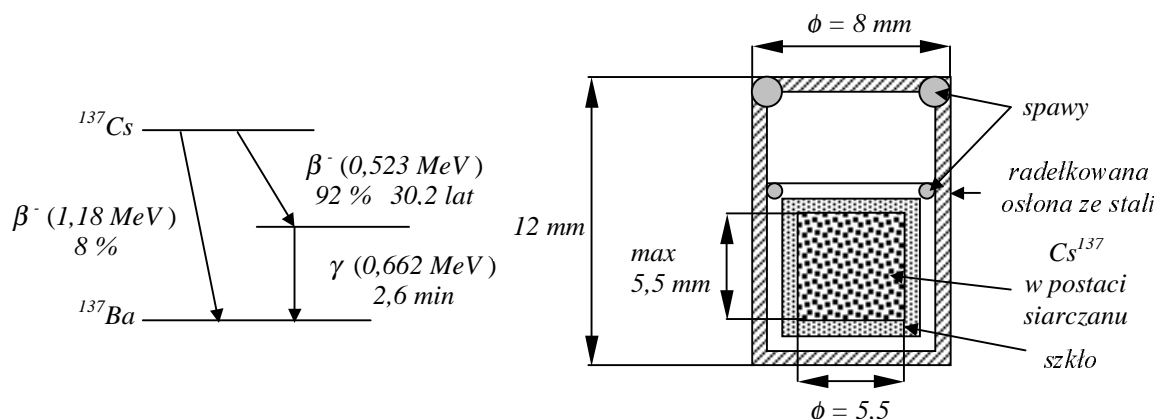
Laboratorium kalibracyjne mieści się na terenie IFJ w wolnostojącym budynku 14, opatrzonym tabliczką “Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych”, którego część należy do Pracowni Fizyki Transportu Promieniowania i Modelowania. Druga część składająca się z trzech pomieszczeń: hali kalibracyjnej, sterowni i antresoli jest użytkowana przez Samodzielna Pracownię Ochrony przed Promieniowaniem, SPOpP.

Hala kalibracyjna jest jasnym, ogrzewanym pomieszczeniem o powierzchni 35 m², wymiarach 8 m x 4,37 m i wysokości 4,9 m. Ściany hali kalibracyjnej są murowane, część jest betonowa, część zbudowana z pustaków. Podłoga wyłożona jest płytkami ceramicznymi. Pomieszczenie posiada trzy duże okna osłonięte roletami. U sufitu zainstalowany jest wentylator o wydajności 1000 m³/h. Mury zewnętrzne osłonięte są dodatkowo murem betonowym o grubości 0.5 m i wysokości 4 m. Hala jest obszarem specjalnie chronionym, tzn. w czasie gdy źródło promieniotwórcze Cs-137 znajdzie się w pozycji roboczej, drzwi wejściowe na halę są zabezpieczone przez zamki elektromagnetyczne, a pomieszczenie jest monitorowane przez detektor ruchu. Część hali zajmuje stanowisko z aparatem rtg. służącym do naświetlań materiału biologicznego.

W celu zapewnienia odpowiedniej dokładności pomiarów w pomieszczeniu hali kalibracyjnej i sterowni powinny panować odpowiednie warunki temperatury, ciśnienia i wilgotności bliskie warunkom normalnym: temperatura 16–24 °C, ciśnienie 860–1050 hPa, wilgotność względna w granicach 40–85 %. Warunki środowiska monitorowane są przy użyciu termohigrobarometru. Wyniki monitorowania zapisywane są automatycznie na dysku komputera PC, połączonego z termohigrobarometrem.

2.2 Źródło promieniowania

W hali kalibracyjnej znajduje się źródło Cs-137 ($E_\gamma = 662 \text{ keV}$, $T_{1/2} = 30,2 \text{ lat}$) produkcji Amersham o aktywności na dzień 18 grudnia 1997 185 GBq (5 Ci). Źródło (rys. 2.1) ma kształt walca, umieszczone jest na dnie aluminiowej rurki i przysypane ołowianym śrutem. Rurka ta zainstalowana jest w ołowianym pojemniku, o grubości ścianek 16 cm, wyposażonym w kolimator o wymiarach 6,5 cm x 7,0 cm x 18,0 cm (wysokość x szerokość x głębokość) i kacie rozwarcia 20° . Pojemnik ze źródłem mieści się na sztywno przymocowanym do podłogi słupie, w połowie wysokości, między podłogą, a sufitem. Wysuwanie i chowanie źródła oraz otwieranie i zamykanie drzwiczek kolimatora odbywa się przy pomocy programu sterującego. W przypadku zaniku napięcia źródło automatycznie jest opuszczane do bezpiecznego położenia, a przesłona zamyka kolimator.



Rys. 2.1 Schemat źródła Cs-137

2.3 Ława kalibracyjna

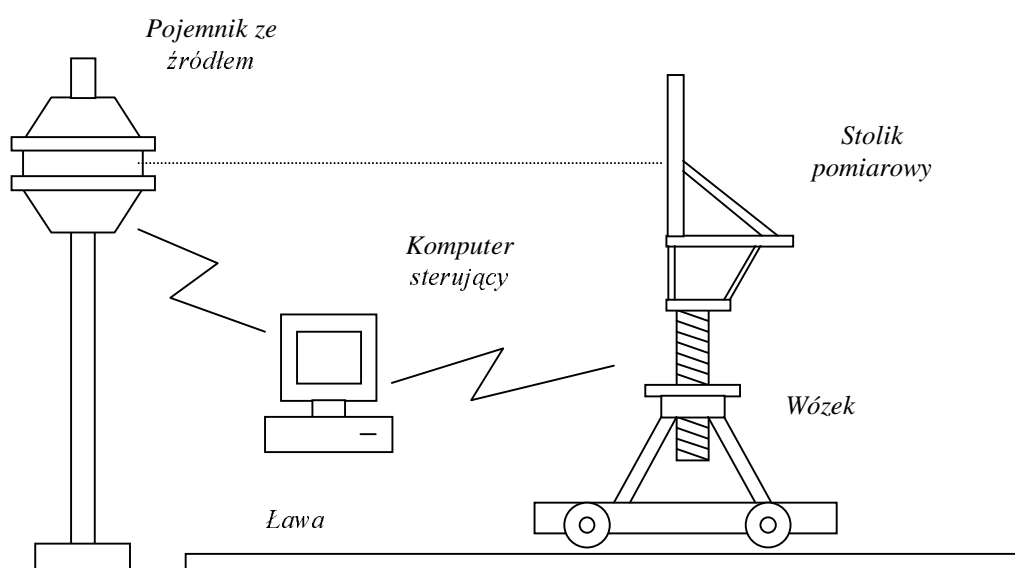
Wzdłuż całego pomieszczenia, równoległe do osi wiązki usytuowana jest ława o długości 7,5 m. Wózek pomiarowy (rys 2.2) porusza się po szynach prowadzących, sztywno przymocowanych do podłogi. Wózek jest pojazdem czterokołowym wyposażonym w ruchomy stolik pomiarowy, na którym umieszcza się kalibrowane lub wzorcowe przyrządy pomiarowe. Położenie stolika pomiarowego można pozycjonować w trzech osiach: poziomej x – prostopadle do osi wiązki i pionowej h z dokładnością do 1 mm wykorzystując odpowiednie śruby, położenie wózka y – w osi równoległej do osi wiązki z dokładnością do 1 mm, a sterowanie ruchem wózka wzdłuż szyn odbywa się z pomieszczenia sterowni za pomocą komputera PC i kamery wizyjnej. Obrót stolika pomiarowego może odbywać się o 360° z dokładnością do 1 stopnia. W pionie stolik pomiarowy może zmieniać swoje położenie w zakresie $h = 50 \text{ cm}$, w osi x natomiast wychylenie jego może wynosić $\pm 15 \text{ cm}$ od pozycji zerowej, czyli od geometrycznego środka ławy. Ruch wózka po szynach odbywa się na odcinku od źródła do przeciwległej ściany, a pozycja wózka zmienia się od $y = 101,3 \text{ cm}$ do $y = 735,0 \text{ cm}$. Ruch wózka może odbywać się z dwoma prędkościami: szybką (53 mm/s), oraz wolną (4 mm/s).

