

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 1872/D

**Pomiary dawek promieniowania kosmicznego
w samolotach pasażerskich LOT. Etap I.**

(w ramach projektu badawczego KBN Nr 4P05D01618)

P. Bilski, M. Budzanowski, T. Horwacik, B. Marczewska

i P. Olko

Abstract:

Radiation doses received by a group of 30 pilots of the Polish Airlines LOT were investigated between July and October 2000. The measurement of the low-LET component of the cosmic radiation, lasting in average 2 months, was performed with $^7\text{LiF:Mg,Ti}$ and $^7\text{LiF:Mg,Cu,P}$ thermoluminescent detectors. The neutron component was measured with the thermoluminescent albedo cassettes. Additionally for all flights, records of altitude profiles were kept and effective doses were then calculated with the CARI-6 computer code. In total, about 560 flights were included in the calculations. The highest obtained dose was about 0.8 mSv in 2 months. Results of calculations are mostly consistent with the results of measurements.

1. Wprowadzenie

W okresie od początku lipca do początku października roku 2000 zostały przeprowadzone pomiary dawek promieniowania jonizującego w samolotach LOT. Ich celem było zarówno wstępne oszacowanie dawek otrzymywanych przez załogi samolotów, jak i zbadanie własności różnego typu detektorów termoluminescencyjnych pod kątem ich przydatności w pomiarach promieniowania kosmicznego. Niniejszy raport dotyczy wyłącznie realizacji pierwszego z tych celów. Informacje dotyczące weryfikacji metody pomiarowej zostaną opublikowane w specjalistycznych czasopismach naukowych.

2. Metoda pomiaru

Zastosowane zostały dwa rodzaje zestawów pomiarowych. Pierwszy stanowił tzw. dawkomierz albedo, będący typowym indywidualnym dozymetrem neutronowym, używanym dość powszechnie np. w elektrowniach jądrowych lub w otoczeniu akceleratorów. Wykorzystuje on do pomiaru dawki neutronowej zjawisko spowolnienia i odbicia neutronów przez ciało człowieka. Dawkomierz albedo zawiera detektory termoluminescencyjne typu LiF:Mg,Ti różniące się między sobą składem izotopowym: wzbogacone są odpowiednio w izotop ^7Li lub ^6Li . Izotopy te różnią się bardzo znacząco zdolnością do reakcji z neutronami, co umożliwia oddzielenie dawki neutronowej od dawki pochodzącej od składowej jonizującej promieniowania (promieniowanie gamma i cząstki naładowane: protony, elektrony, pozytony, miony, piony). W dawkomierzu znajdują się dwie pary detektorów $^6\text{LiF}/^7\text{LiF}$, mierzące odpowiednio dawkę od neutronów przychodzących z zewnątrz i tych odbitych przez ciało.

Drugi zestaw pomiarowy zawierał szereg detektorów termoluminescencyjnych typu LiF:Mg,Ti oraz LiF:Mg,Cu,P, wykazujących różne własności w zależności od rodzaju promieniowania, na jakie są ekspozycje. Wśród nich znajdowały się również standardowe detektory $^7\text{LiF:Mg,Ti}$, identyczne z tymi używanymi w dawkomierzach albedo. Zestaw ten pozwalał na określenie dawki pochodzącej od składowej jonizującej promieniowania kosmicznego.

Oprócz dawkomierzy, osoby biorące udział w pomiarach otrzymały również formularze, w których miały notować informacje dotyczące każdego lotu, takie jak: data, typ samolotu, czas oraz miejsce startu i lądowania, kolejne wysokości przelotowe wraz z czasami przebywania na nich. Dane te miały posłużyć do obliczenia dawek efektywnych (obejmujących przyczynki od

wszystkich rodzajów promieniowania) przy użyciu programu komputerowego CARI-6 [1]. Program ten został opracowany przez Federal Aviation Administration w Stanach Zjednoczonych i jest pewnego rodzaju standardem stosowanym do obliczenia dawek od promieniowania kosmicznego na pokładzie samolotów pasażerskich na całym świecie

