

Pomiar mocy dawki promieniowania generowanego przez lampę RTG

Justyna Cebrat, Dinara Kalkabaeva, Jan Kotlarz, Natalia Krzewińska, Wojciech Stasiuk
Projekt wykonany pod opieką dr Beaty Brzozowskiej – Wardeckiej.

Abstrakt. Celem projektu było wykonanie pomiarów mocy dawki promieniowania X w bezpośrednim sąsiedztwie lampy RTG. W ramach projektu wykonano pomiary dawek równoważnej i skutecznej wewnątrz obudowy lampy, w pomieszczeniu w którym umieszczono lampę oraz na sąsiadującym korytarzu. Pomiary odniesiono do wielkości rocznych dawek granicznych dla ogółu ludności, uczniów poniżej 18 r. ż. oraz osób narażonych zawodowo. Ustalono, że praca z lampą RTG nie wpływa na wielkość otrzymywanej dawki promieniowania o ile jest prowadzona przy zamkniętej obudowie.

1. WSTĘP

Pracodawca ma obowiązek chronić pracowników i studentów przed promieniowaniem jonizującym występującym w środowisku pracy. Szczególnie ten obowiązek dotyczy osób obsługujących aparaturę przeznaczoną do wytwarzania i wykorzystywania promieniowania rentgenowskiego, w której źródłem promieniowania jonizującego jest lampa rentgenowska [1].

Kodeks Pracy stwierdza, że “dawka promieniowania jonizującego pochodzącego ze źródeł naturalnych, otrzymywana przez pracownika przy pracy w warunkach narażenia na to promieniowanie, nie może przekraczać dawek granicznych, określonych w odrębnych przepisach dla sztucznych źródeł promieniowania jonizującego” [2].

W przypadku promieniowania jonizującego możemy mówić o dwóch rodzajach dawek:

- 1) **równoważnej**, czyli ilości promieniowania pochłonięte w tkance lub narządzie z uwzględnieniem rodzaju i energii promieniowania,
- 2) **skutecznej**, czyli sumie dawek równoważnych pochodzących od zewnętrznego i wewnętrznego narażenia, obrazującej narażenie całego ciała.

Odnosząc się do obowiązku ochrony możemy mówić o **dawce granicznej**, która jest maksymalną wartością odniesienia dla dawek pracowników, praktykantów i studentów oraz ludności, związanych z narażeniem na promieniowanie jonizujące. Warto tu zaznaczyć, że dawki graniczne nie obejmują narażenia na promieniowanie naturalne oraz osób poddawanych działaniu promieniowania jonizującego w celach medycznych. Osoby narażone na 30% dawki granicznej muszą mieć wykonywane pomiary indywidualne.

2. METODYKA

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

Lampa rentgenowska zbudowana jest ze szklanej próżniowej bańki, w której umieszczone są katoda i anoda.

Do katody zostaje przyłożone wysokie napięcie, co powoduje jej rozgrzanie oraz emisję elektronów. Elektrony przyspieszane są w polu elektrycznym a następnie wyhamowywane w polu jąder materiału anody. Różnica energii po wyhamowaniu elektronów emitowana jest jako promieniowanie elektromagnetyczne oraz ulega przemianie w ciepło.

Ilość promieniowania podana, pobrana lub wchłonięta do organizmu, wyraża się w siwertach, gdzie:

$$1\text{Sv} = \frac{1\text{J}}{1\text{kg}}$$

Dawka równoważna H_T wyraża się wzorem:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

gdzie:

- w_R – współczynnik wagowy promieniowania
- $D_{T,R}$ – dawka pochłonięta uśredniona w tkance lub narządzie T , pochodząca od promieniowania R .

Dawka skuteczna E wyraża się wzorem:

$$E = \sum_T w_T H_T$$

gdzie:

- w_T - czynnik wagowy tkanki (narządu), gdzie: skóra – 0,01; oczy – 0,05; dłonie, przedramiona, stopy i podudzia – 0,05. [3]

Limity dawek granicznych stosowane wobec osób narażonych zawodowo powyżej 18 roku życia, praktykantów i studentów pomiędzy 16 a 18 rokiem życia i ogółem ludności zawarte są w Tabeli 1.

