

# DOZYMETRIA PROMIENIOWANIA X DLA PRÓBEK BIOLOGICZNYCH

Anna Cholewik, Patrycja Kamińska, Mateusz Rutkowski  
opiekunowie: dr Beata Brzozowska-Wardecka, mgr Adrianna Tartas

## STRESZCZENIE

Celem projektu jest wykonanie pomiarów osłabienia promieniowania z lampy RTG (PHILIPS PW1316/92) w próbkach biologicznych. Rozkład dawki został zmierzony z użyciem filmów radiochromowych. Pomiaru zostały wykonane dla promieniowania X przechodzącego przez różne układy doświadczalne wykorzystujące szalkę Petriego, szkiełko, pożywkę - medium i warstwę komórek nowotworu gruczołu krokowego DU-145. Dla każdego układu doświadczalnego pomiary powtórzone dwukrotnie.

## WSTĘP

Jest wiele hipotez określających pozytywny wpływ promieniowania jonizującego dla małych dawek, z kolei każda z nich podkreśla fakt szkodliwości wysokich dawek dla komórek. Fazy uszkodzeń w komórkach są etapowe. Wyróżniamy fazę fizyczną, która powoduje jonizację i tworzenie bardzo aktywnych chemicznie wolnych rodników, stadium fizyko - chemiczne, w którym wolne rodniki mogą oddziaływać zarówno ze sobą jak i z innymi cząsteczkami wywołując zmiany w elementach komórek, i stadium biologiczne, trwające nawet do kilku lat, które obejmuje naprawy uszkodzeń, mutacje, a nawet śmierć komórki. W niniejszym doświadczeniu skupiono się na fazie fizycznej, która została określona za pomocą zaczernienia filmów radiochromowych pod wpływem promieniowania rentgenowskiego [1].

Promieniowanie rentgenowskie to promieniowanie elektromagnetyczne, które powstaje w wyniku wyhamowywania elektronów w polu jąder atomów materiału anody w lampie rentgenowskiej [2].

Filmy radiochromowe to rodzaj detektorów pasywnych w postaci folii ulegającej zaciemnieniu pod wpływem promieniowania jonizującego. Jest ono proporcjonalne do dawki pochłoniętej. W doświadczeniu wykorzystano filmy Gafchromic™ EBT [3].

Określenie zaczernienia odbyło się dwuetapowo - określono zaczernienie w polu padającej wiązki oraz zaczernienie tła. Wyznaczenie tych dwóch wartości pozwoliło nam określić faktyczne zaczernienie pod wpływem padającej wiązki promieniowania X.

Spośród otrzymanych wyników dwóch gafchromików określono także średnią wartość zaczernienia filtra. Niepewność wyznaczonej średniej  $\bar{x}$  z próbki o liczebności  $N$  definiujemy jako:

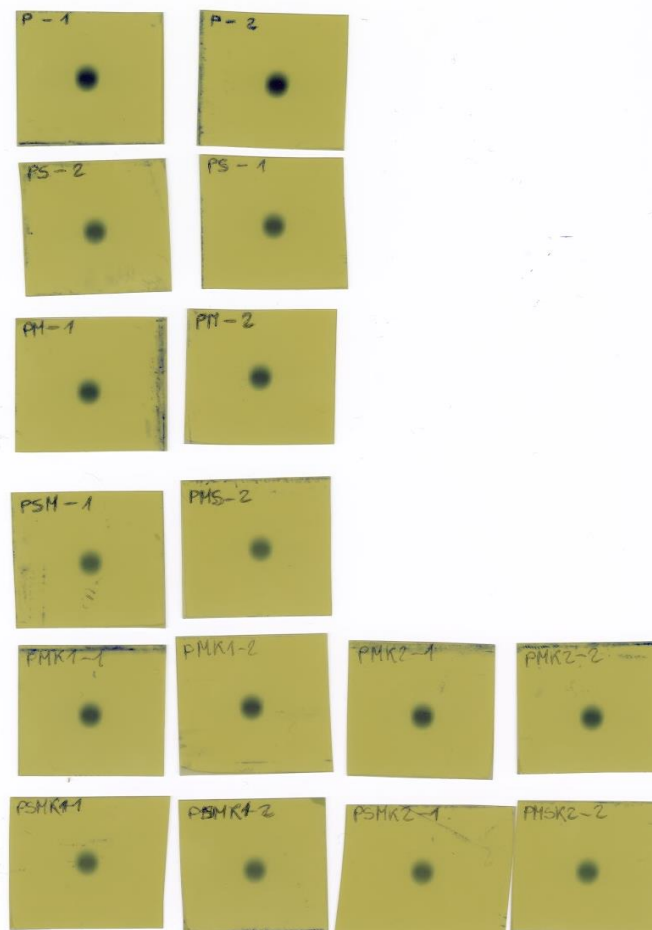
$$u_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

gdzie  $x_i$  to wartość poszczególnego pomiaru.

## UKŁAD DOŚWIADCZALNY I POMIARY

Przed rozpoczęciem serii pomiarów wysiano komórki nowotworu gruczołu krokowego DU-145. Następnie przeprowadzono pomiar liczby komórek, komórki zbadano również pod kątem ich żywotności. Jako barwnika użyto błękitu trypanowego. Uśredniony wynik pomiarów licznika pokazał, że w mieszaninie znajdowało się około 80 tysięcy komórek/ml. Komórki rozdzielono do dwóch szalek Petriego oraz dwóch zagłębień płytki 6-dołkowej ze szkiełkiem. Komórki pozostawiono w inkubatorze do podziału.

Następna część doświadczenia polegała na naświetleniu układów pomiarowych. Komórki rozdzielono na cztery układy pomiarowe, do których dodano po 10 ml medium. Wśród nich wyróżniono dwie szalki Petriego oraz dwie szalki ze szkiełkiem, które zostało położone z zagłębieniem płytki 6-dołkowej. Przygotowano także cztery układy odniesienia - pustą szalkę Petriego, szalkę Petriego z medium, szalkę Petriego ze szkiełkiem oraz szalkę Petriego ze szkiełkiem wraz z medium. Przygotowane układy naświetlano w lampie rentgenowskiej o napięciu 40 kV przez trzy minuty. Każdy z układów naświetlono dwukrotnie, dla każdego naświetlenia zmieniono gafchromik. Zabieg ten miał na celu uzyskanie wiarygodnych wyników spośród dwóch takich samych układów. Podczas pomiarów filmy umieszczono pod układami pomiarowymi. Po przeprowadzeniu pomiarów filmy umieszczono w zaciemnionym miejscu, pozostawiono je na 24 godziny. Po upływie tego czasu zeskanowano filmy radiochromowe. Na Rysunku 1, znajdującym się poniżej, przedstawiono skan zaczerpniętych gafchromików użytych w doświadczeniu.



Rysunek 1. Skan zaczerpniętych gafchromików użytych w doświadczeniu.

## WYNIKI POMIARÓW

Do zebrania informacji ze skanów użyto programu ImageJ, który posłużył do rozdzielania obrazów na kanały RGB. Otrzymane dane znajdują się [tutaj](#), spośród których do dalszej części analizy wykorzystano wartości znajdujące się w kolumnie “mean”. Dla każdego układu pomiarowego wyznaczono także profile intensywności koloru szarego, które znajdują się w *DODATKU*.