W płaszczyźnie poziomej stolika pomiarowego wykonanej z plexi znajdują się otwory, do

których umocowuje się odpowiednie uchwyty, umożliwiające zamocowanie przyrządów pomiarowych, kontrolnych i wzorcowanych.

Na stoliku pomiarowym wózka zamocowana jest kamera wizyjna pozwalająca obserwować zmianę wskazań przyrządów kontrolnych lub przyrządów wzorcowanych podczas kalibracji.

Na ścianie przeciwległej do kapsuły ze źródłem umieszczony jest laser krzyżowy, sztywno umocowany na ścianie. Po załączeniu lasera oraz po otwarciu kolimatora punkt przecięcia skrzyżowanych pod kątem prostym promieni lasera pada na środek źródła. Po zamknięciu drzwiczek kolimatora punkt przecięcia promieni lasera pada na punkt centralny drzwiczek, oznaczony wyraźnym punktem. Po zamocowaniu przyrządu kontrolnego lub wzorcowanego do stolika wózka punkt przecięcia promieni lasera padający na przyrząd pozwala ustalić precyzyjnie jego właściwe położenie.



Rys. 2.2 Schemat ławy kalibracyjnej

2.4 Sterownia

Pokój sterowni znajdujący się obok hali kalibracyjnej wyposażony jest w trzy komputery PC. Jeden komputer stosowany jest do precyzyjnego sterowania położeniem wózka na ławie, otwierania i zamykania kolimatora, wysuwania i chowania źródła, ustawiania czasu naświetlania. Na jednym z komputerów zainstalowana jest baza danych Labkal pozwalająca zapisywać wyniki wszystkich prowadzonych pomiarów, przywoływać arkusze danych wzorcowych, wypełniać formularze sprawozdań z badań oraz prowadzić bieżącą ewidencję przyjętych do wzorcowania przyrządów dozymetrycznych. Za pomocą trzeciego komputera prowadzony jest bieżący odczyt temperatury, ciśnienia i wilgotności panujących w pomieszczeniu hali kalibracyjnej.

2.5 Aparatura pomocnicza

Dodatkowe wyposażenie hali kalibracyjnej stanowią kontrolne dawkomierze ochrony radiologicznej: elektrometr *Unidos* wyprodukowany przez PTW Freiburg z komorami jonizacyjnymi 1000 cm³ i 30 cm³ (typ: 23361 i 32002) oraz elektrometr firmy Robotron z komorą jonizacyjną 600 cm³. Urządzenia te posiadają świadectwa uwierzytelnienia wydane przez GUM w Warszawie. Za pomocą uwierzytelnionych dawkomierzy wzorcowych wyznaczane jest wzorcowe pole promieniowania.