Tabela 1. Limity dawek granicznych[2].

Grupa		H_T [mSv/rok]
-------	--	-----------------

	E [mSv/rok]	Oczy	Skóra	Dłonie, przedramiona, stopy, podudzia
Osoby narażone zawodowo oraz praktykanci i studenci (uczniowie) w wieku 18 lat i powyżej	20	150	500	500
Praktykanci i studenci (uczniowie) w wieku od 16 do 18 lat	6	50	150	150
Osoby z ogółu ludności oraz praktykanci i studenci (uczniowie) w wieku poniżej 16 lat	1	15	50	-

Celem każdego pomiaru jest określenie wartości mierzonej wielkości w taki sposób, aby uzyskany wynik był jak najbliższy jej wartości rzeczywistej. W tym celu definiuje się **efektywny zakres pomiarowy**, czyli zakres wartości, w którym parametry miernika lub monitora spełniają wymagania normy. Dla układów o skali cyfrowej zakres pomiarowy powinien rozpoczynać się od początku drugiej mniej znaczącej cyfry i sięgać końca skali. Jeśli wielkość fluktuacji statystycznych wskazań wynikających z przypadkowego charakteru emisji promieniowania jest znaczącą częścią zmian wskazań dozwolonych w badaniu, należy dokonać dostatecznej ilości odczytów w celu upewnienia się, że średnia wartość tych odczytów może być oszacowana z dokładnością wystarczającą do wykazania zgodności z odpowiednimi wymaganiami. W celu zapewnienia statystycznej niezależności odczytów odstęp między takimi odczytami powinien być przynajmniej trzykrotnie dłuższy niż czas odpowiedzi.

W przeprowadzonym badaniu dla każdego punktu pomiarowego wykonano dozymetrem Digital Geiger Counter GCA-07W 3 pomiary o długości 15 s, a zastosowane przerwy między kolejnymi pomiarami wyniosły powyżej 45 s.

W celu przeliczenia zliczeń fotonów na dawkę promieniowania wykonano dodatkowe pomiary zliczeń na minutę i odpowiadających im dawek w zakresie od 15 do 200714 zliczeń na minutę. Następnie metodą najmniejszych kwadratów uzyskano model liniowy oszacowania dawki na podstawie zliczeń.

3. WYNIKI

Pomiary wykonano w 15 punktach pomiarowych. Położenie punktów względem lampy ilustruje Tabela 2.

Tabela 2. Parametry punktów pomiarowych.

Id	X [m]	Y [m]	Z [m]	Uwagi
1	0,000	0,000	-0,070	Wewnątrz obudowy lampy
2	-0,065	0,000	-0,070	Wewnątrz obudowy lampy
3	-0,130	0,000	-0,070	Wewnątrz obudowy lampy
4	-0,361	-0,215	-0,245	Wewnątrz obudowy lampy
5	0,341	-0,215	-0,245	Wewnątrz obudowy lampy
6	-0,361	0,465	-0,245	Wewnątrz obudowy lampy
7	0,341	0,465	-0,245	Wewnątrz obudowy lampy
8	0,000	0,000	-0,252	Punkt pomiarowy pod obudową lampy.

9	0,641	0,465	-0,302	Wewnątrz pomieszczenia 4.61
10	-0,366	-0,220	-0,845	Wewnątrz pomieszczenia 4.61
11	-1,366	-0,220	-0,845	Wewnątrz pomieszczenia 4.61
12	-2,366	-0,220	-0,845	Wewnątrz pomieszczenia 4.61
13	-4,366	-0,220	-0,845	Wewnątrz pomieszczenia 4.61
14	-4,366	6,480	-0,845	Na korytarzu, pomiędzy lampą a punktem ściana o gr. 0,16 m.
15	-4,366	-6,920	-0,845	Na korytarzu, pomiędzy lampą a punktem ściana o gr. 0,16 m.

Pomiary tła (z wyłączoną lampą) wykazały średnią liczbę 3,6 ($\pm 1,9$) zliczeń w ciągu 15 s. Szczegółowe liczby zliczeń w poszczególnych punktach pomiarowych ilustruje Tabela 3.

