



# NIEKTÓRE ELEMENTY NARAŻENIA RADIOLOGICZNEGO MIESZKAŃCÓW WOJEWÓDZTWA ŁÓDZKIEGO

*Henryk Bem, Piotr Wieczorkowski, Monika Ostrowska*  
*Instytut Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej, 90-924 Łódź, ul. Żwirki 36*

## **Some elements of radiological hazard for Łódź region population.**

The radionuclide releases together with escaping fly ashes (ca.  $3 \cdot 10^6$  kg annually) and the deposited bottom slags from three local coal fired power plants resulted in the enhanced natural radioactivity levels in this region. The annual emissions of the most important radionuclides to the atmosphere from that sources were: 1.2 GBq for  $^{210}\text{Pb}$ , 1.1 GBq for  $^{238}\text{U}$ , 0.8 GBq for  $^{226}\text{Ra}$ , 0.6 GBq for  $^{232}\text{Th}$  and 5.3 GBq for  $^{40}\text{K}$ . Two areas with expected higher values of the solid fall out were found inside the town by computer modelling. Natural  $\gamma$  background dose rates (1 m above ground levels) were measured using thermoluminescence detectors at over 80 points including those areas. The average dose rate value for Łódź town was equal 34 nGy/h, whereas for those two areas was slightly higher (38 nGy/h). Further confirmation of the technologically enhanced exposure of local population to natural radionuclides was achieved by  $\gamma$  - spectrometry measurements of the surface soil profiles (up to 30 cm depth). However, due to the low level of the natural radionuclides in surface soil in Łódź region the average effective dose for the local population from terrestrial  $\gamma$  radiation is relatively small - only 0.28 mSv per year.

The wide scale survey of indoor radon concentration (626 dwellings) showed that the use of fly ashes in buildings materials has a negligible effect on the indoor radon levels. These measurements resulted in an average Rn concentration of  $21,4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  and a median value of  $15,1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ . Analysis of the data indicates that most indoor radon comes from the underlying soil, which contains relatively little  $^{226}\text{Ra}$  ( $10 \div 20 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). The corresponding annual effective dose for the local population equal to 0.54 mSv from this source can be appraised.

## 1. WSTĘP

Wpływ działalności technicznej człowieka na wzrost naturalnej radioaktywności w otoczeniu dużych zakładów przemysłowych jest przedmiotem zainteresowania opinii publicznej i budzi niekiedy poważne kontrowersje. Wpływowi energetycznego spalania węgla i związanej z tym emisji do atmosfery znacznych ilości popiołów lotnych jak również składowaniu popiołów i żużli, zawierających podwyższone aktywności naturalnych radionuklidów, poświęcona jest obszerna literatura np. [1 ÷ 6].

Główne przyczyny zwiększonego ryzyka radiacyjnego ludności w otoczeniu zakładów energetycznych to: narażenie zewnętrzne pochodzące od radionuklidów zawartych w opadzie, inkorporacja pyłów drogą oddechową oraz ewentualnie podwyższone poziomy radonu w mieszkaniach, w wyniku stosowania w budownictwie popiołów lotnych. Łódzka aglomeracja miejska należy, obok Śląska, do terenów o największym zanieczyszczeniu powietrza i największym opadzie promieniotwórczym  $\beta$  [7]. Powodują to przede wszystkim zlokalizowane obecnie w środku miasta cztery elektrociepłownie spalające gorsze gatunki węgla z dużą zawartością popiołu. W tabeli 1 podano emisję pyłów z procesów energetycznego spalania paliw w województwie łódzkim w latach 1993 - 1996 [8].

Tabela 1. Emisja pyłów z procesów energetycznego spalania paliw w województwie łódzkim w latach 1993 - 1996.

Źródło emisji	Emisja [Mg]			
	1993	1994	1995	1996
Pyły ogółem	16336	11931	7937	8210
Pyły z EC SA	9704	7263	3215	3055

Obiektywna ocena narażenia radiologicznego od dodatkowych, wytworzonych przez człowieka, źródeł promieniowania może być dokonana jedynie poprzez porównanie dodatkowych dawek z dawkami pochodzącymi od źródeł naturalnych na tym samym terenie.

W celu określenia wpływu energetycznego spalania węgla na poziom naturalnych radionuklidów w środowisku zbadano ich aktywności w węglach, żużlach i popiołach lotnych oraz w trzech profilach gleby : 0 - 10 cm, 10 - 20 cm i 20 - 30 cm w wybranych kilkudziesięciu punktach w Łodzi. W tych samych punktach, metodą dozymetrii termoluminescencyjnej z zastosowaniem detektorów termoluminescencyjnych MCP-N (LiF: Mg, Cu, P) produkcji IFJ w Krakowie, wyznaczono moc dawki ziemskiego promieniowania  $\gamma$ . Równocześnie, aby otrzymać pełny obraz narażenia od źródeł naturalnych, zmierzono stężenia radonu w 626 pomieszczeniach na terenie Łodzi, Zgierza i Pabianic.

## 2. OZNACZANIE ZAWARTOŚCI NATURALNYCH RADIONUKLIDÓW W PRÓBKACH POPIOŁÓW LOTNYCH, ŻUŻLI I SPALANEGO WĘGLA

Dla oszacowania ilości radionuklidów z szeregu uranowo - radowego i torowego emitowanych do atmosfery w rejonie Łodzi w wyniku energetycznego spalania węgla oznaczono ich aktywności właściwe techniką spektrometrii  $\gamma$  z detektorem REGe. Wyniki oznaczeń dla trzech łódzkich elektrociepłowni podano w tabeli 2.