Ogółem przygotowano 15 dawkomierzy albedo oraz 30 zestawów pomiarowych drugiego typu. W ten sposób połowa uczestników pomiarów wyposażona była w dwa rodzaje dawkomierzy. Zgodnie z założeniami większość zestawów przydzielono osobom latającym głównie na trasach transatlantyckich. Personalia osób biorących udział w pomiarach nie były znane zespołowi Instytutu Fizyki Jądrowej. Dawkomierze były zwracane do IFJ i odczytywane w kilku partiach, poczynając od drugiej dekady października, a kończąc w połowie listopada. Do momentu sporządzenia niniejszego raportu kilka zestawów pomiarowych nadal nie zostało zwróconych.

Odczytu dawkomierzy dokonano na laboratoryjnym czytniku termoluminescencyjnym typu RA'94. Zasadnicza kalibracja została dokonana przy użyciu promieniowania gamma ze źródła promieniotwórczego ^{137}Cs w jednostkach kermy powietrznej (miligreje, mGy). W celu wyrażenia wyników w jednostkach dawki równoważnej (milisiwerty, mSv) dla składowej jonizującej przyjęto zalecany dla źródła ^{137}Cs współczynnik 1.21 mSv/mGy. W przypadku dawek neutronowych arbitralnie przyjęto współczynnik 5 mSv/mGy, który dawał najlepszą zgodność pomiarów z wynikami obliczeń programem CARI. Wynikało to z faktu, że spektrum energetyczne neutronów pochodzenia kosmicznego znacznie odbiega od tych, które można uzyskać ze źródeł izotopowych i dokonanie dokładnej kalibracji w warunkach laboratoryjnych jest niemal nieosiągalne. Dlatego też rezultaty pomiarów dawek neutronowych należy traktować jedynie jako względne i w tym wypadku jako bardziej wiarygodne należy przyjąć wyniki obliczeń.

3. Wyniki pomiarów i dyskusja

Zbiórcze zestawienie wyników dla poszczególnych osób, przedstawione jest w Tabeli 1. Podane wartości zmierzone przez detektory TL uwzględniają korektę na sygnał pochodzący od naturalnego tła na powierzchni ziemi. Ponieważ sumaryczny czas lotów był wielokrotnie krótszy od całkowitego czasu, jaki upłynął między przygotowaniem detektorów a ich odczytem, dawka pochodząca od tła istotnie wpływała na wyniki i dokonanie odpowiednich poprawek było koniecznym. W tym celu od wskazań detektorów odjęte zostały dawki tła, obliczone przy

przyjęciu średniej mocy dawki (kermy powietrznej) promieniowania naturalnego w Polsce (w budynkach) wynoszącej 69 nGy/h. Zaznaczyć trzeba, że faktyczne wartości dawki tła mogły być znacząco różne. Tak na przykład prawdopodobnie było w przypadku osoby #1, dla której zmierzono dwukrotnie większą dawkę niż wynikała z obliczeń. Również w przypadku osoby #9 zauważyć można istotną rozbieżność (dawka zmierzona 0.86 mSv, dawka obliczona 0.53 mSv). Może być ona spowodowana wyższym tłem promieniowania lub заниzeniem obliczonej dawki przez program CARI (z powodu niekompletnych danych dotyczących przebiegu lotów, lub też rzeczywista moc promieniowania kosmicznego była większa niż wartości średnie zakładane przez program). Pewne wątpliwości może budzić również wynik obliczony dla osoby #30. Uzyskana dla niej dawka efektywna jest niemal równa zmierzonej składowej jonizującej. Ponieważ osoba ta latała wyłącznie na trasach transatlantyckich, gdzie udział składowej neutronowej jest znaczący (ok. 50%), dawka efektywna powinna być zdecydowanie wyższa. Przyczyną rozbieżności mogą być niekompletne dane (formularz zawierał jedynie 8 lotów) lub też dawkomierze otrzymały na ziemi wyższą dawkę promieniowania niż zakładane tło naturalne. Dla pozostałych dawkomierzy można stwierdzić, że wyniki pomiarów potwierdzały rezultaty obliczeń.