## ANALIZA DANYCH

Dla każdego układu pomiarowego obliczono grubość  $d$  warstwy niebędącej powietrzem, przez powierzchnię której przechodziło promieniowanie. Obliczone wartości przedstawiono w Tabeli 1, gdzie P wyraża szalkę Petriego, S - szkiełko, M - medium, a K- komórki. Skorzystano ze zmierzonej podczas wykonywania doświadczenia wartości średnicy szalki Petriego, która wyniosła 8,5 cm (wraz z ściankami, gdzie każda miała grubość 0,1 cm) oraz odczytanej wartości grubości szkiełka o wartości 0,14 mm. Grubość warstwy medium wynosiła 0,18 cm, a grubość warstwy komórek zanurzonych w medium – 0,1812 cm (przy założeniu, że średnica komórek wynosi 12  $\mu\text{m}$ ).

Tabela 1. Grubość warstwy układu doświadczalnego  $d$  dla poszczególnych kombinacji.

Układ pomiarowy	Grubość warstwy [cm]
P	0,200
P + S	0,214
P + M	0,376
P + S + M	0,390
P + M + K	0,377
P + S + M + K	0,391

Wizualnie przeanalizowano otrzymane skany. Zauważono, że wraz ze zwiększającą się grubością warstwy układu doświadczalnego tło skanów jaśniało, przez co wydawało się, że intensywność koloru szarego malała. Zwiększało się także rozproszenie wiązki.

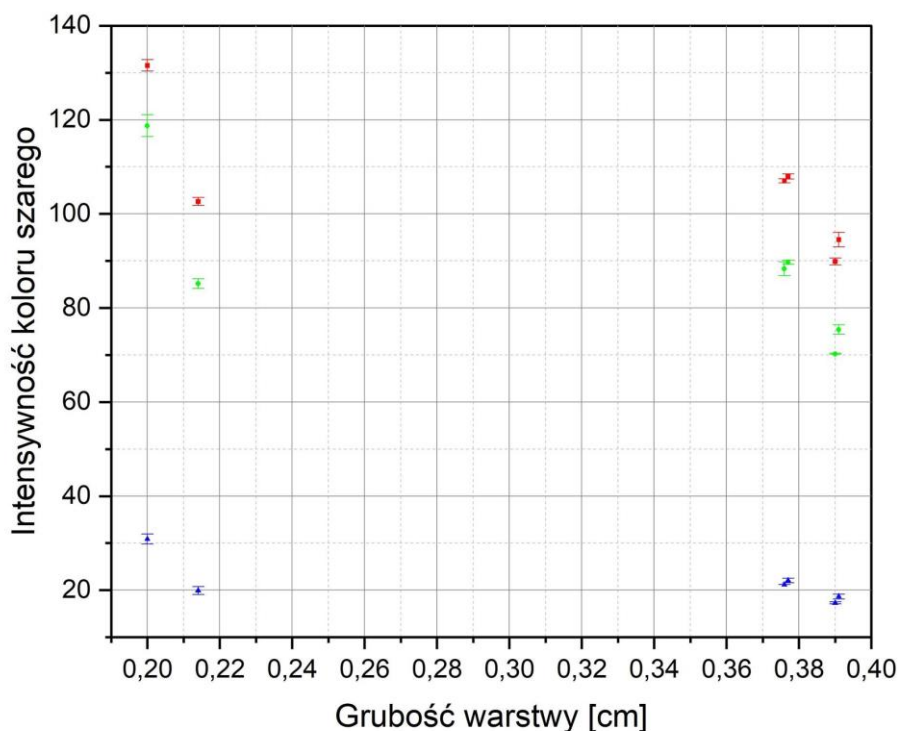
Wykorzystując zebrane dane pomiarowe, które zostały umieszczone [tutaj](#), dla każdego skanu w trzech kanałach wyznaczono wartość bezwzględną różnicy wartości średniego zaczerwienienia filmu w miejscu padającej wiązki oraz jego tła, dzięki czemu uzyskano faktyczne zaczerwienienie pod wpływem padającego promieniowania. Otrzymane wartości z programu ImageJ odjęto od wartości 255 ze względu na inną skalę zaciemnienia zastosowaną w wbudowanej funkcji analizatora danych.

Dla każdego układu pomiarowego wyznaczono także średnią średnich oraz niepewność tej oceny, wyznaczonej za pomocą wzoru (1). Uzyskane wartości umieszczono w Tabeli 2.

Tabela 2. Intensywność koloru szarego wraz z niepewnością dla trzech kanałów w zależności od układu pomiarowego.

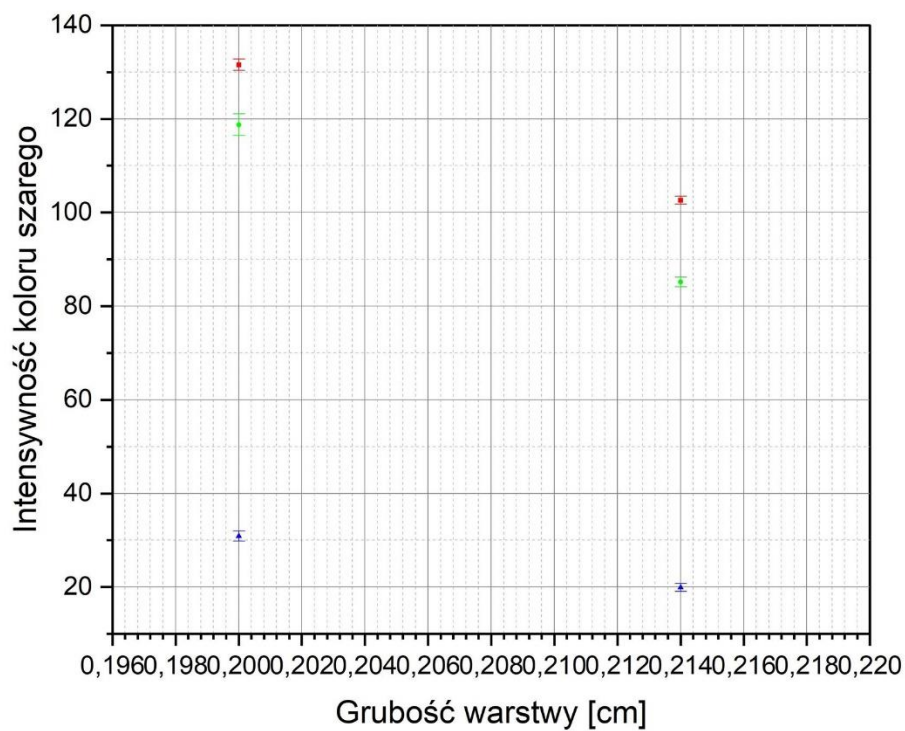
Układ pomiarowy	Intensywność koloru szarego wraz z niepewnością - RED	Intensywność koloru szarego wraz z niepewnością - GREEN	Intensywność koloru szarego wraz z niepewnością - BLUE
P	131,5 ± 1,2	118,7 ± 2,3	30,9 ± 1,1
P + S	102,63 ± 0,86	85,1 ± 1,1	19,92 ± 0,84
P + M	107,01 ± 0,43	88,3 ± 1,5	21,2035 ± 0,0045
P + S + M	89,89 ± 0,75	70,24 ± 0,11	17,30 ± 0,20
P + M + K	107,95 ± 0,55	89,71 ± 0,43	22,05 ± 0,50
P + S + M + K	94,5 ± 1,6	75,39 ± 0,99	18,64 ± 0,50

Zależność wartości intensywności koloru szarego dla trzech kanałów w funkcji grubości warstwy układu wraz z naniesionymi niepewnościami znajdującymi się w Tabeli 2 przedstawiono na Rysunku 2, gdzie kolorem czerwonym zaznaczono kanał RED, zielonym - GREEN, a niebieskim - BLUE.