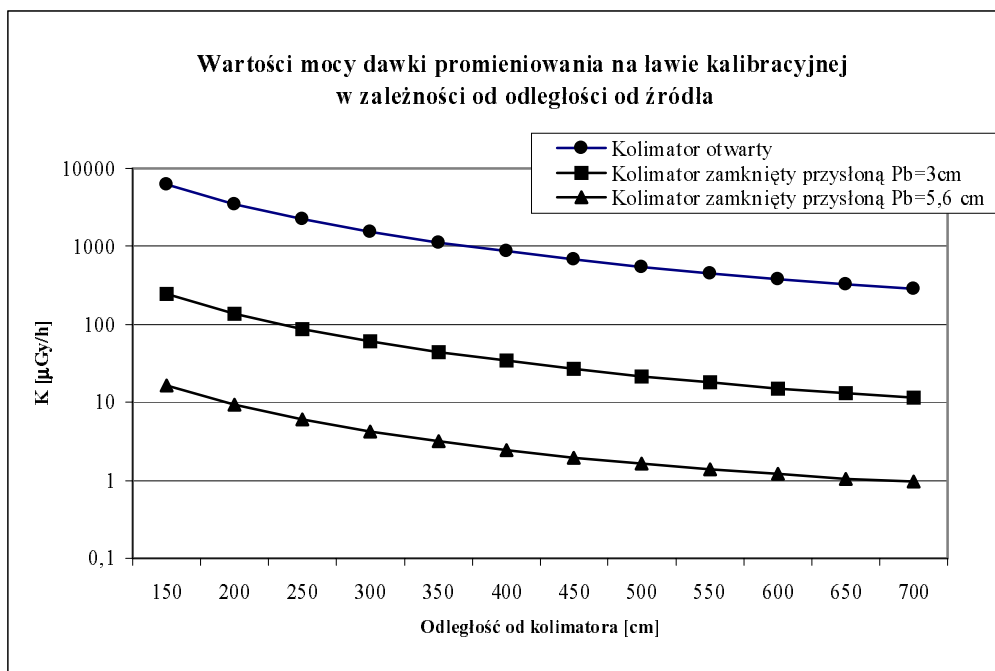
3. Charakterystyka wiązki

3.1 Rozkład mocy dawek na długości ławy kalibracyjnej

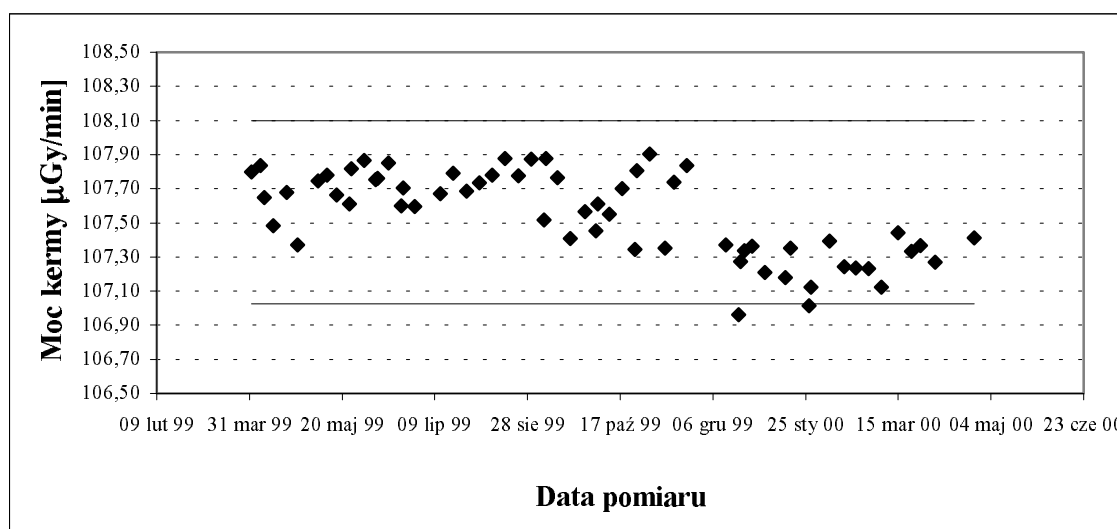
Rozkład mocy dawek na długości ławy kalibracyjnej wyznaczany jest regularnie co sześć miesięcy. Pomiar ten polega na tym, że przyrząd kontrolny umieszcza się na stoliku pomiarowym wózka jeżdżącego po ławie. Wysuwając źródło i zmieniając odległość przyrządu kontrolnego od źródła wyznacza się wartości mocy kermy w powietrzu na długości ławy. Pomiary te wykonuje się dla odległości 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 cm od źródła.

Pomiary rozkładu mocy dawki na długości ławy przeprowadzane są za pomocą komory 1000 cm³ współpracującej elektrometrem *Unidos*. Pomiary sprawdzające wykonuje się co tydzień małą komorą 30 cm³ na wybranych odległościach od źródła – 150 i 300. Pomiary porównawcze obu komór przeprowadza się raz na dwa miesiące.

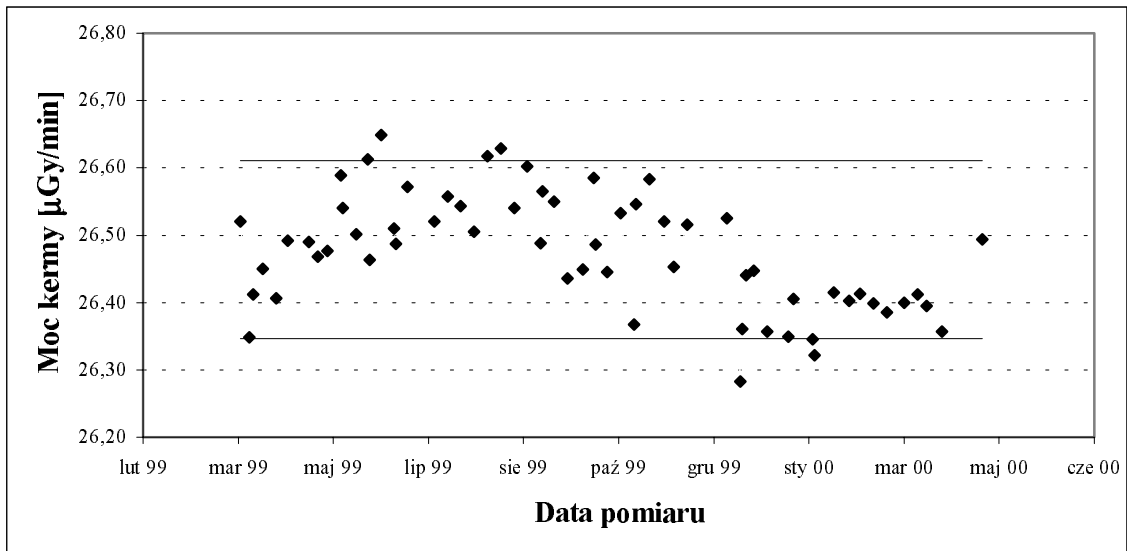
W celu rozszerzenia zakresu mocy dawek możliwych do uzyskania na ławie kalibracyjnej stosuje się przesłony wykonane z ołowiu. Jedną z nich o grubości 3 cm stanowi drzwiczki kolimatora, druga o grubości 2,6 cm ma kształt wycinka sfery. Pomiar rozkładu mocy dawki na długości ławy przeprowadza się przy wysuniętym źródle dla otwartego kolimatora, zamkniętego kolimatora (przesłona o grubości 3 cm) oraz zamkniętego kolimatora i dodatkowej przesłony (łączna grubość przesłon 5,6 cm). Dzięki stosowanym przesłonom na ławie kalibracyjnej można uzyskać moc dawki w zakresie od 1 μGy/h do 10 mGy/h.

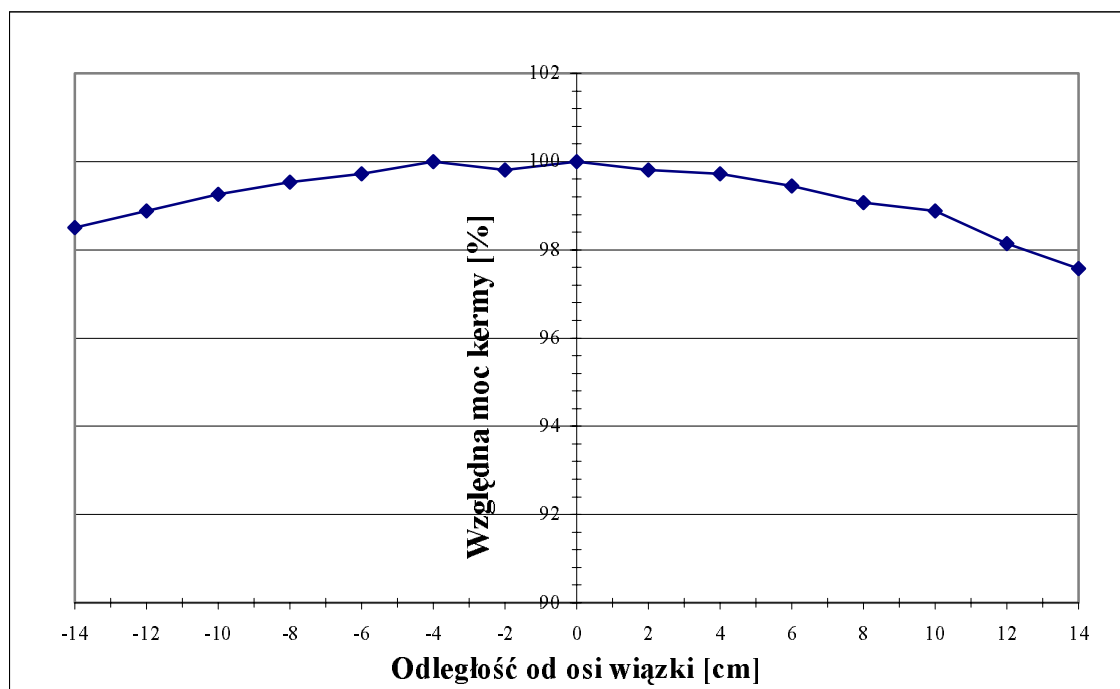


Rys.3.1. Zależność mocy kermy promieniowania wzdłuż osi wiązki, od odległości od źródła, przy kolimatorze otwartym i zamkniętym przysłoną Pb o grubości 3 cm i 5,6 cm (18.04.2000, pomiar elektrometrem UNIDOS z komorą PTW 1000 cm³, typ 32002)