Tabela 3. Wyniki pomiaru tła wykonane przy wyłączonej lampie.

Id	Liczba zliczeń zarejestrowana przez licznik w ciągu 15 s.
1	$2,7 \pm 1,2$
2	$2,0 \pm 0$
3	$2,0 \pm 1,0$
4	$4,7 \pm 2,1$
5	$3,0 \pm 1,0$
6	$6,0 \pm 2,7$
7	$3,0 \pm 1,7$
8	$6,0 \pm 3,0$
10	$2,33 \pm 0,58$
11	$4,33 \pm 0,58$
12	$4,3 \pm 1,5$
13	$3,0 \pm 1,0$
14	$3,3 \pm 2,1$
15	$3,0 \pm 2,0$

Pomiary wykonane z kolimatorem i włączoną lampą RTG wykonane dla zakresu napięć 20 – 45 kV ilustruje Tabela 4.

Tabela 4. Wyniki pomiaru dla włączonej lampy.

Id	Liczba zliczeń zarejestrowana przez licznik w ciągu 15 s dla poszczególnych napięć				
	20 kV	30 kV	35 kV	40 kV	45 kV
1	165 ± 91	4996 ± 280	17777 ± 830	55729 ± 2400	123318 ± 1800
4	$3,7 \pm 3,1$	$7,33 \pm 0,58$	$22,7 \pm 5,7$	110 ± 23	557 ± 17
5	$3,3 \pm 2,1$	$5,3 \pm 1,5$	$19,3 \pm 5,1$	$119,3 \pm 8,0$	497 ± 27
6	$1,33 \pm 0,58$	$2,67 \pm 0,58$	$6,3 \pm 2,9$	$16,7 \pm 4,5$	$58,7 \pm 6,5$
7	$2,7 \pm 1,1$	$2,7 \pm 1,1$	$4,0 \pm 2,7$	$14,3 \pm 3,8$	$34,3 \pm 2,1$
9	$5,0 \pm 2,6$	$2,6 \pm 1,7$	$3,4 \pm 1,1$	$1,80 \pm 0,84$	$2,8 \pm 1,6$

W otrzymanym modelu przeliczenia oszacowania dawki na podstawie zliczeń otrzymano współczynnik $a = 0,00997 \mu\text{Sv} \cdot \text{minuta/rok}$.

Tabela 5. Liczba zliczeń fotonów przeliczona na przyjętą dawkę roczną przy wyłączonej lampie (promieniowanie tła). Punkty w których dawka skuteczna została przekroczona dla ogółu ludności zaznaczono kolorem jasnożółtym, dla praktykantów i studentów 16-18 l. pomarańczowym, dla osób narażonych zawodowo ciemnopomarańczowym.

Id	H _r [mSv/rok]			E [mSv/rok]
	Skóra	Oczy	Dłonie	
1	0,009	0,011	0,011	0,931
2	0,007	0,008	0,008	0,697
3	0,007	0,008	0,008	0,697
4	0,016	0,020	0,020	1,628
5	0,010	0,013	0,013	1,046
6	0,021	0,025	0,025	2,092
7	0,010	0,013	0,013	1,046
8	0,021	0,025	0,025	2,092
9	0,015	0,018	0,018	1,510
10	0,008	0,010	0,010	0,812
11	0,015	0,018	0,018	1,510
12	0,015	0,018	0,018	1,510
13	0,010	0,013	0,013	1,046
14	0,012	0,014	0,014	1,161
15	0,010	0,013	0,013	1,046

Tabela 6. Liczba zliczeń fotonów przeliczona na przyjętą dawkę roczną przy włączonej lampie i $U = 20 \text{ kV}$. Punkty w których dawka skuteczna została przekroczona dla ogółu ludności zaznaczono kolorem jasnożółtym, dla praktykantów i studentów 16-18 l. pomarańczowym, dla osób narażonych zawodowo ciemnopomarańczowym.