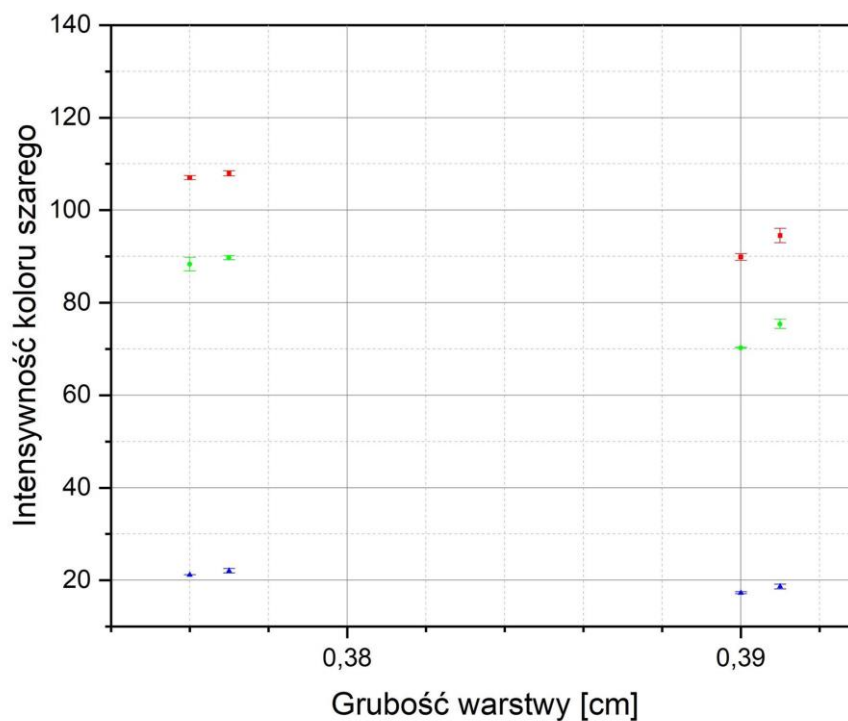


Rysunek 2. Zależność intensywności koloru szarego od grubości warstwy  $d$ .

Z uwagi na słabą widoczność zależności przedstawionych na powyższym rysunku, postanowiono przybliżyć go dla dwóch zakresów osi X. Przybliżenia odpowiednich zakresów przedstawiono na Rysunku 3 i Rysunku 4.



Rysunek 3. Zależność intensywności koloru szarego od grubości warstwy  $d$  w zakresie od 0,196 do 0,220 cm.



Rysunek 4. Zależność intensywności koloru szarego od grubości warstwy  $d$  w zakresie od 0,374 do 0,393 cm.

Zaobserwowano, że dla każdego kanału wraz ze wzrostem grubości  $d$  maleje intensywność koloru szarego. Parametry dla kanału BLUE są przesunięte względem wartości

kanałów GREEN oraz RED. Wartości dla kanałów RED oraz GREEN są znacznie bardziej do siebie zbliżone. Wśród zaobserwowanych punktów zauważono, że wzrost intensywności koloru szarego zachodzi jedynie po dodaniu do układu komórek - zarówno dla układu P+M+K względem P+M, jak i P+S+M+K względem P+S+M. Mimo że pierwszy zauważalny wzrost intensywności jest statystycznie nieistotny, nadal nie jest to zgodne z naszymi oczekiwaniami.

## WNIOSKI

Wykonano pomiar osłabienia promieniowania emitowanego z lampy rentgenowskiej w próbkach biologicznych. Rozkład dawki zmierzono za pomocą filmów radiochromowych i na ich podstawie wyznaczono intensywność koloru szarego w poszczególnych kanałach dla różnych układów pomiarowych.

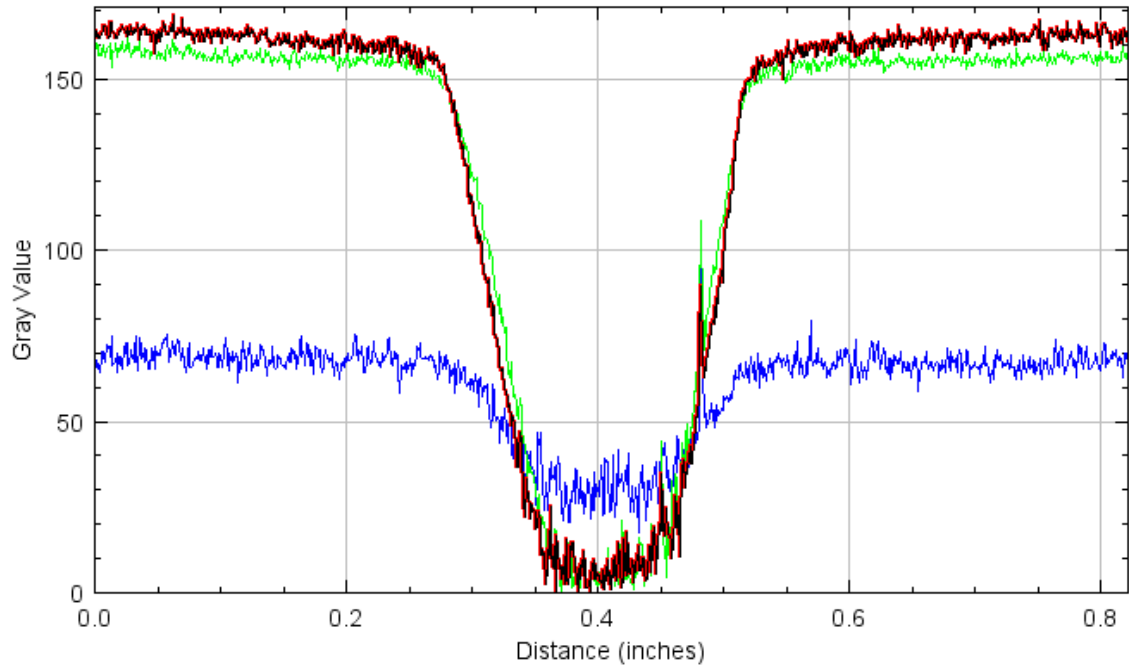
Dla większości zebranych punktów pomiarowych zaobserwowano spadek intensywności koloru szarego wraz ze wzrastającą wartością grubości warstwy  $d$  układu pomiarowego. Niestety, wspomniana zależność nie jest spełniona dla wszystkich zebranych danych pomiarowych. Nie jesteśmy w stanie jednoznacznie stwierdzić co było powodem zaobserwowania takiej zależności. Możliwym wytłumaczeniem tego zjawiska może być niezbadany charakter pracy lampy, która wyłączała się przed każdym ponownym użyciem. Kolejnym aspektem, który mógł wpłynąć na uzyskane wyniki był brak równomiernie rozłożonej monowarstwy komórek w układach, w których występowały komórki. Tło otrzymanych skanów nie ma także jednakowego koloru - dla początkowych pomiarów jest ono znacznie ciemniejsze od końcowych pomiarów. Wyznaczenie faktycznej intensywności koloru szarego wiązało się z dużą niepewnością. Musimy mieć również na uwadze fakt, że użyty w doświadczeniu detektor należy do grupy detektorów pasywnych i jego odczyt jest niedokładny.

Warto zwrócić także uwagę na sposób przeprowadzenia analizy danych, którą jednocześnie wykonywały trzy osoby. Każda z nich inaczej określała granice zaczernienia filtrów, co także zaburzało końcowy wynik. Podczas przeprowadzania analizy danych nie uwzględniono także niepewności wynikających z wizualnego dopasowania krzywych.