Rys. 3.2 Wartości mocy kermy w odległości 150 cm od źródła korygowane na czas połowicznego rozpadu Cs-137. Linie ciągłe wyznaczają obszar odchylenia od wartości średniej $\pm 0,5\%$ (pomiar elektrometrem UNIDOS z komorą PTW 30 cm³ typ 23361)



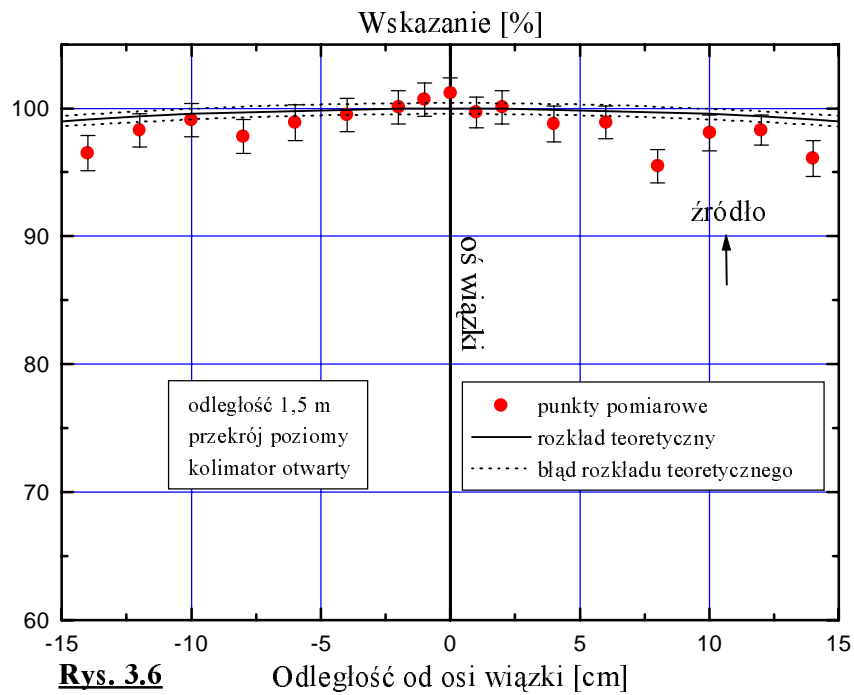


Rys. 3.5 Rozkład mocy kermy promieniowania w osi pionowej wiązki w odległości 150 cm od źródła w zależności od odległości od osi wiązki (pomiar komorą PTW 30 cm³ typ 23361)

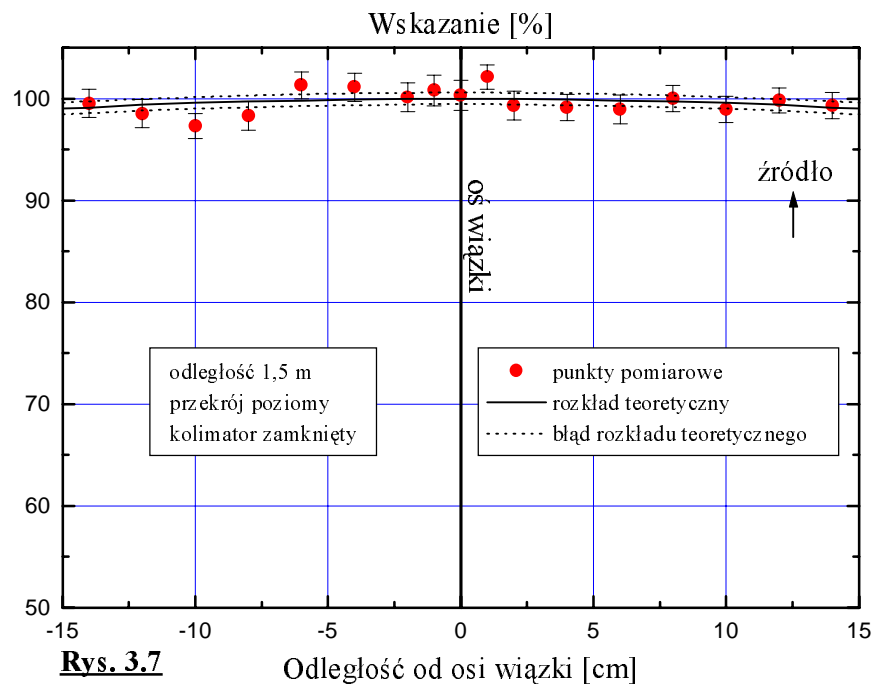
3.2 Badanie rozkładów mocy kermy metodą dozymetrii TL

W pomiarach geometrii wiązki na stanowisku kalibracyjnym wykorzystano detektory termoluminescencyjne LiF:Mg;Cu;P (nazwa handlowa MCP-N) opracowane w Instytucie Fizyki Jądrowej. Pomiar przeprowadzono w różnych odległościach od źródła, przy otwartym i zamkniętym kolimatorze. Przykładowe przekroje przez wiązkę przedstawiają rys. 3.6 – 3.17. Wskazania dawkomierzy znormalizowano do średniej ze wskazań dawkomierzy umieszczonych w osi wiązki promieniowania. Teoretyczny rozkład wskazań wyznaczono przy założeniu, że moc dawki od punktowego źródła Cs-137 nie zmienia się przy stałej odległości poszczególnych detektorów od źródła.