W przypadku dawkomierzy neutronowych #1- #6 sygnał był poniżej progu detekcji.

Największa obliczona dawka efektywna wyniosła 0.82 mSv (#28). Wynik ten został uzyskany dla 10 rejsów transatlantyckich tam i z powrotem, (czyli 20 lotów), odbytych w ciągu nieco ponad 2 miesiące (ostatni zapis 11 września). Średnie i skrajne wartości dla poszczególnych typów lotów są przedstawione w Tabeli 2.

Warto zwrócić uwagę, że pomiary odbywały się w okresie maksimum cyklu aktywności Słońca, co oznacza niski poziom promieniowania kosmicznego (moc promieniowania kosmicznego docierającego do Ziemi jest odwrotnie skorelowana z aktywnością słoneczną). Gdyby te same loty odbywały się na przykład w roku 1997, dawki efektywne byłyby o ok. 40% wyższe.

Otrzymane wyniki można spróbować odnieść do zalecanych w krajach Unii Europejskiej rocznych limitów dawek [2, 3]. Istnieją dwie takie istotne wartości: 1 mSv i 6 mSv. Jeżeli załogi latające mogą być narażone na wyższe niż 1 mSv dawki roczne, to winna być prowadzona ocena tego narażenia. Dodatkowo, w przypadku kobiet w ciąży, pracodawca musi zapewnić, że dawka 1 mSv nie zostanie przekroczona w całym okresie ciąży. Jednocześnie zaleca się pracodawcom

takie dostosowywanie rozkładów pracy, by żaden z pracowników nie przekroczył dawki rocznej 6 mSv. Przeprowadzając najbardziej pesymistyczną ekstrapolację otrzymanych wyników na czas całego roku, tzn. przyjmując za podstawę wyniki ok. 0.8 mSv w ciągu ok. 2 miesięcy (#28), granica 6 mSv wciąż nie jest przekroczona (aczkolwiek, gdyby loty odbywały się w okresie minimum aktywności słonecznej, takie przekroczenie miałyby miejsce). Przyjmując zaś typowe wartości uzyskane w całym okresie 3 miesięcy, otrzymanie dawki większej niż 6 mSv byłoby niemożliwe, nawet w okresie minimum słonecznego. Z drugiej strony dawki wszystkich osób latających na samolotach typu B767 zdecydowanie przekraczają poziom 1 mSv rocznie. Również w przypadku lotów na trasach europejskich (samoloty B737 i EMB145) takie przekroczenie jest realne. Natomiast w przypadku samolotów ATR wydaje się to niemożliwe.

4. Podsumowanie

Otrzymane wyniki są generalnie zbliżone do tych uzyskanych w badaniach przeprowadzanych w innych krajach [4, 5]. Dawki roczne osób latających tak na trasach długodystansowych jak i europejskich, przekraczają poziom 1 mSv, a więc winny podlegać ocenie. Wydaje się natomiast, że przekroczenia progu 6 mSv, jeżeli w ogóle występują, to jedynie sporadycznie. W przypadku osób latających wyłącznie na trasach krajowych, prowadzenie oceny narażenia na promieniowanie kosmiczne nie wydaje się konieczne. Trzeba jednak zrobić zastrzeżenie, że prawdziwość powyższych wniosków zależy od tego na ile reprezentatywne był analizowany zestaw lotów.

Dalsze prace badawcze będą wiązały się m.in. z ulepszeniem metod pomiaru dawek neutronowych, które obarczone są największą niepewnością. W drugiej serii pomiarów planuje się umieszczenie nieco zmienionych zestawów dawkomierzy w poszczególnych samolotach na okres ok. 2 miesięcy (a więc byłyby to dawkomierze środowiska, a nie dawkomierze osobiste). Ten sposób pozwoli na uzyskanie znacznie lepszego stosunku sygnały pochodzącego od promieniowania kosmicznego do sygnału tła. Planowane jest również prowadzenie badań nad sposobem kalibracji dawkomierzy neutronowych w wysokoenergetycznym polu promieniowania, symulującym promieniowanie kosmiczne, znajdującym się w ośrodku CERN w Szwajcarii. W dalszej perspektywie przewiduje się także przeprowadzenie w czasie jednego lotu pomiarów porównawczych przy użyciu przyrządów aktywnych, w tym przede wszystkim tzw. tkankorównoważnego licznika proporcjonalnego, co pozwoli na dokonanie bezwzględnej kalibracji stosowanych dawkomierzy.