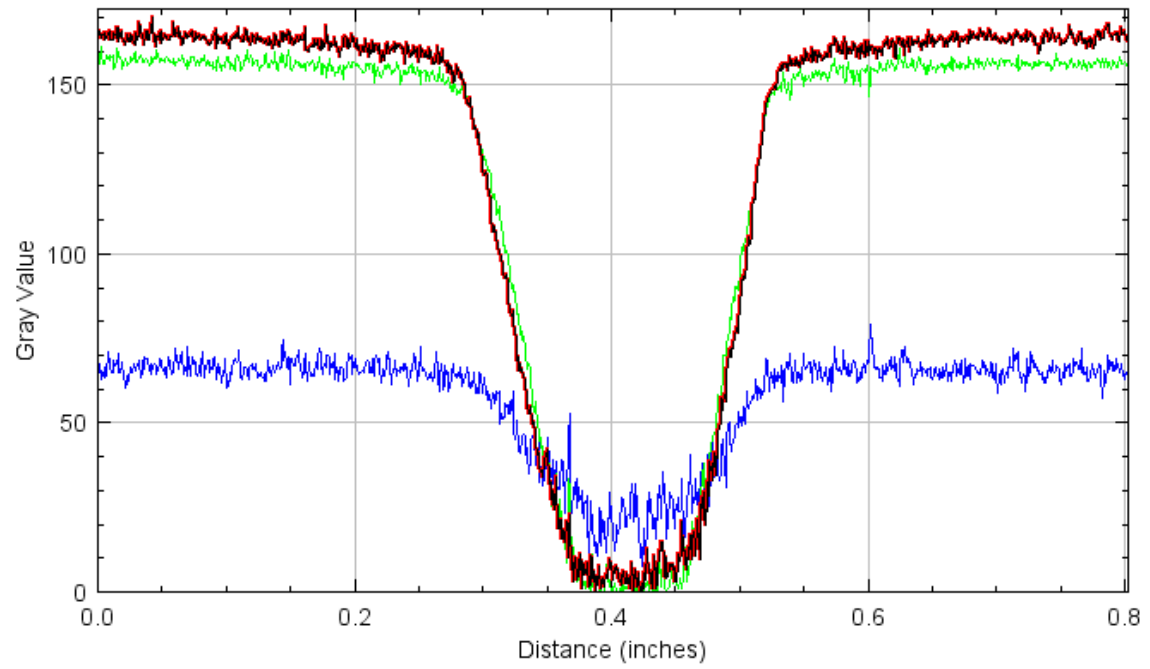
## REFERENCJE

1. J. Ośko, "Biologiczne skutki promieniowania jonizującego", materiały do wykładu Ochrona radiologiczna, Wydział Fizyki UW, [www.fuw.edu.pl/~szef/OchrRad/3\\_skutki%20biologiczne.pdf](http://www.fuw.edu.pl/~szef/OchrRad/3_skutki%20biologiczne.pdf) [dostęp z dnia 31/07/2020].
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, "Podstawy Fizyki 5", PWN, Warszawa 2009 r.
3. L. Menegotti, A. Delana, A. Martignano, "Radiochromic film dosimetry with flatbed scanners: A fast and accurate method for dose calibration and uniformity correction with single film exposure", *Medical Physics* 35(7): 3078 – 85 (2008).

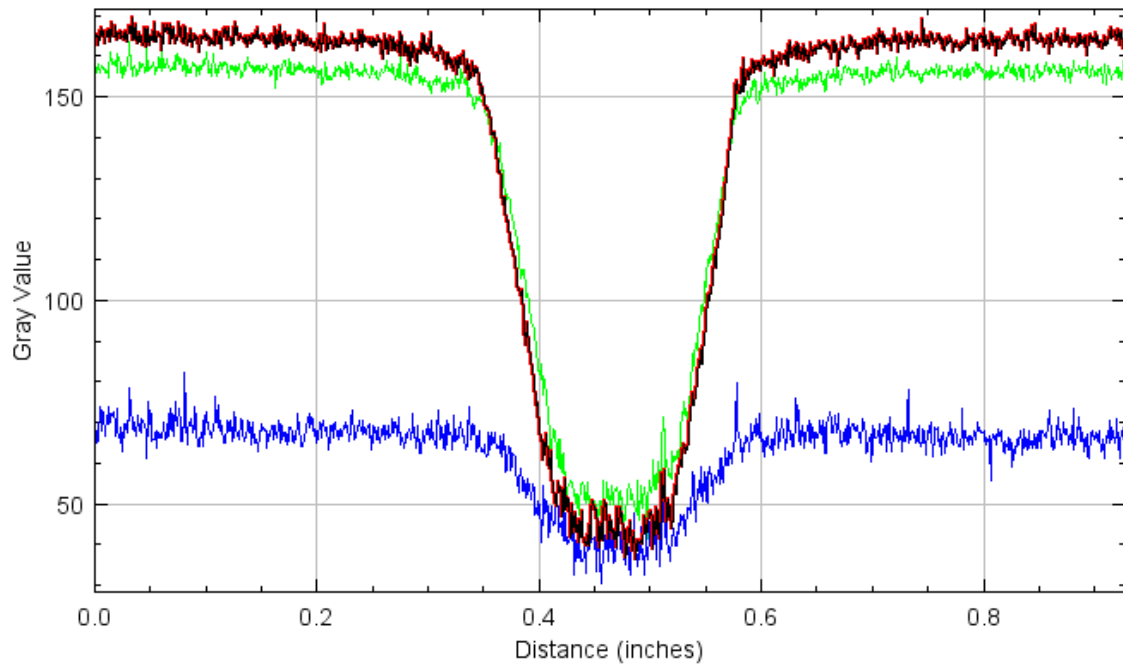
# DODATEK



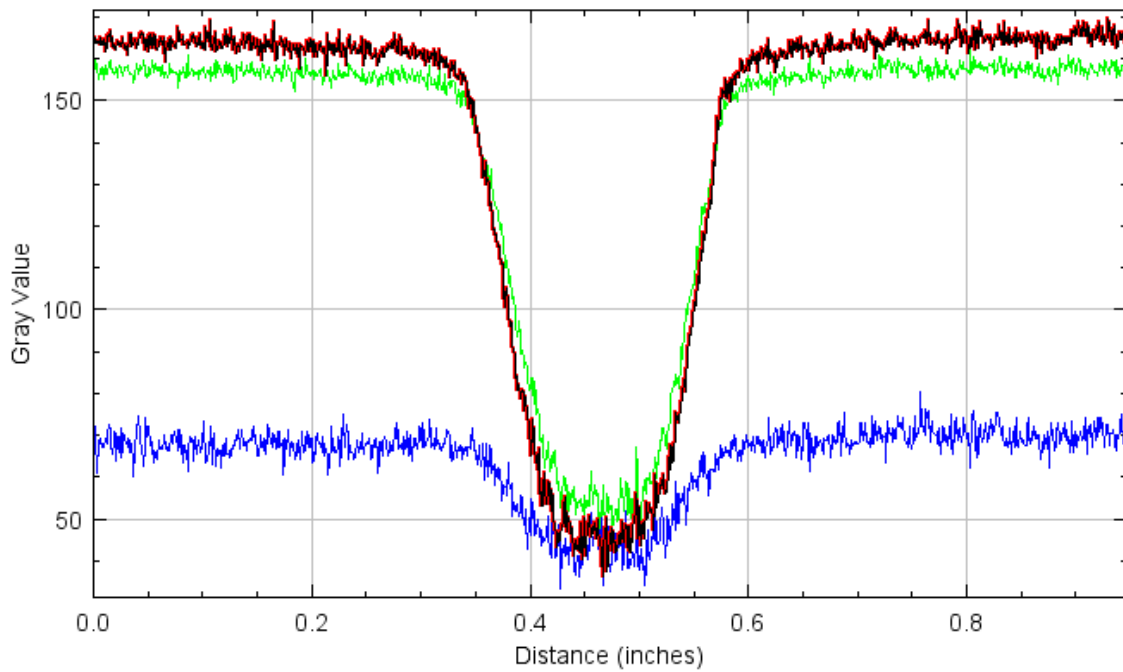
Rysunek 1. Układ pomiarowy P-1.