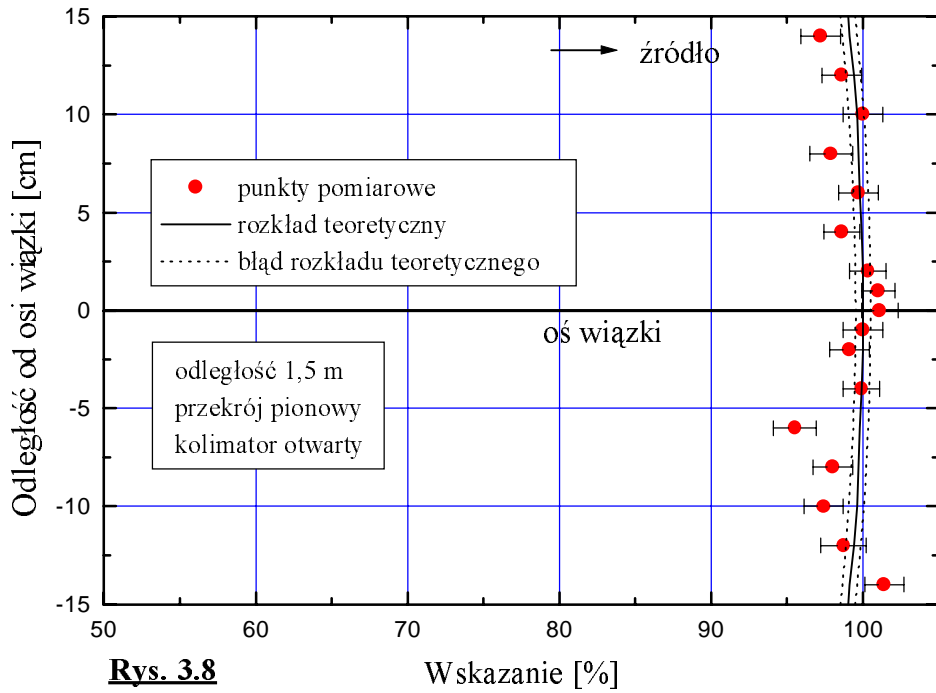
Odległość 1,5 m



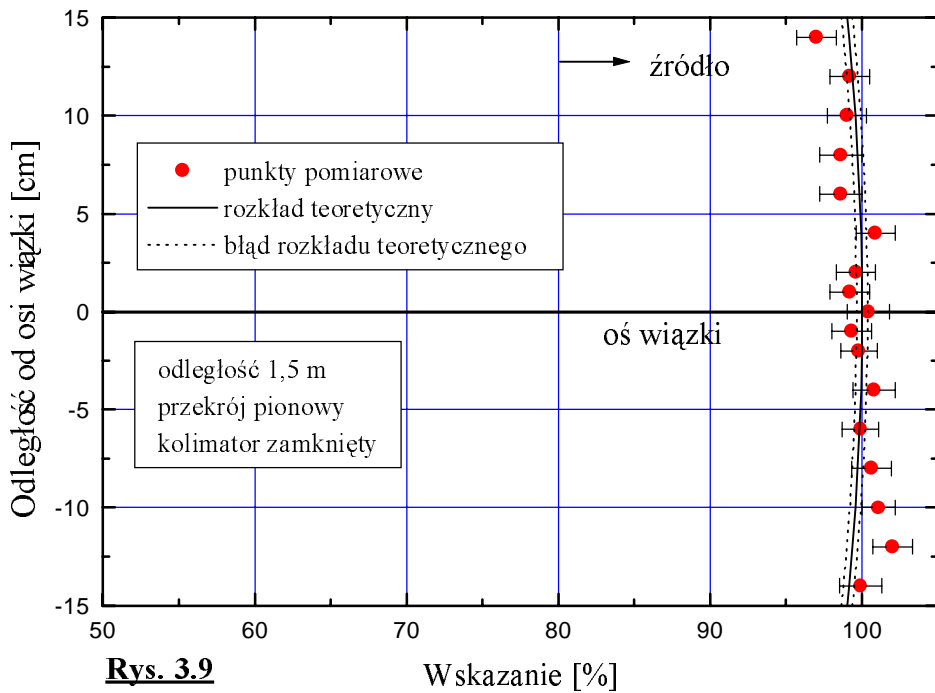
Rys. 3.6 Poziomy przekrój przez wiązkę – odległość 1,5 m, kolimator otwarty (pomiar TLD)



Rys. 3.7 Poziomy przekrój przez wiązkę – odległość 1,5 m, kolimator zamknięty (pomiar TLD)

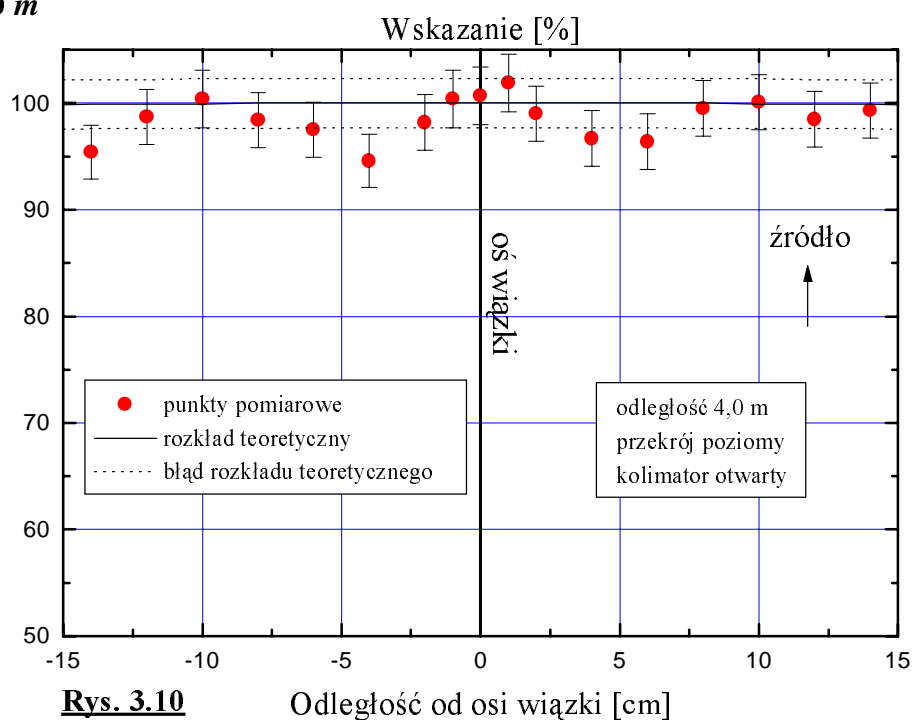


Rys. 3.8 Pionowy przekrój przez wiązkę – odległość 1,5 m, kolimator otwarty (pomiar TLD)

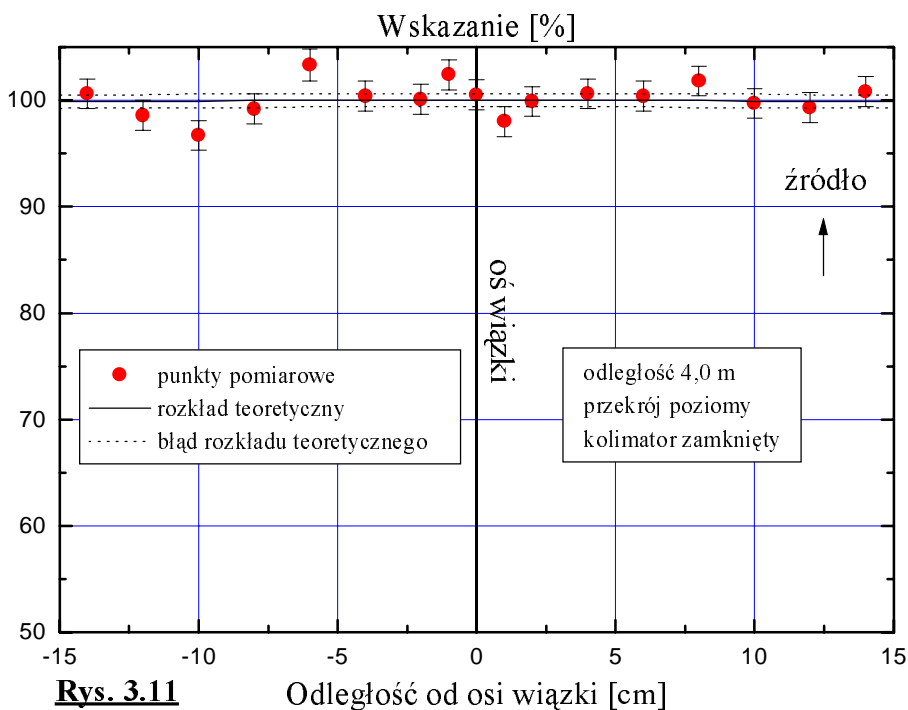


Rys. 3.9 Pionowy przekrój przez wiązkę – odległość 1,5 m, kolimator zamknięty (pomiar TLD)

