

Celem pracy była ocena narażenia na promieniowanie jonizujące ludzi i środowiska na skutek wydalania  $^{131}\text{I}$  przez pacjentów poddanych leczeniu z powodu nadczynności tarczycy i w terapii uzupełniającej po radykalnym leczeniu operacyjnym z powodu zróżnicowanego raka tarczycy.

Klinika Endokrynologii i Terapii Izotopowej oraz Ośrodek Medycyny Nuklearnej usytuowane są w odrębnym budynku Centralnego Szpitala Klinicznego Wojskowej Akademii Medycznej, w którym zainstalowano zamknięty system kanalizacji ściekowej. Wysoko aktywne ścieki promieniotwórcze usuwane są jedynie do tego systemu. Napełnianie zbiornika zależy od tego, jak często pacjenci korzystają z toalet. Zajmuje to zwykle 20–30 dni. Po napełnieniu zbiornik zamykano. Czas, po którym ścieki będą uwolnione do kanalizacji miejskiej jest oceniany na podstawie monitorowania aktywności właściwej substancji w zbiorniku. W tym celu monitorowano aktywność właściwą zgromadzonych w zbiorniku substancji promieniotwórczych.

Na podstawie modeli matematycznych określono koncentrację radiojodu w układzie pokarmowym oraz tarczycy i oszacowano dawki, jakie może otrzymać hipotetyczny mieszkaniec przyrzecza.

Średni roczny równoważnik dawki pochłoniętej otrzymywany przez przeciętnego hipotetycznego dorosłego mieszkańca przyrzecza Wisły oszacowano na  $2,7 \mu\text{Sv}$ , a dla dziecka na ok.  $16 \mu\text{Sv}$ . Wartości te są znacznie niższe od wartości dawki granicznej.

Jest konieczne, aby przewidzieć, jak w przypadku konkretnego pacjenta, dysfunkcje tarczycy będą wpływały na wzrost wydalania radiojodu. Jest zalecane, aby nie kierować takich pacjentów jednocześnie do tej samej grupy terapeutycznej.

Słowa kluczowe: radiojod, odpady promieniotwórcze, ochrona radiologiczna środowiska.

# Analiza i ocena oddziaływania radiacyjnego na ludzi i środowisko ciekłych odpadów promieniotwórczych usuwanych z Zakładów Medycyny Nuklearnej

*Analysis and estimation of radiation influent on humans and environment of liquid radiation wastes withdrawal from Nuclear Medicine Department*

Dariusz Lewandowski<sup>1</sup>, Sławomir Jednoróg<sup>2</sup>, Grażyna Mazur<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii w Warszawie

<sup>2</sup> Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie

## WSTĘP

W dobie szerokiego zastosowania promieniowania istotnym problemem jest ochrona środowiska przed niekontrolowanym rozprzestrzenianiem się substancji promieniotwórczych. Narażenie to, ze względu na obecność promieniowania naturalnego, nie może być całkowicie wyeliminowane, a jedynie ograniczone do poziomów, które w świetle naszej dotychczasowej wiedzy nie powodują szkodliwych skutków zdrowotnych.

Ze źródeł narażenia radiacyjnego, w rozrachunku globalnym, liczą się jedynie ekspozycje z tła naturalnego, prób z bronią jądrową oraz w wyniku diagnostyki medycznej. Ekspozycje zawodowe stanowią pojedyncze odsetki wartości narażenia na naturalne tło promieniotwórcze.

Możliwości zredukowania obciążenia radiacyjnego populacji nale-

ży upatrywać w zmniejszeniu ekspozycji medycznej oraz we wzroście bezpieczeństwa jądrowego.

Przy medycznym zastosowaniu radionuklidów, oprócz ochrony radiologicznej personelu i pacjentów, utylizacja odpadów zawierających radionuklidy urasta do istotnego problemu.

W zakładach medycyny nuklearnej, stosujących izotopy promieniotwórcze do radioterapii poważnym zadaniem jest utylizacja ścieków zawierających wydaliny pacjentów. W przypadku równoczesnej radioterapii kilku pacjentów, skażenie promieniotwórcze ścieków może przekroczyć dopuszczalne poziomy.