Rysunek 2. Układ pomiarowy P-2.

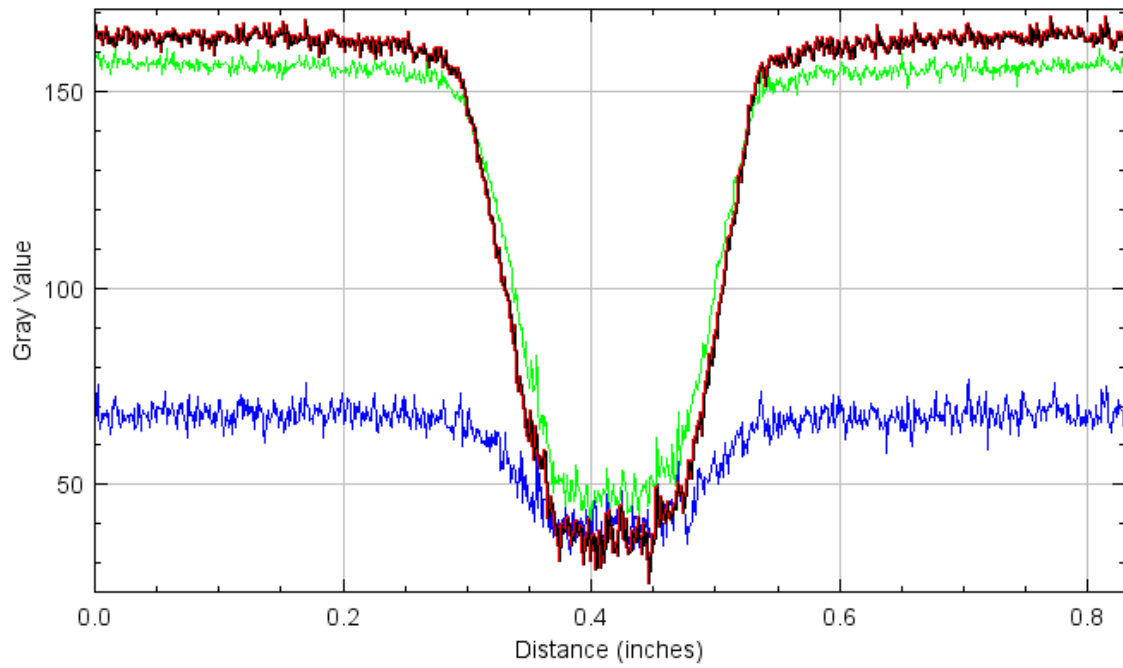


Rysunek 3. Układ pomiarowy PS-1.

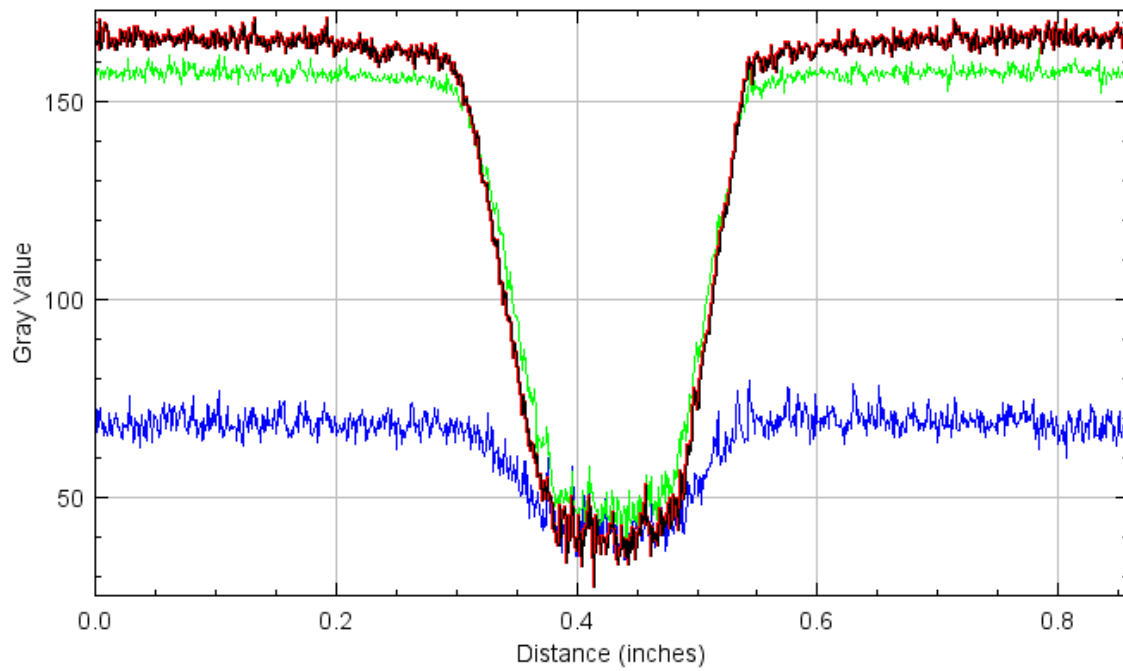


Rysunek 4. Układ pomiarowy PS-2.