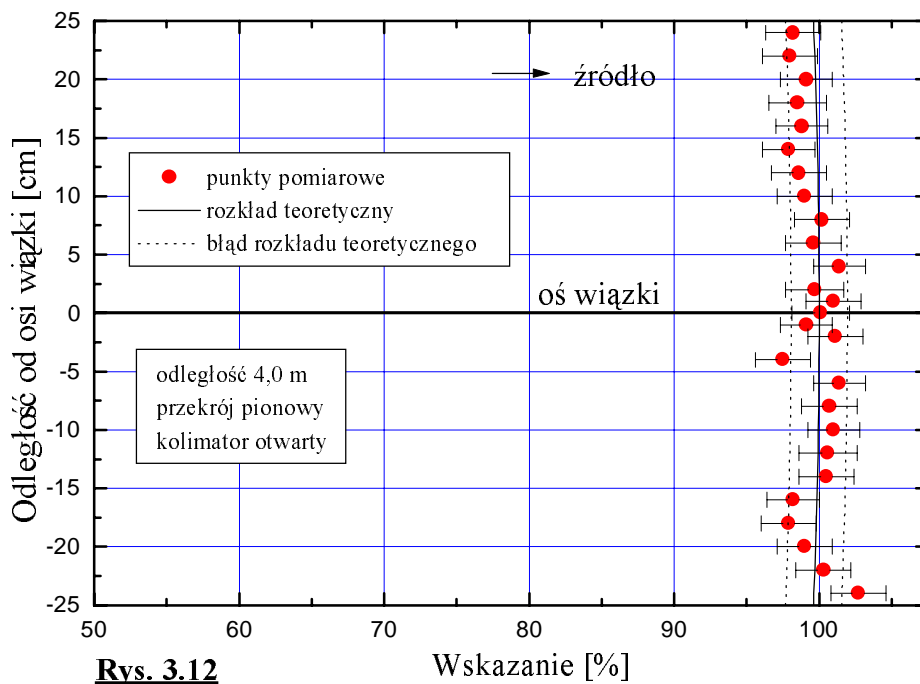
Odległość 4,0 m



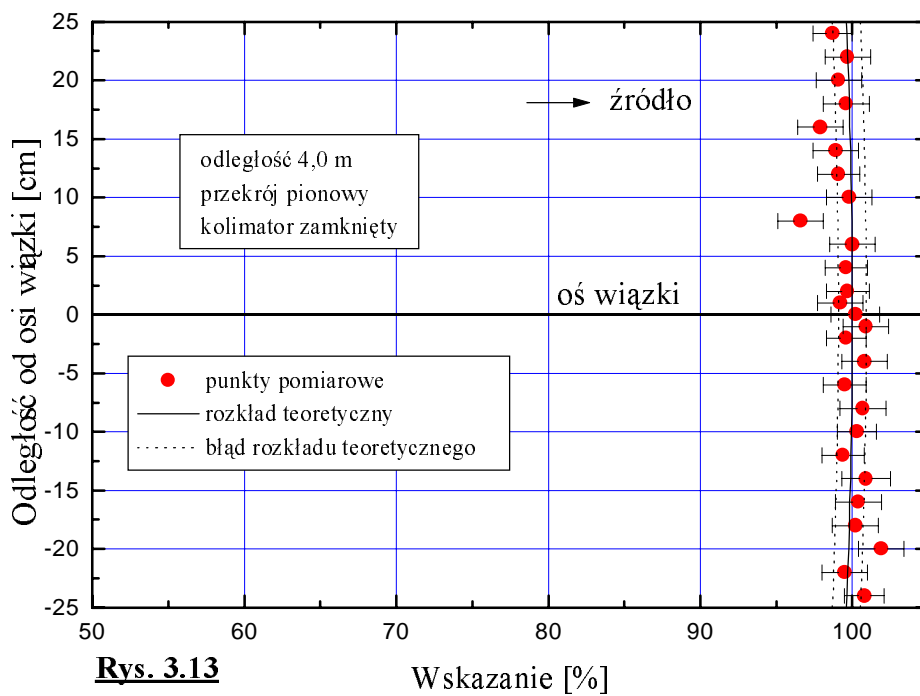
Rys. 3.10 Poziomy przekrój przez wiązkę – odległość 4,0 m, kolimator otwarty (pomiar TLD)



Rys. 3.11 Poziomy przekrój przez wiązkę – odległość 4,0 m, kolimator zamknięty (pomiar TLD)

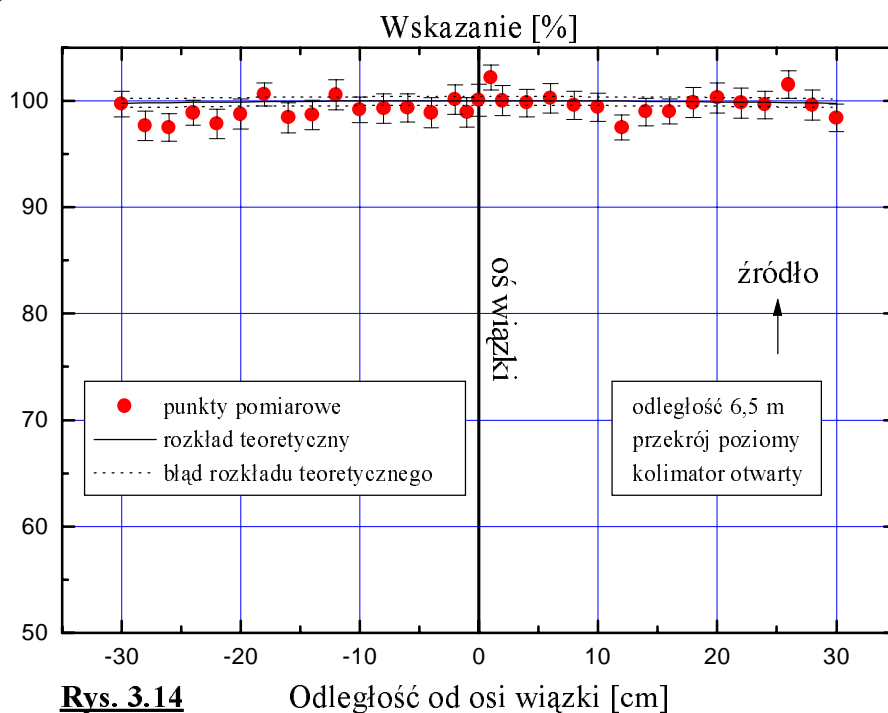


Rys. 3.12 Pionowy przekrój przez wiązkę – odległość 4,0 m, kolimator otwarty (pomiar TLD)