W zarządzeniu Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z 19 maja 1989 r. dopuszczalny poziom zawartości radionuklidów o okresie półtrwania poniżej 60 dni ( $^{131}\text{I}$ , o  $T_{1/2} = 8$  dni), u wylotu kolektora zakładowego nie może przekra-

*The aim of the above paper was to estimate the radiation hazard of people and environment as the result of  $^{131}\text{I}$  emission after treatment of patients with thyroid overactivity as well as additional therapy after radical surgery in case of differential thyroid cancer.*

*The Endocrinology and Isotope Therapy Department and Nuclear Medicine Center are both located in separate facility of Central Military Hospital Military University of Medicine that has the separate close loop wastes system. The high activity wastes are released to the mentioned system only.*

*Refilling of reservoir depends on how often patients use toilet. It usually takes 20-30 days. After refilling the reservoir is closed. The time after which wastes are to be released to the municipal sewage is estimated by monitoring of specific activity collected in the reservoir.*

*Based upon a numerical model the concentration of radioiodine in ingestion system and thyroid and radiation doses for hypothetic riverside habitant was determined.*

*Average annual dose equivalent for the reference adult and kid habiting on the riverside was equal to 2,7  $\mu\text{Sv}$  and 16  $\mu\text{Sv}$ , respectively. Those values are significantly smaller from dose limit.*

*It is necessary to predict how the particular patient thyroid dysfunction will effect on increation of radioiodine expelling. It is advised to not post such a patients commonly to one therapeutic group.*

*Key words: Radioiodine, radiation wastes management, radiation protection of the environment*

cząć 10 ALI (*Annual Limit of Intake*) w  $\text{m}^3$  (dla  $^{131}\text{I}$  DS. – dopuszczalne stężenie =  $1 \times 10^7/\text{m}^3$ ), a maksymalna aktywność odpadów ciekłych, które usuwane są do wód za pomocą urządzeń kanalizacyjnych w ciągu miesiąca, nie może przekroczyć 100 ALI.

Za odpady powstałe w czasie medycznego używania substancji promieniotwórczych uważać należy: opakowania, w których dostarczono te substancje, materiały służące do ich podawania oraz wszelkie przybory mogące ulec skażeniu. Pacjenci poddani działaniu radiofarmaceutyków są również źródłem narażenia radiacyjnego. Powstaje ono głównie w wyniku wydychania skażonego powietrza, wydalania z organizmu pacjenta podanych mu substancji promieniotwórczych.

Celem pracy była ocena narażenia na promieniowanie jonizujące ludzi i środowiska na skutek wydalania  $^{131}\text{I}$  przez pacjentów poddanych leczeniu z powodu nadczynności tarczycy i w terapii uzupełniającej, po radykalnym leczeniu operacyjnym z powodu zróżnicowanego raka tarczycy. Wyniki będą podstawą do opracowania metodyki postępowania ze ściekami promieniotwórczymi we wszystkich placówkach prowadzących działalność związaną z leczeniem jodem promieniotwórczym.

## MATERIAŁ I METODY

Klinika Endokrynologii i Terapii Izotopowej Centralnego Szpitala Klinicznego Wojskowej Akademii Medycznej znajduje się na pierw-

szym piętrze w budynku specjalnie przystosowanym do pracy ze źródłami promieniotwórczymi.

Na terenie kliniki przebywają wyłącznie osoby zawodowo narażone na promieniowanie jonizujące oraz pacjenci poddani jodoterapii. Oddział podzielony jest na 2 części. Część *gorąca*, gdzie przebywają wyłącznie pacjenci po podaniu jodu promieniotwórczego, ma własną sieć kanalizacji.

Pacjenci poddani terapii izotopowej przebywają na terenie kliniki przez 3 dni od momentu podania radiojodu.

Budynek wyposażony jest w układ kanalizacyjny zakończony czterema odstojnikami. Każdy z nich jest w stanie przechowywać  $10 \text{ m}^3$  ścieków promieniotwórczych; w rezerwie jest zbiornik o pojemności  $50 \text{ m}^3$ . Nadzór nad magazynowaniem i usuwaniem odpadów promieniotwórczych sprawuje Zespół Nadzoru Radiologicznego Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii. Kontrola polega na badaniu ich aktywności, określaniu czasu ich przechowywania, organizowaniu dalszej utylizacji oraz podejmowaniu decyzji o zrzućeniu ścieków do kanalizacji miejskiej. W celu zapewnienia zgodności z wymienionymi przepisami prowadzone są systematyczne badania globalnej aktywności beta ścieków, pobieranych ze zbiorników (fot. 1.) oraz badania gamma-spektrometryczne.