LITERATURA

- [1] W. Friedberg, K. Copeland, F.E. Duke, K. O'Brien III, E.B. Darden "Guidelines and technical information provided by the US Federal Aviation Administration to promote radiation safety for air carrier crew member". *Radiat. Prot. Dopsim.* 86, 323 (1999)
- [2] "Podstawowe Normy Bezpieczeństwa dotyczące ochrony zdrowia przed promieniowaniem jonizującym pracowników i ogółu ludności" (Dyrektywa Rady Unii Europejskiej Nr 96/29/Euratom) *Bezp. Jądr. i Ochr. Radiol.* Nr 4/96 (Vol.29)
- [3] "Zalecenia dla wdrażania części VII europejskich Podstawowych Norm Bezpieczeństwa dotyczącej znacznego wzrostu narażenia na promieniowanie pochodzące ze źródeł naturalnych". *Bezp. Jądr. i Ochr. Radiol.* Nr 1/99 (Vol.37)
- [4] F. Verhaegen, M. Poffijn "Air crew exposure on long-haul flights of the Belgian airlines" *Radiat. Prot. Dosim.* 88, 143 (2000)
- [5] B. J. Lewis, P. Tume, L.G.I. Bennet, M. Pierre, A.R. Green, T. Cousins, B.E. Hoffarth, T.A. Jones, J.R. Brisson "Cosmic radiation exposure on Canadian-based commercial airline routes" *Radiat. Prot. Dosim.*, 86 (1999)

Tabela 1

Wartości dawki efektywnej zmierzone oraz obliczone przy użyciu programu CARI-6 dla poszczególnych osób za okres ok. 3 miesięcy (lipiec-wrzesień 2000).

Nr osoby	Typ samolotu	Obliczona dawka efektywna, mSv		Dawka zmierzona, mSv	
		składowa	jonizująca	składowa neutronowa	dawka całkowita (neutr. + joniz.)
#01	ATR	0.02	0.05	0	0.05
#03	EMB145	0.17	0.15	0	0.15
#05	B737	0.28	0.19	0	0.19
#06	B737	0.19	0.15	0	0.15
#07	B767	0.60	0.27	0.41	0.68
#08	B767	0.59	0.28	0.36	0.64
#09	B767	0.53	0.37	0.49	0.86
#10	B767	0.59	0.31	0.30	0.61
#11	B767	0.77	0.36	0.47	0.83
#12	B767	0.77	0.32	0.50	0.82
#13	B767/B737/EMB145	0.70	0.31	0.35	0.66
#14	-	-	0.26	0.37	0.63
#15	B767	0.66	0.26	0.38	0.64
#16	B767	0.53	0.25	-	-
#18	B767	0.71	0.38	-	-
#20	B767	0.64	0.26	-	-
#21	B767	0.65	0.26	-	-
#22	B767	0.61	0.37	-	-
#23	B767	0.60	0.29	-	-
#24	B767	0.64	0.27	-	-
#25	B767	0.63	0.27	-	-
#26	B762/B763	0.75	0.39	-	-
#27	B767/B737/ATR	0.48	0.31	-	-
#28	B767/B737	0.82	0.35	-	-
#29	B767/B737	0.71	0.32	-	-
#30	B767	0.30	0.28	-	-

Tabela 2

Średnie i skrajne wartości dawki efektywnej obliczone przy użyciu programu CARI-6 dla pojedynczych lotów.

Dawka efektywna, μ Sv	Typ lotu		
	krajowe	Europa i kraje śródziemnomorskie	długodystansowe (głównie transatlantyckie)
średnia	0.32	5.23	37.2
minimalna	0.16	0.58	22.6
maksymalna	0.66	12.5	69.2
Liczba lotów uwzględnionych w obliczeniach	74	166	348