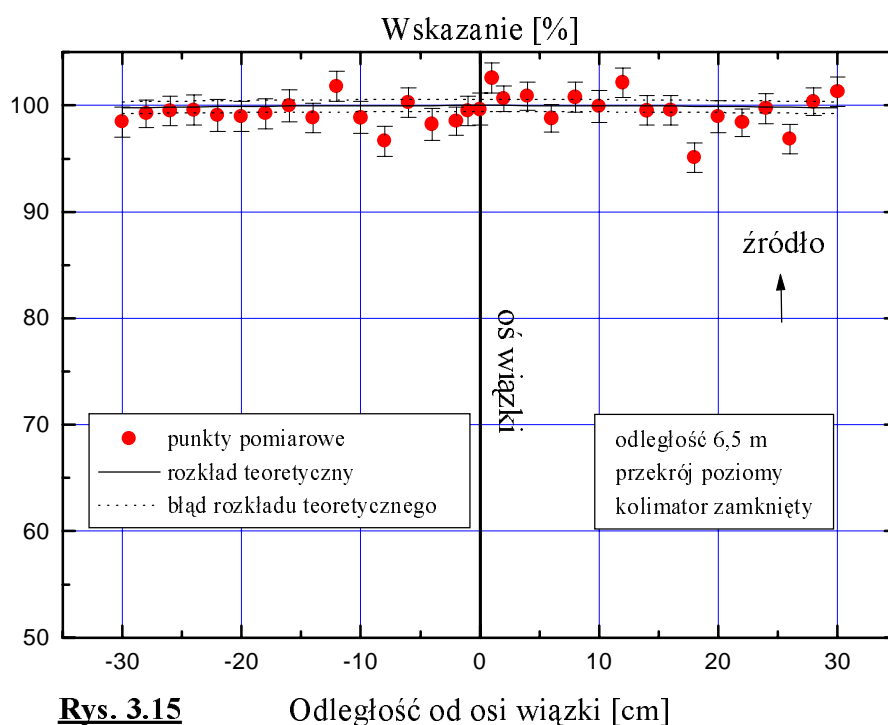
Rys. 3.13 Pionowy przekrój przez wiązkę – odległość 4,0 m, kolimator zamknięty (pomiar TLD)

Odległość 6,5 m



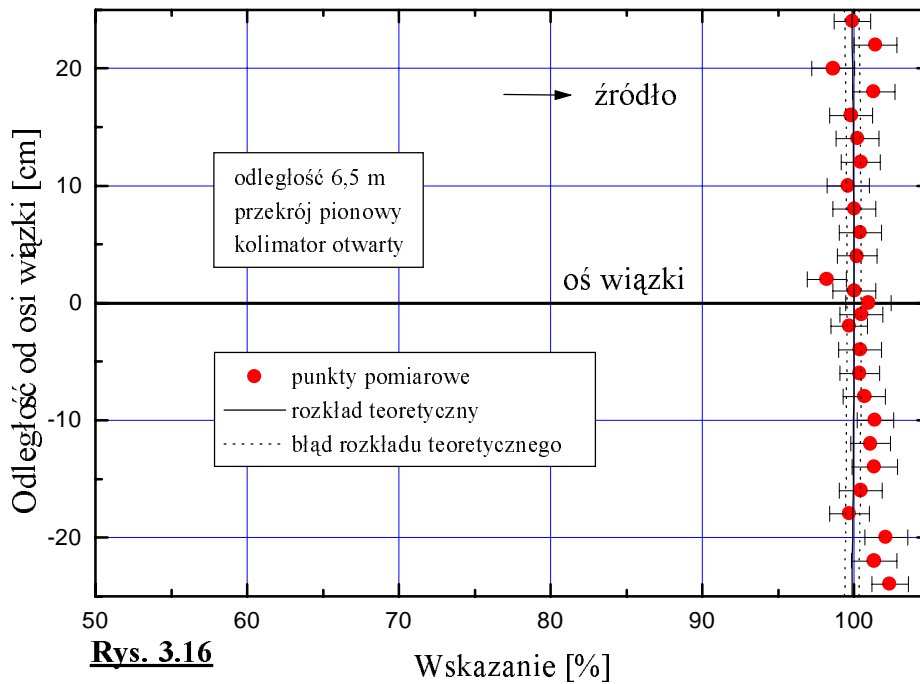
Rys. 3.14 Odległość od osi wiązki [cm]

Rys. 3.14 Poziomy przekrój przez wiązkę – odległość 6,5 m, kolimator otwarty (pomiar TLD)

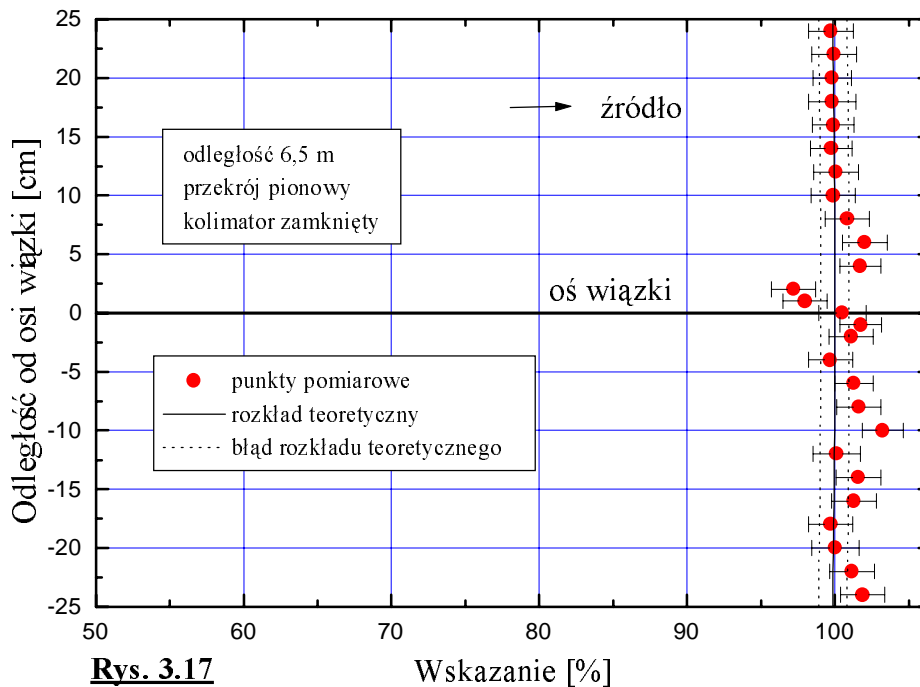


Rys. 3.15 Odległość od osi wiązki [cm]

Rys. 3.15 Poziomy przekrój przez wiązkę – odległość 6,5 m, kolimator zamknięty (pomiar TLD)



Rys. 3.16 Pionowy przekrój przez wiązkę – odległość 6,5 m, kolimator otwarty (pomiar TLD)



Rys. 3.17 Pionowy przekrój przez wiązkę – odległość 6,5 m, kolimator zamknięty (pomiar TLD)

4. Procedura akredytacyjna.

W celu świadczenie usług w zakresie kalibracji przyrządów dozymetrycznych dla użytkowników zewnętrznych w ramach Samodzielnej Pracowni Ochrony przed Promieniowaniem powołano do życia Laboratorium Wzorcowania Przyrządów Dozymetrycznych spełniające wymagania stawiane laboratorium akredytowanemu przez Główny Urząd Miar w Warszawie. Po dopełnieniu formalności wynikających z normy PN – EN 45001 i przewodnika ISO/IEC 25 – 1990 w grudniu 1999 r. złożono w GUM w Warszawie wniosek o udzielenie akredytacji wraz z wymaganą dokumentacją. Obecnie toczy się postępowanie akredytacyjne.