**Fot. 1. Pobieranie próbki środowiskowej (ścieków)**



**Fot. 2. Analizowana próbka umieszczona na detektorze**

Z całej grupy metod radiometrycznych, obejmujących zarówno metody fizyczne, jak i chemiczne, wytypowano metodę spektrometrii  $\gamma$ , bazującą na detektorze z czystego germanu oraz analizie wielokanałowej. Detektor germanowy jest diodą półprzewodnikową typu p-i-n, w której warstwa wewnętrzna jest czuła na promieniowanie jonizujące, a w szczególności na promieniowanie X i  $\gamma$ .

W celu wykonania pomiaru aktywności substancji promieniotwórczych znajdujących się w próbce, wykorzystano 16-tysięcznokanałowy analizator amplitudy VARRO wyposażony w detektor germanowy o wydajności 18 proc. i rozdzielczości 2,04 keV oznaczonej dla energii 132 keV. Kalibrację energetyczną i wydajnościową spektrometru wykonano wzorcem QCY-48 sporządzonym z roztworu produkcji Amersham i atestowanym przez OBRI-Świerk. Próbkę ścieków o objętości 0,15 dm<sup>3</sup> umieszczono

w naczyniu na detektorze (fot. 2.). Pomiar wykonano w domku osłonowym, którego ścianki wykonane są z ołowiu i miedzi (100 mm Pb + 2 mm Cu). Detektor chłodzono ciekłym azotem znajdującym się pod stanowiskiem osłonowym.

## WYNIKI

W celu pełnego zobrazowania aktywności odpadów promieniotwórczych odprowadzanych z Kliniki Endokrynologii i Terapii Izotopowej CSK WAM prowadzono monitorowanie zbiorników w dniu ich zamykania (przed schłodzeniem – ryc. 1.).

Wartości aktywności radionuklidów w odstojnikach nie są ze sobą skorelowane. Zależą one natomiast od liczby pacjentów pozostających w cyklu terapeutycznym oraz rodzajów schorzeń. W przypadkach chorych z rezydualną tarczycą traktowaną radiojodem, w celu uzyskania dużych aktywności, stosuje się relatywnie wysokie

dawki podawanego izotopu. Tym samym spodziewać się należy odpowiednio wysokich zawartości tego radiojodu w wydalinach. Tego rodzaju przypadki kliniczne nie powinny być ze sobą łączone, m.in. ze względu na bezpieczeństwo radiologiczne personelu oraz przekraczanie DS. (ryc. 2.) radionuklidów w ściekach.

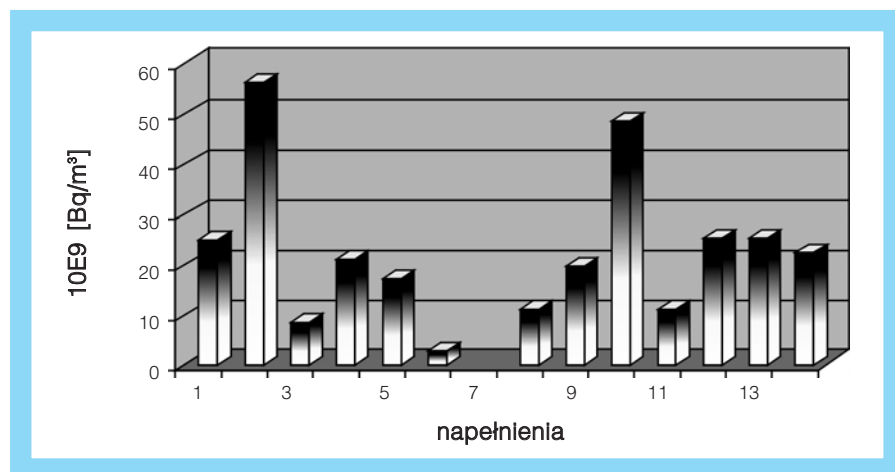
W wyniku oceny aktywności radionuklidów zgromadzonych w odstojniku oszacowano każdorazowo czas składowania ścieków. Na tej podstawie oceniono termin ich zrzutu do ścieków komunalnych. Pomimo tego dokonywano powtórnego monitorowania aktywności po okresie schładzania, tuż przed odprowadzeniem ścieków do instalacji komunalnej (ryc. 2.).