Id	H _r [mSv/rok]			E [mSv/rok]
	Skóra	Oczy	Dłonie	
1	0,575	0,690	0,690	57,524
2	0,288	0,346	0,346	28,821
3	0,048	0,057	0,057	4,766
4	0,013	0,015	0,015	1,290
5	0,012	0,014	0,014	1,150
6	0,005	0,006	0,006	0,464
7	0,009	0,011	0,011	0,941
8	0,010	0,013	0,013	1,046
9	0,010	0,013	0,013	1,046
10	0,010	0,013	0,013	1,046
11	0,019	0,022	0,022	1,858
12	0,008	0,010	0,010	0,812
13	0,014	0,017	0,017	1,395
14	0,010	0,013	0,013	1,046
15	0,021	0,025	0,025	2,092

Tabela 7. Liczba zliczeń fotonów przeliczona na przyjętą dawkę roczną przy włączonej lampie i $U = 30 \text{ kV}$. Punkty w których dawka skuteczna została przekroczona dla ogółu ludności zaznaczono kolorem jasnożółtym, dla praktykantów i studentów 16-18 l. pomarańczowym, dla osób narażonych zawodowo ciemnopomarańczowym.

Id	H _r [mSv/rok]			E [mSv/rok]
	Skóra	Oczy	Dłonie	
1	17,418	20,901	20,901	1741,761
2	16,187	19,424	19,424	1618,695
3	1,303	1,563	1,563	130,273
4	0,026	0,031	0,031	2,555
5	0,018	0,022	0,022	1,848
6	0,009	0,011	0,011	0,931
7	0,009	0,011	0,011	0,941
8	0,015	0,018	0,018	1,511
9	0,013	0,015	0,015	1,255
10	0,015	0,018	0,018	1,510
11	0,015	0,018	0,018	1,510
12	0,009	0,011	0,011	0,931
13	0,012	0,014	0,014	1,161
14	0,010	0,013	0,013	1,046
15	0,008	0,010	0,010	0,812

Tabela 8. Liczba zliczeń fotonów przeliczona na przyjętą dawkę roczną przy włączonej lampie i $U = 35 \text{ kV}$. Punkty w których dawka skuteczna została przekroczona dla ogółu ludności zaznaczono kolorem jasnożółtym, dla praktykantów i studentów 16-18 l. pomarańczowym, dla osób narażonych zawodowo ciemnopomarańczowym.

Id	H _r [mTv/rok]			E [mSv/rok]
	Tkóra	Oczy	Dłonie	
1	61,976	74,371	74,371	6197,617
2	51,801	62,161	62,161	5180,079
3	3,715	4,458	4,458	371,526
4	0,079	0,095	0,095	7,914
5	0,067	0,081	0,081	6,729
6	0,022	0,026	0,026	2,196
7	0,014	0,017	0,017	1,395
8	0,008	0,010	0,010	0,813
9	0,013	0,015	0,015	1,255
10	0,014	0,017	0,017	1,395
11	0,013	0,015	0,015	1,279
12	0,017	0,021	0,021	1,743
13	0,014	0,017	0,017	1,395
14	0,009	0,011	0,011	0,931
15	0,010	0,013	0,013	1,046

Tabela 9. Liczba zliczeń fotonów przeliczona na przyjętą dawkę roczną przy włączonej lampie i $U = 40\text{kV}$. Punkty w których dawka skuteczna została przekroczona dla ogółu ludności zaznaczono kolorem jasnożółtym, dla praktykantów i studentów 16-18 l. pomarańczowym, dla osób narażonych zawodowo ciemnopomarańczowym.

Id	H _T [mSv/rok]			E [mSv/rok]
	Skóra	Oczy	Dłonie	
1	194,289	233,146	233,146	19428,868
2	119,490	143,388	143,388	11948,986
3	8,988	10,785	10,785	898,771
4	0,383	0,460	0,460	38,349
5	0,416	0,499	0,499	41,592
6	0,058	0,070	0,070	5,822
7	0,050	0,060	0,060	4,985
8	0,073	0,088	0,088	7,321
9	0,006	0,008	0,008	0,628
10	0,005	0,006	0,006	0,464
11	0,010	0,013	0,013	1,046
12	0,009	0,011	0,011	0,931
13	0,013	0,015	0,015	1,279
14	0,006	0,007	0,007	0,582
15	0,010	0,013	0,013	1,046

Tabela 10. Liczba zliczeń fotonów przeliczona na przyjętą dawkę roczną przy włączonej lampie i $U = 45\text{kV}$. Punkty w których dawka skuteczna została przekroczona dla ogółu ludności zaznaczono kolorem jasnożółtym, dla praktykantów i studentów 16-18 l. pomarańczowym, dla osób narażonych zawodowo ciemnopomarańczowym.