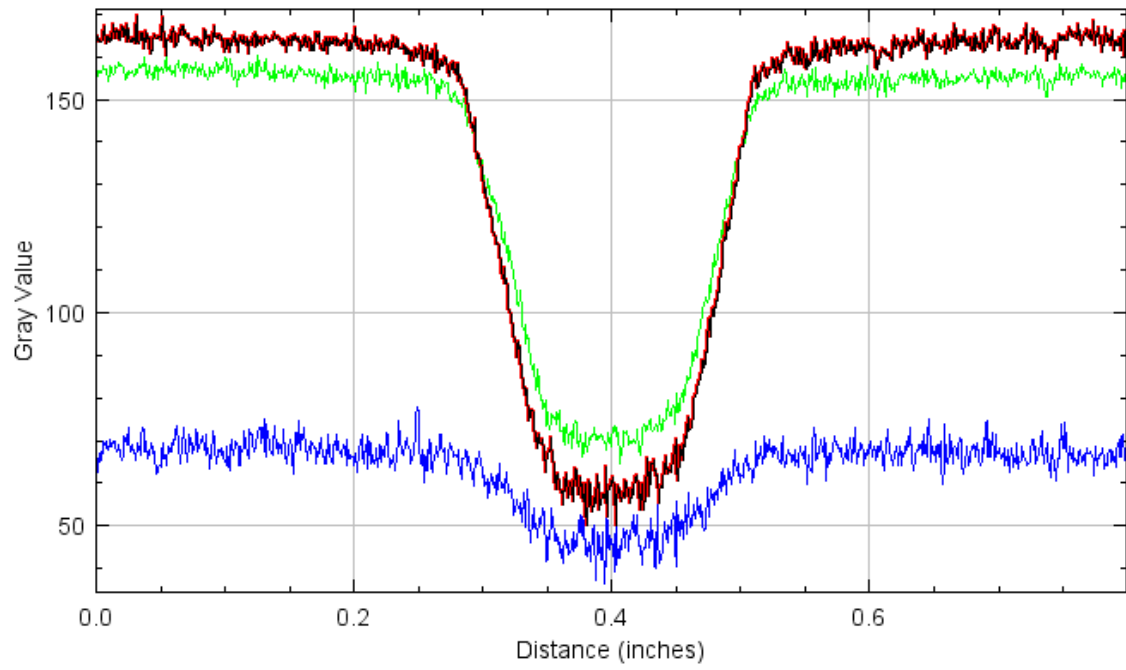




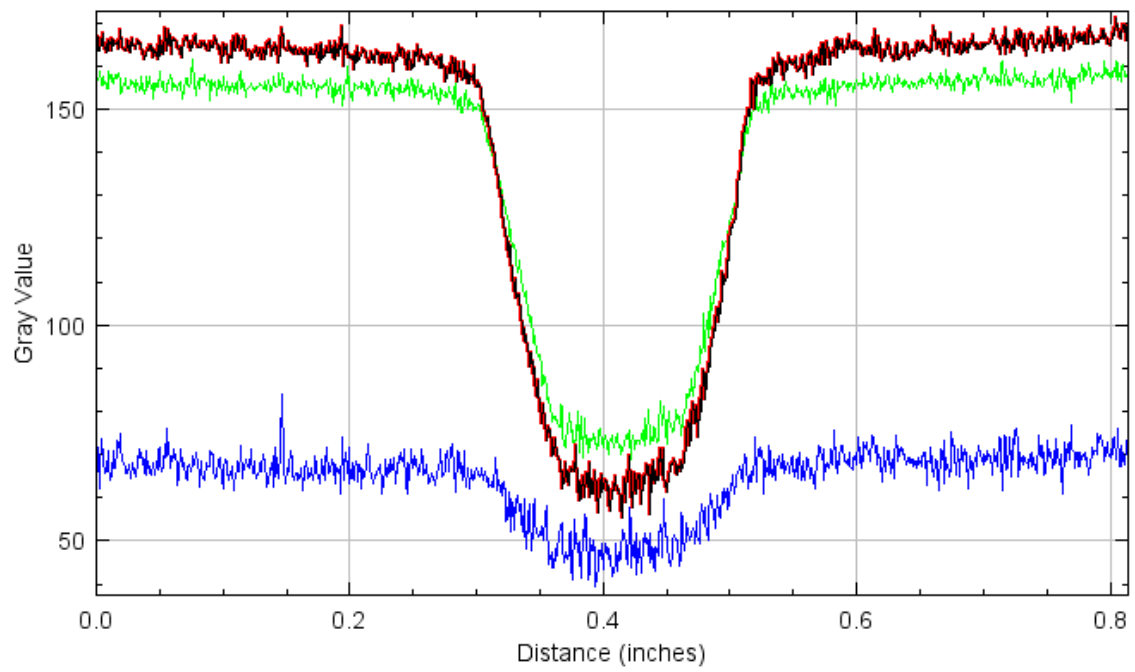
Rysunek 5. Układ pomiarowy PM-1.



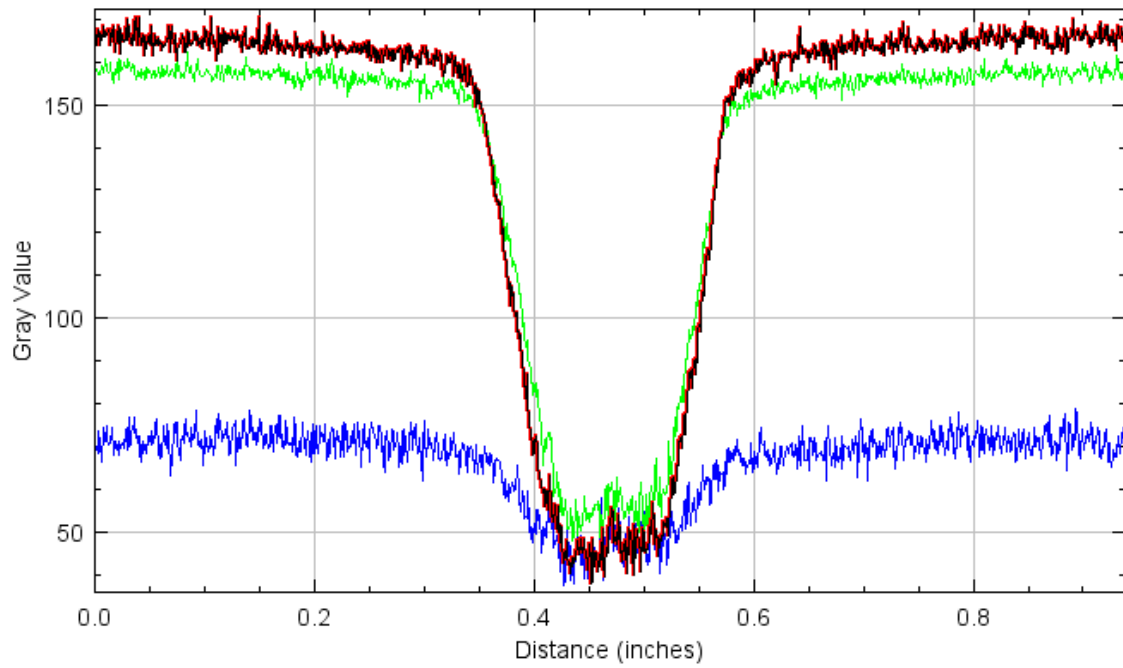
Rysunek 6. Układ pomiarowy PM-2.



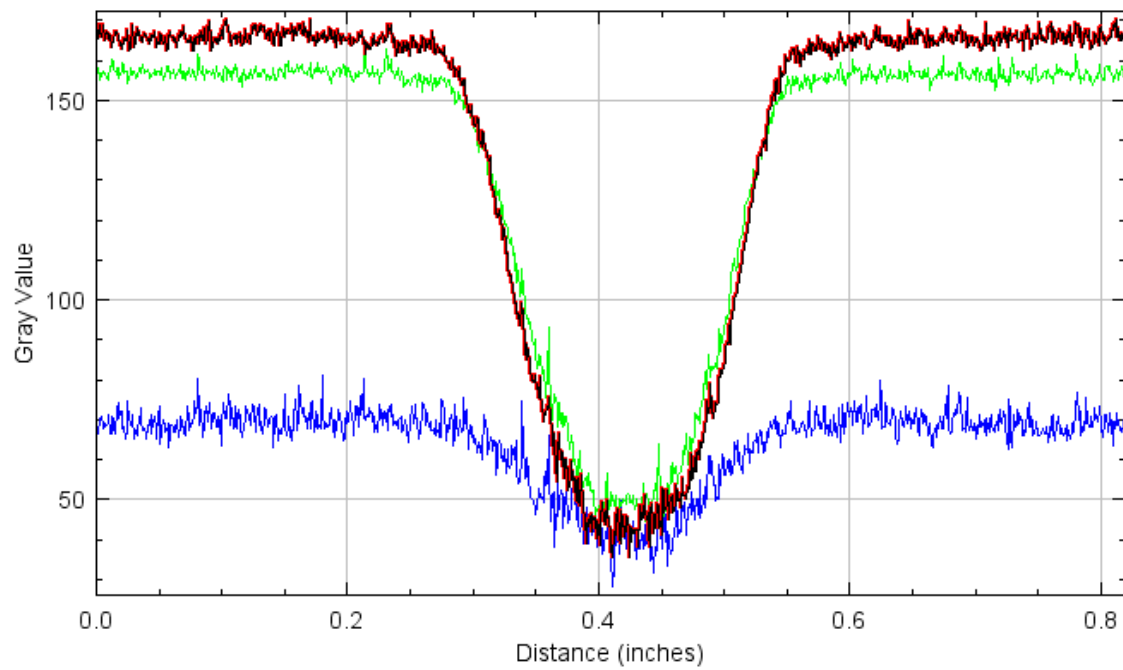
Rysunek 7. Układ pomiarowy PSM-1.