W celu oszacowania oddziaływania radiacyjnego Zakładu Medycyny Nuklearnej na środowisko posłużono się modelem CF (ang. *Concentration Faction*). Na tej podstawie obliczono roczne równoważniki dawek dla przeciętnego człowieka dorosłego oraz dziecka.

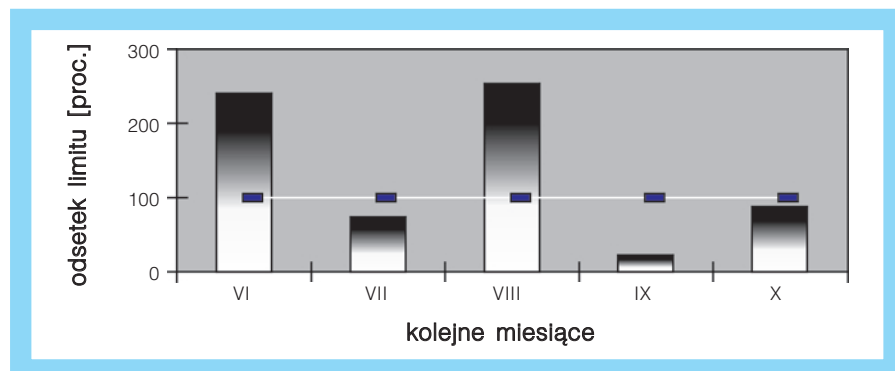
W modelu założono, że źródłem skażeń wody są ciekłe odpady promieniotwórcze odprowadzane do ścieków komunalnych. Schemat przedziałowy migracji radionuklidów ze środowiska wodnego do organizmu człowieka przedstawiono na ryc. 3.

Model metabolizmu człowieka przedstawiono na ryc. 4. Przyjęto założenie, że jedynie osoby żyjące wewnątrz obszaru przyległego do ciekłu wodnego ulegać będą narażeniu. Nie uwzględniano transferu żywności i wody poza ten obszar. Schemat ten w literaturze przedmiotu (ICRP23) przyjęto nazywać modelem człowieka przeciętnego. Zapewnia on poprawność funkcjonowania przy różnych drogach narażenia radiacyjnego.

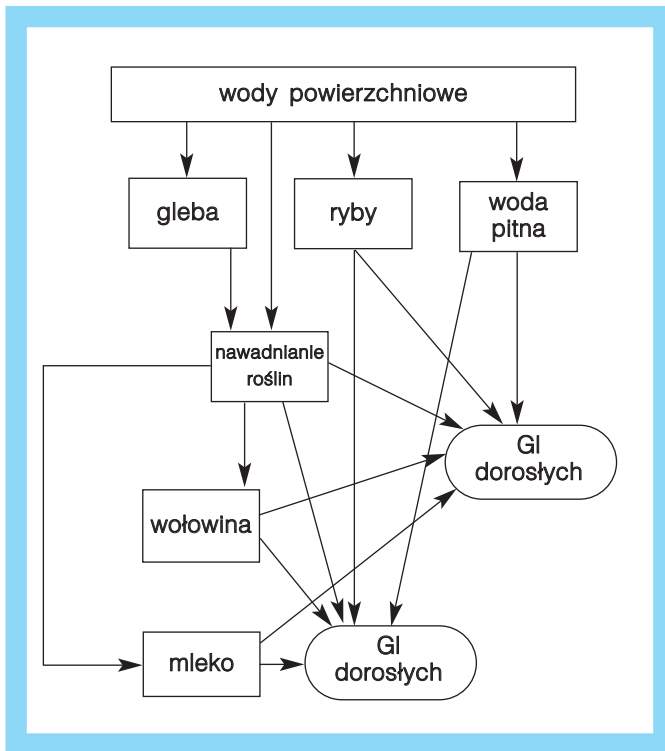
Na podstawie odpowiednich modeli można określić, że koncen-