Id	H _T [mSv/rok]			E [mSv/rok]
	Skóra	Oczy	Dłonie	
1	429,925	515,910	515,910	42992,502
2	210,777	252,932	252,932	21077,661
3	19,576	23,491	23,491	1957,564
4	1,942	2,330	2,330	194,188
5	1,733	2,079	2,079	173,270
6	0,205	0,246	0,246	20,465
7	0,120	0,143	0,143	11,958
8	2,306	2,767	2,767	230,561
9	0,010	0,012	0,012	0,976
10	0,021	0,025	0,025	2,092
11	0,010	0,013	0,013	1,046
12	0,014	0,017	0,017	1,395
13	0,021	0,025	0,025	2,092
14	0,012	0,014	0,014	1,161
15	0,019	0,022	0,022	1,858

4. DYSKUSJA WYNIKÓW

W punkcie pomiarowym 1 (bezpośrednio pod wiązką) dopuszczalna roczna dawka skuteczna została przekroczona dla wszystkich wartości napięcia lampy, natomiast dawki równoważne dla każdego z narządów nie zostały przekroczone dla wartości napięcia poniżej 35 kV. Dla wartości napięcia 35 kV przekroczona została jedynie roczna dawka równoważna dla oczu.

Również w punktach pomiarowych znajdujących się 6,5 cm i 13,0 cm od wiązki dawki skuteczne zostały przekroczone dla napięć powyżej 20 kV. Jedynie dla napięcia 20 kV w punkcie oddalonym o 13 cm od wiązki nie została przekroczona dawka dla osób narażonych zawodowo (4,8 mSv/rok).

W pozostałych punktach pomiarowych wewnątrz obudowy lampy maksymalna dawka skuteczna dla studentów i uczniów poniżej 18 r.ż. została przekroczona powyżej napięcia 30 kV, natomiast dawka równoważna nie została przekroczona dla żadnej wartości napięcia dla każdego z narządów.

Dla napięcia 40 kV w punktach wewnątrz obudowy zostały przekroczone dawki graniczne dla osób narażonych zawodowo (punkty 4 i 5 znajdujące się od strony frontowej urządzenia).

W punkcie 8 leżącym bezpośrednio pod wiązką, ale poza obudową lampy dla napięć 20kV - 35 kV nie zaobserwowano wpływu lampy na obserwowaną dawkę (0,6-1,5 mSv/rok). Dla napięcia 40kV zaobserwowano zwiększenie dawki do 7,321 mSv/rok przekraczające wartość graniczną dla uczniów i studentów poniżej 18 r. ż.

Dla punktów leżących wewnątrz pomieszczenia 4.61 oraz na korytarzu nie zaobserwowano wpływu włączenia lampy na dawkę skuteczną, która wynosiła do 2,1 mSv/rok.

5. WNIOSKI

Ze względów bezpieczeństwa podczas pracy z lampą należy stosować zamkniętą obudowę. Podczas pracy z napięciami 20-40 kV otrzymana dawka promieniowania jest rzędu promieniowania tła.

Dla napięć powyżej 40 kV należy zwrócić uwagę, aby w przypadku uczniów i studentów poniżej 18 r. ż. oraz osób z ogółu ludności nie przebywać w miejscu tuż pod obudową lampy.

REFERENCJE

- [1] Kodeks pracy, art. 223 § 1, DU rok 1974 numer 24 poz. 141.
- [2] Kodeks pracy, art. 223 § 2, DU rok 1974 numer 24 poz. 141.
- [3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18.01.2005 r. dz.u. z dnia 3.02.2005 r. poz. 168.