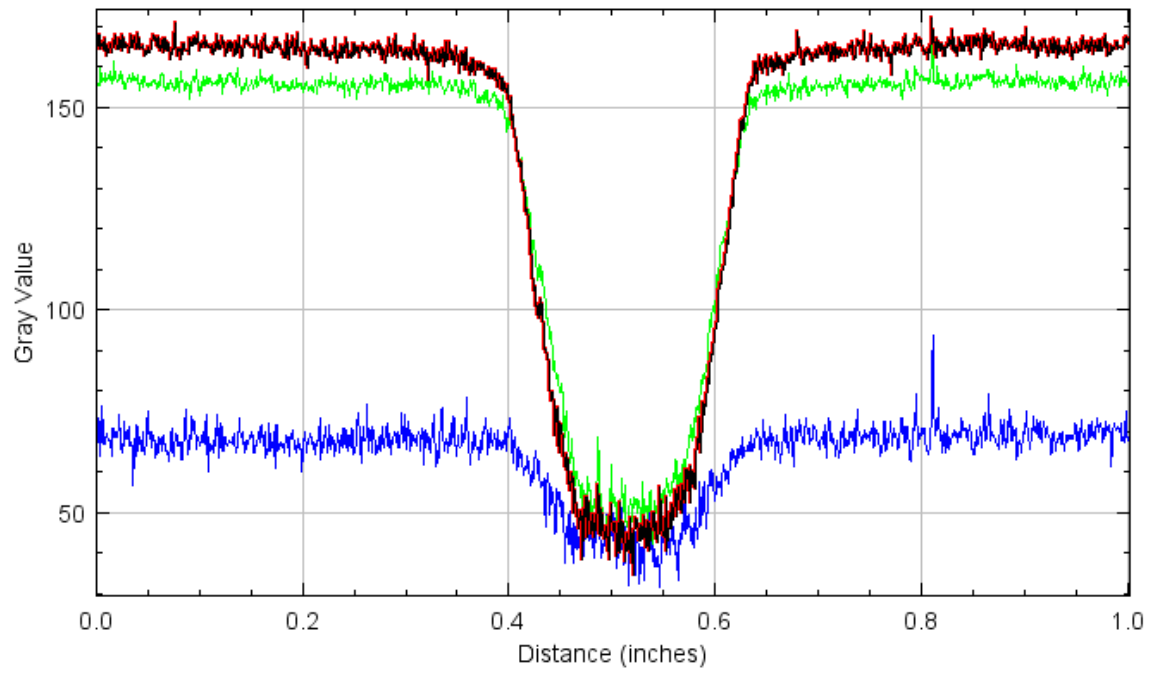
Rysunek 8. Układ pomiarowy PSM-2.



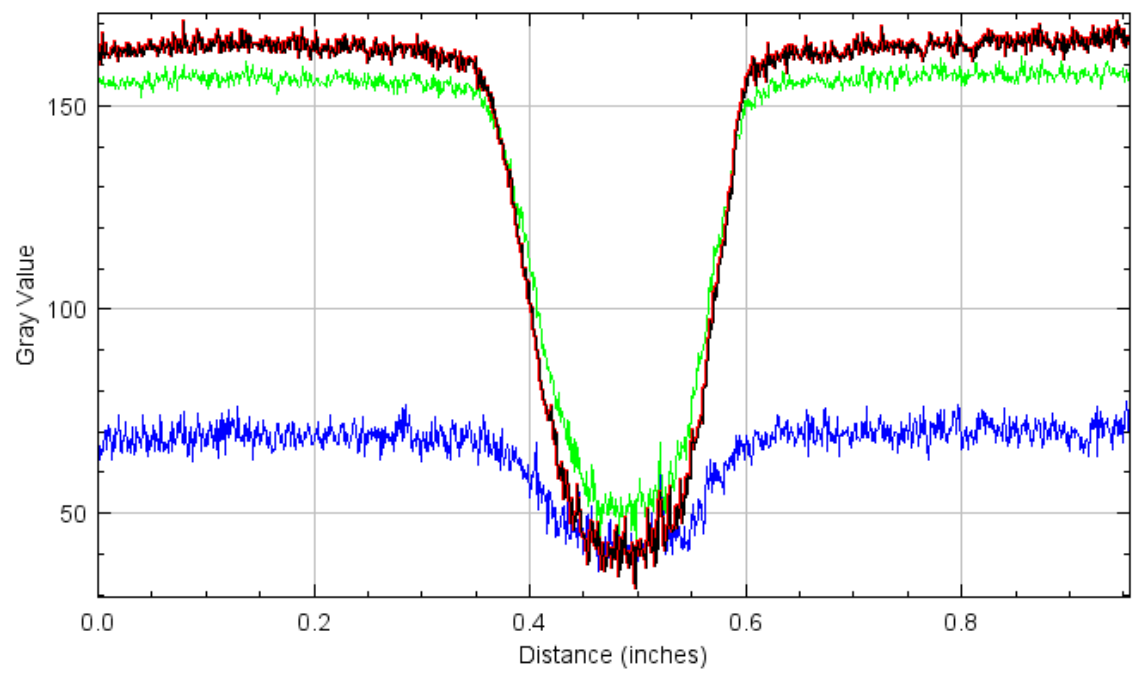
Rysunek 9. Układ pomiarowy PMK1-1.



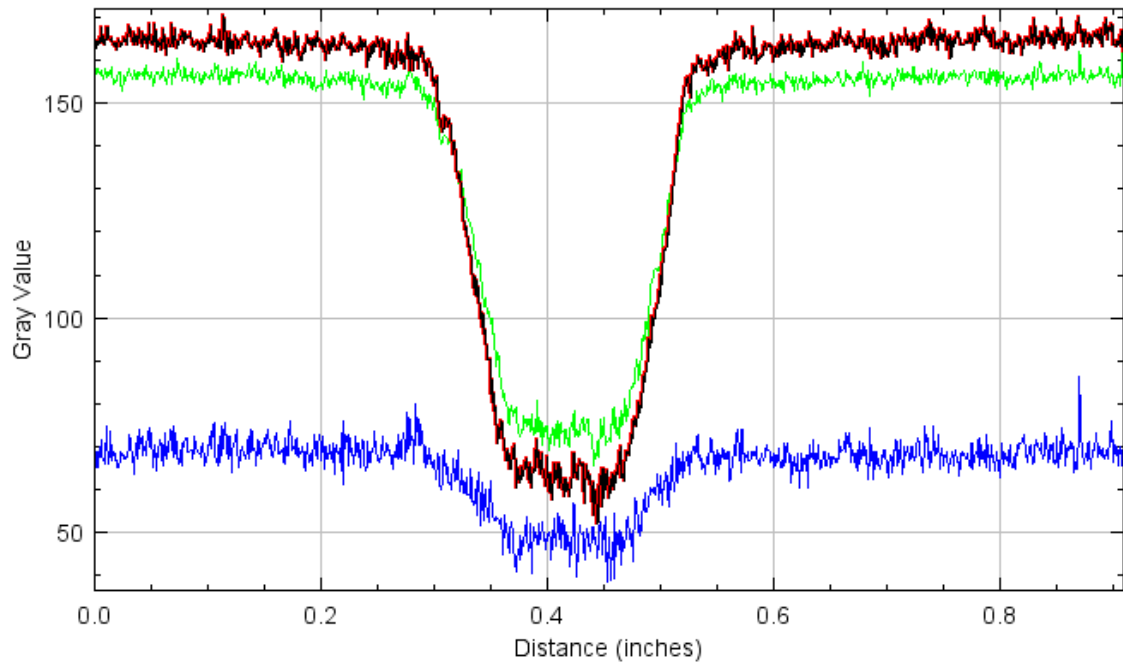
Rysunek 10. Układ pomiarowy PMK1-2.