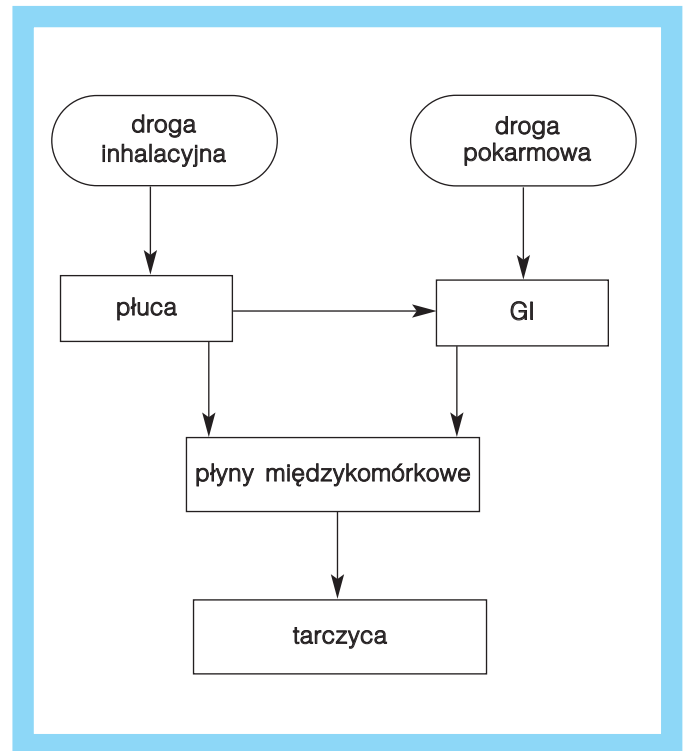
Ryc. 1. Aktywność <sup>131</sup>I po zamknięciu w celu spadku aktywności



Ryc. 2. Aktywność <sup>131</sup>I w momencie zrzutu do kanalizacji miejskiej w stosunku do DS



Ryc. 3. Schemat migracji jodu w środowisku



Ryc. 4. Model metabolizmu człowieka

tracja radiojodu w układzie pokarmowym człowieka dorosłego wyrazi się wzorem:

$$(koncentracja\ w\ układzie\ pokarmowym) = (koncentracja\ w\ mleku) \cdot M_{\delta} F'_{\delta 1} + (koncentracja\ w\ wołowinie) \cdot B_{\delta} F'_{\delta 1} + (koncentracja\ w\ nawadnianych\ uprawach) \cdot E_{\delta} F'_{\delta 1} + (koncentracja\ w\ rybach) \cdot P_{\delta} F'_{\delta 1} + (koncentracja\ w\ wodzie\ pitnej) \cdot L_{\delta} F'_{\delta 1}$$

gdzie:

$X_6$  = koncentracja w mleku,

$X_5$  = koncentracja w wołowinie,

$X_4$  = koncentracja w nawadnianych uprawach,

$X_2$  = koncentracja w rybach,

$X_1$  = koncentracja w wodzie pitnej.

Odpowiednio koncentracja radionuklidu w tarczycy jest pochodną koncentracji w układzie pokarmowym i układzie oddechowym. W rozpatrywanym modelu droga inhalacyjna nie ma znaczenia, ponieważ nie występuje frakcja lotna. Tak więc koncentracja izotopu w tarczycy wyraża się wzorem:

$(koncentracja\ w\ tarczycy) = (koncentracja\ w\ płynach\ międzykomórkowych) \cdot F_{\delta 4 \delta 3} \cdot (koncentracja\ w\ układzie\ pokarmowym) \cdot F_{\delta 1}$

gdzie:

$X_{\delta 4}$  = koncentracja w tarczycy,

$X_{\delta 3}$  = koncentracja w płynach międzykomórkowych,

$X_{\delta 1}$  = koncentracja w układzie pokarmowym,

$F_{\delta 4 \delta 3}$  = współczynnik przejścia płyny międzykomórkowe – tarczyca,

$F_{\delta 1}$  = współczynnik przejścia układ pokarmowy – płyny międzykomórkowe.

Do obliczenia narażenia osób przebywających w rejonie Wisły przyjęto następujące jej uśrednione wymiary: długość zagrożonego odcinka 1000 m, głębokość 3,5 m i szerokość 100 m. Otrzymano następujące wyniki:

- dla dorosłego – 2,7  $\mu$ Sv;
- dla dziecka – 16  $\mu$ Sv.

Wartości te są znacznie niższe od limitów granicznych wchłoneń radionuklidów dla osób z populacji.