W ramach prac przygotowawczych:

- określono obowiązujące w Laboratorium procedury pomiarowe, według których przeprowadzane są wszelkie działania podczas kalibracji przyrządów dozymetrycznych
- określono schemat personalny i zakres obowiązków wszystkich pracowników Laboratorium
- napisano Księgę Jakości, która jest udokumentowaniem działającego w Laboratorium systemu zapewnienia jakości
- sporządzono spis elementów wyposażenia pomiarowego i badawczego, nadając numery identyfikacyjne wszystkim przyrządom pomiarowym
- określono system kontroli stanowiska pomiarowego za pomocą wypełniania określonych procedur
- dokonano formalizacji wszystkich dokumentów, zarówno tych, które wydawane są zleceniodawcy (świadcstwo uwierzytelnienia dla wykalibrowanego przyrządu), jak i tych dotyczących wewnętrznej obsługi stanowiska.

5. Kalibracja przyrządów dozymetrycznych.

W laboratorium kalibracyjnym przeprowadza się wzorcowanie mierników promieniowania (mierników mocy dawki promieniowania, a także mierników skażeń promieniotwórczych) oraz sygnalizatorów progowych, zarówno produkcji polskiej, jak i zagranicznej. Wyróżnić można tutaj dwa rodzaje mierników:

- Mierniki z wbudowanym detektorem własnym (najczęściej są to: EKO–C, EKO–D, RKP–1–2)
- Mierniki z odpowiednimi sondami pomiarowymi (najczęściej: RUST–2, RUST–3 i inne)

Spośród mierników promieniowania kalibrowanych w laboratorium najwięcej jest mierników mocy dawki promieniowania. Mierniki te, wzorcowane są na ławie kalibracyjnej źródłem Cs–137. Sonda pomiarowa wzorcowanego przyrządu ustawiana jest w osi wiązki promieniowania przy pomocy lasera krzyżowego, zawsze w odległości 150 cm od źródła. Wskazania wzorcowanego przyrządu odczytywane są przez operatora znajdującego się w sterowni przy pomocy kamery telewizyjnej. Wartości te a także aktualne parametry środowiska (wartości: ciśnienia, temperatury, wilgotności), odczytane z termohigrobarometru, zapisywane są w komputerowej bazie danych. Przyrządy dozymetryczne wyskalowane są w

różnych jednostkach. Przeliczenie mocy dawki z jednostek, w których została wykalibrowana ława ($\mu\text{Gy/h}$) na jednostki, odpowiednie dla danego miernika, prowadzone jest według współczynników podanych w tabeli 1. Po przeprowadzeniu wzorcowania dla około 200 mierników (w większości przyrządów typu RK-67/RK-67-3) sporządzono zestawienie wartości zmierzonych i danych wzorcowych ławy kalibracyjnej (tabela.2). Na jego podstawie można stwierdzić, że średnia wartość mocy dawki promieniowania wskazywana przez kalibrowane przyrządy jest niższa od wartości wzorcowych. Różnica dla poszczególnych przyrządów wynosi od kilku do kilkunastu procent (średnio ok. 10 %).

Oprócz mierników mocy dawki w laboratorium wzorcowane są mierniki skażeń promieniotwórczych. W zależności od rodzaju sondy pomiarowej, do tego celu używa się odpowiednich wzorców źródeł powierzchniowych (Pu-239 dla promieniowania alfa; C-14 lub Sr-Y-90 dla promieniowania beta). W celu zapewnienia powtarzalności pomiarów wykonane zostały podstawki, przystosowane odpowiednio do każdej płytki i konkretnego typu sondy. Pozwala to na utrzymanie stałej odległości pomiędzy sondą i źródłem, a także na powtarzalne umiejscowienie sondy danego typu nad wzorcem promieniowania, co jest szczególnie ważne w przypadku, gdy pole powierzchni czynnej sondy pomiarowej jest mniejsze od pola powierzchni źródła wzorcowego.

Tabela 1. Współczynniki przeliczeniowe pomiędzy jednostkami, w których wyskalowano przyrządy dozymetryczne, a jednostką, w której wykalibrowano ławę kalibracyjną (kerma w powietrzu).

Jednostka miernika	Kerma w powietrzu
1 nA/kg	121,9 $\mu\text{Gy/h}$
1 mR/h	8,74 $\mu\text{Gy/h}$
1 $\mu\text{Sv/h}$	1 $\mu\text{Gy/h}$
1 pA/kg	0,122 $\mu\text{Gy/h}$

Tabela 2. Zestawienie wartości wzorcowych i średniej wartości wskazywanej przez danego typu mierniki promieniowania dla mierników kalibrowanych na moc dawki w okresie: luty 1999 – październik 2000

Typ mierników	Jednostka	Wartość wzorcowa	Średnia wartość zmierzona	Liczba mierników
RK-67/RK-67-3	$\mu\text{Gy/h}$	100 $\mu\text{Gy/h}$	84 $\mu\text{Gy/h}$	86
RK-67	MR/h	10 mR/h	8,1 mR/h	20
RK-67-3	NA/kg	1 nA/kg	0,85 nA/kg	13
EKO-C	$\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	9,2 $\mu\text{Sv/h}$	11
		50 $\mu\text{Sv/h}$	44 $\mu\text{Sv/h}$	
		90 $\mu\text{Sv/h}$	76 $\mu\text{Sv/h}$	
RKP-1-2	$\mu\text{Gy/h}$	100 $\mu\text{Gy/h}$	81 $\mu\text{Gy/h}$	7
RKP-1-2	PA/kg	1000 pA/kg	925 pA/kg	4
EKO-D/EKO-DP	$\mu\text{Sv/h}$	1000 $\mu\text{Sv/h}$	977 $\mu\text{Sv/h}$	4

6. Podsumowanie

W Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie uruchomiono pod koniec 1998 laboratorium kalibracyjne do wzorcowania przyrządów dozymetrycznych wiązką ze źródła Cs-137. Integralną częścią laboratorium jest ława kalibracyjna z wózkiem zapewniającym swobodę ruchu we wszystkich kierunkach (wzdłuż hali, w poprzek hali, góra-dół oraz obroty). Zarówno wysuwanie źródła do pozycji roboczej, jak również ruch wózka wzdłuż ławy sterowane jest z komputera PC umieszczonego w sterowni sąsiadującej z halą pomiarową. Dodatkowe wyposażenie stanowią kamery telewizyjne oraz laser do pozycjonowania. Kalibracja ławy dokonywana jest za pomocą dawkomierza wzorcowego z komorą jonizacyjną uwierzytelnioną przez Główny Urząd Miar. Stanowisko jest wykorzystywane do wzorcowania przyrządów dozymetrycznych stosowanych w ochronie radiologicznej oraz do naświetlania i kalibrowania detektorów termoluminescencyjnych używanych w ochronie radiologicznej i medycynie.