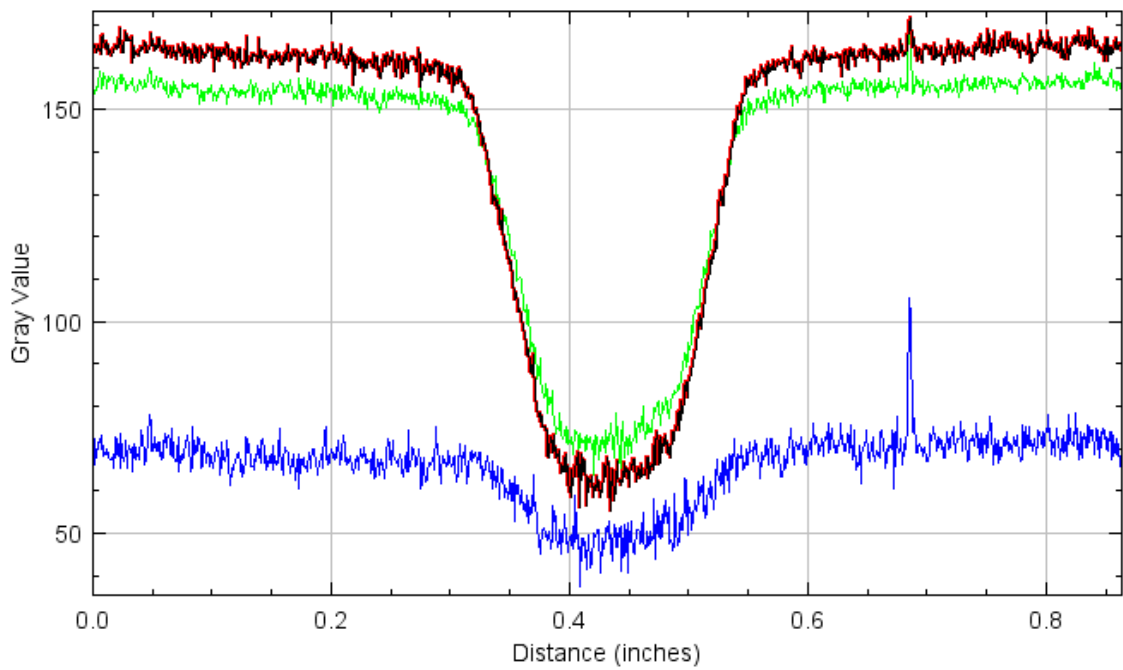
Rysunek 11. Układ pomiarowy PMK2-1.



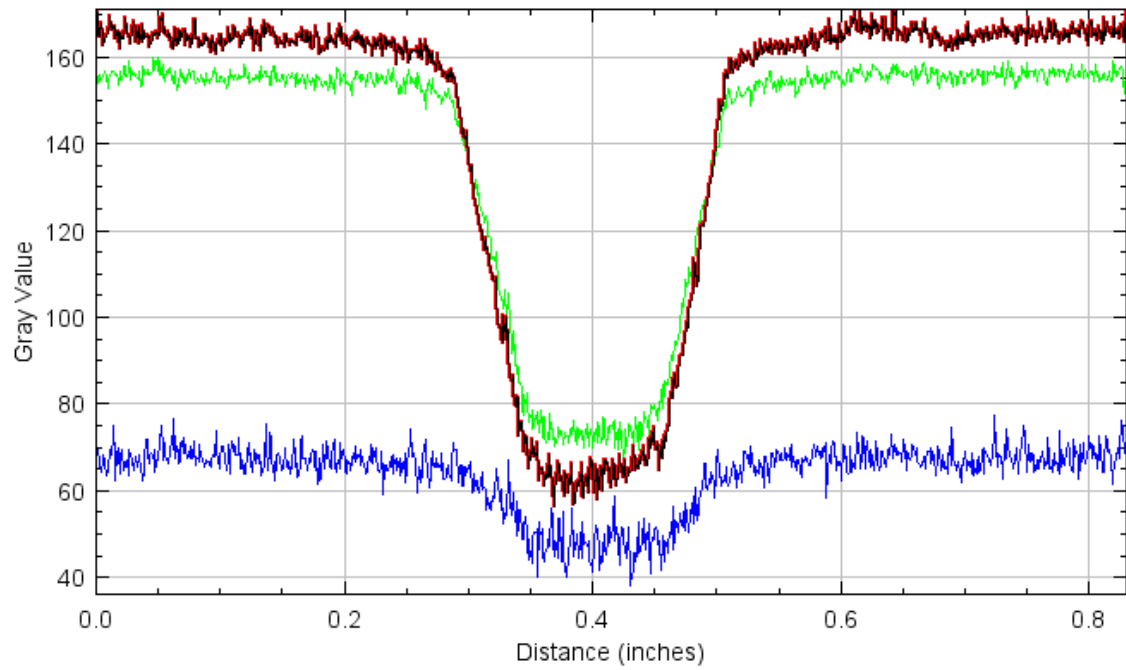
Rysunek 12. Układ pomiarowy PMK2-2.



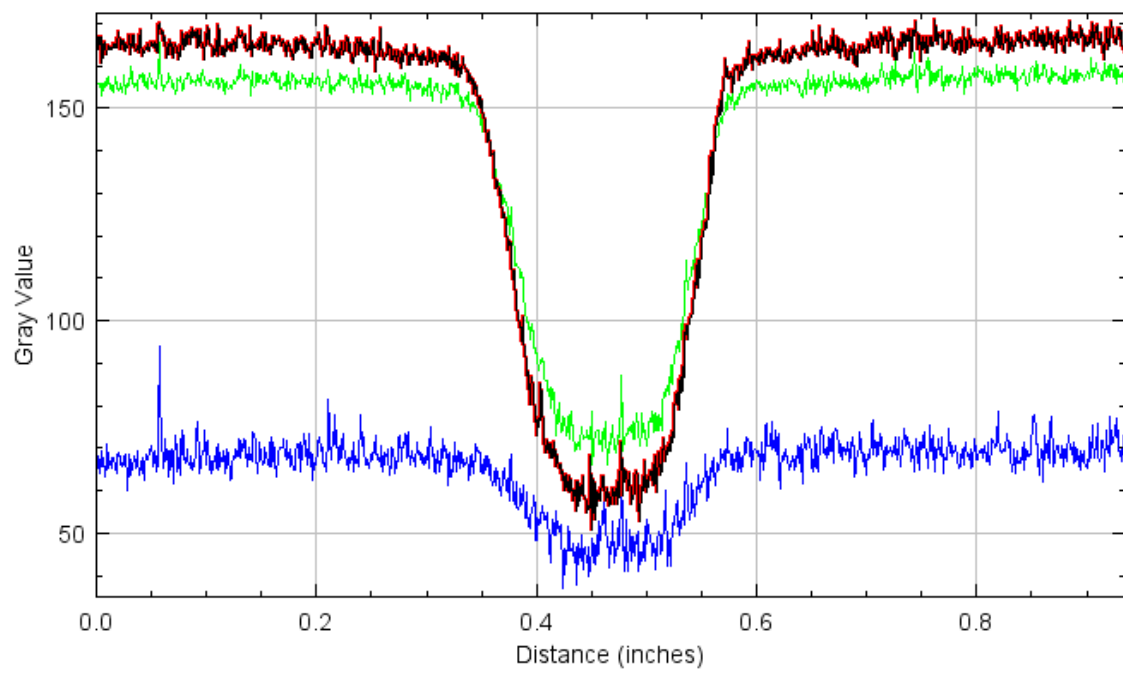
Rysunek 13. Układ pomiarowy PSMK1-1.



Rysunek 14. Układ pomiarowy PSMK1-2.



Rysunek 15. Układ pomiarowy PSMK2-1.



Rysunek 16. Układ pomiarowy PSMK2-2.