## WNIOSKI

Uzyskane wyniki mogą być wykorzystywane na etapie planowania i organizowania oddziałów mających zamiar stosować leczenie pacjentów za pomocą jodu. Jak wykazano w pracy DS odpadów promieniotwórczych są znacznie przekraczane i nie mogą być bezpośrednio usuwane do kanalizacji komunalnej. Kolejnym problemem jest ilość i pojemność stosowanych zbiorników na odpady promieniotwórcze. Na etapie planowania działalności Kliniki należy uwzględnić już jaką przewidywaną liczbę pacjentów planuje się leczyć i z jaką częstotliwością.

- Z pracy wynika bezpośrednio, że:
- średnia dobowo wartość aktywności ciekłych odpadów promieniotwórczych odprowadzanych z Kliniki Endokrynologii i Terapii Izotopowej CSK WAM wynosi  $0,2 \cdot 10^{-3}$  Bq/l,
  - średni roczny równoważnik dawki pochłoniętej otrzymywany przez przeciętnego hipotetycznego dorosłego mieszkańca przyrzeczka Wisły wynosi 3,2 nSv,



► średni roczny równoważnik dawki pochłoniętej otrzymywany przez przeciętne hipotetyczne dziecko zamieszkujące przyrzecze Wisły wynosi 2,6  $\mu\text{Sv}$ .

Pomimo sporadycznych przekroczeń DS oddziaływanie radiacyjne Kliniki Endokrynologii i Terapii Izotopowej CSK WAM na środowisko i ludzi jest niewielkie. W konkluzji należy stwierdzić, że:

► na etapie kwalifikowania pacjentów do jodoterapii należy przewidzieć, w jakim stopniu dysfunkcje tarczycy będą rzutowały na pojawianie się zwiększonego wydalania radiojodu i zdecydowanie nie łączyć takich przypadków klinicznych w jednej grupie (czasowej);

► kliniki terapii izotopowej stosujące jod promieniotwórczy muszą posiadać zamkniętą sieć kanalizacyjną, zakończoną kilkoma odstożnikami, co pozwoli na kontrolę odprowadzanych izotopów. Monitorowanie należy prowadzić po zamknięciu odstożników i przed zrzutem do sieci komunalnej, a ścieki powinny być przetrzymywane do momentu, gdy aktywność izotopu osiągnie wartość wymaganą przepisami ustawy *Prawo atomowe*;

► kontrola napełniania zbiornika oraz odcięcie go i uruchomienie kolejnego powinno odbywać się w sposób automatyczny lecz pod kontrolą operatora.

Uwzględniając ograniczenia zawarte w zarządzeniu Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z 19 maja 1989 r. otrzymujemy aktywność 10 MBq  $^{131}\text{I}$  przy wylocie kolektora i 100 MBq jako limit miesięczny usuwany do kanalizacji. Utrzymanie tych ograniczeń, szczególnie 100 MBq (2,7 mCi)  $^{131}\text{I}$  jako miesięcznego limitu dla zakładu leczącego kilkunastu pacjentów miesięcznie będzie trudne w praktyce. Dlatego zastosowanie rozwiązań istniejących w Klinice Endokrynologii i Terapii

Izotopowej CSK WAM oraz ciągłe monitorowanie wydają się być konieczne.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. *Prawo atomowe*, Dziennik Ustaw z 18 stycznia 2001 r.
2. Państwowa Agencja Atomistyki (PAA). Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z 19 maja 1989 r. w sprawie usuwania odpadów promieniotwórczych. Monitor Polski z 1989 r., Nr 18, poz. 125.
3. Jednoróg S, Mazur G. *Usuwanie odpadów promieniotwórczych przez placówki służby zdrowia*. Problemy Medycyny Nuklearnej 1993; 11 (22): 89-93.
4. ICRP 23 (1974). *Report of the Task Group on Reference Man*. ICRP Publication 23.
5. ICRP 29 (1979). *Radionuclide Release into the Environment: Assessment of Doses to Man*. ICRP Publication 29.
6. ICRP 26 (1977). *Recommendations of the ICRP. Annals of the ICRP 1 (3)*. Reprinted (with additions) in 1987. Superseded by ICRP Publication 60, International Commission on Radiological Protection.

#### ADRES DO KORESPONDENCJI

kpt. mgr inż. **Dariusz Lewandowski**  
ul. Kozielska 4  
01-163 Warszawa  
tel. (022) 685 31 11