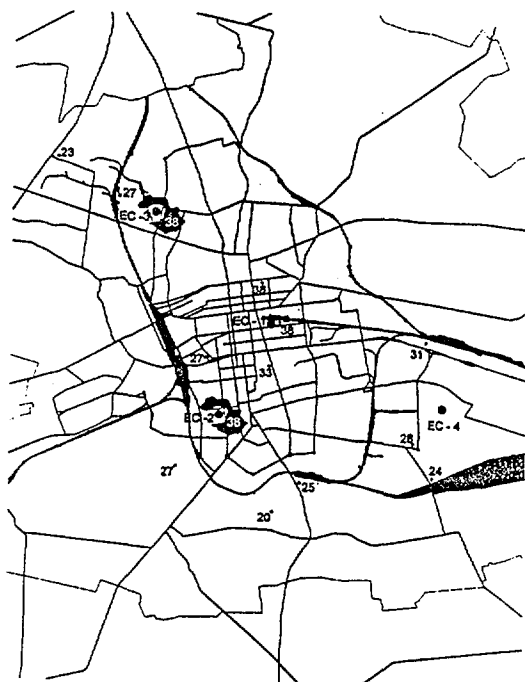
Tabela 2. Zawartość niektórych radionuklidów [ $Bq \cdot kg^{-1}$ ] w próbkach węgla, żużli i popiołów lotnych.

Elektrociepłownia	$^{238}U(^{234}Th)$	$^{226}Ra$	$^{210}Pb$	$^{232}Th$	$^{40}K$	
EC - 2	węgiel	17.5-25.3 19.8	13.8-18.4 16.2	16.3-22.5 19.8	11.1-14.2 13.1	111.0-152.5 133.7
	żużel	33.6-74.1 58.0	32.5-69.6 55.7	19.6-34.8 26.1	28.4-54.7 46.3	331.8-490.9 432.2
	popiół lotny	94.0-142.7 116.4	75.0-99.3 85.6	81.0-145.5 112.4	58.5-79.3 66.4	564.4-734.5 608.4
EC - 3	węgiel	12.7-25.3 20.8	10.4-19.6 15.3	13.3-25.5 20.9	8.5-16.0 12.4	43.9-144.0 105.9
	żużel	37.6-72.7 56.7	36.1-70.9 53.1	11.1-39.6 23.1	32.5-54.9 44.5	307.1-518.1 397.9
	popiół lotny	98.0-169.9 130.5	54.2-117.2 92.5	43.5-264.3 147.5	47.5-91.5 73.7	448.5-727.4 611.4
EC - 4	węgiel	20.1-38.9 30.0	15.3-28.4 22.9	18.1-34.5 26.2	13.9-20.1 17.5	108.4-180.3 150.1
	żużel	77.9-97.7 82.8	67.7-90.7 77.8	36.0-91.2 59.0	61.3-77.4 66.9	536.0-607.2 570.8
	popiół lotny	126.8-184.6 155.8	90.4-119.3 104.2	124.0-244.3 182.9	77.2-91.2 84.0	693.1-758.0 720.8

Na podstawie tych danych oraz emisji pyłów podanych w tabeli 1 można oszacować, że w 1996 roku emisja radionuklidów do atmosfery w rejonie Łodzi wynosiła: 1.2 GBq dla  $^{210}\text{Pb}$ , 1.1 GBq dla  $^{238}\text{U}$ , 0.8 GBq dla  $^{226}\text{Ra}$ , 0.6 GBq dla  $^{232}\text{Th}$  oraz 5.3 GBq dla  $^{40}\text{K}$ , przy czym około 40% tej aktywności pochodziło z trzech elektrociepłowni.

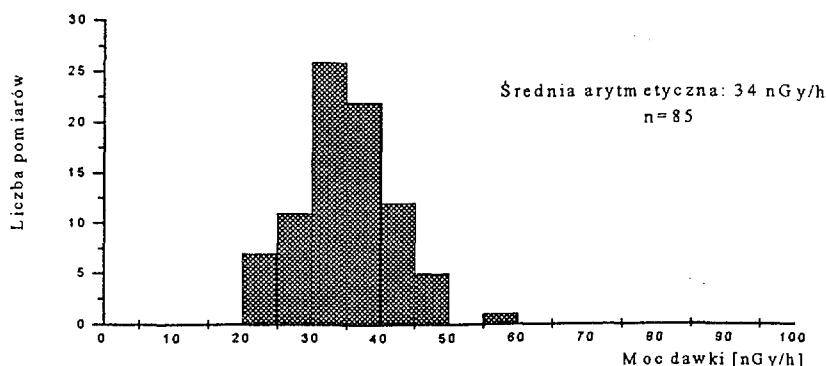
### 3. WERYFIKACJA TEORETYCZNEGO MODELU OPADU PYŁÓW Z KOMINÓW ELEKTROCIĘPŁOWNI POPRZECZ POMIAR MOCY PROMIENIOWANIA $\gamma$ W WYBRANYCH PUNKTACH

Zawartość naturalnych radionuklidów w emitowanych popiołach (tab. 2) przewyższa kilkakrotnie ich zawartość w węglach i w powierzchniowych warstwach gleb, w których stężenia są zbliżone do wartości wyznaczonych dla węgla. Opad pyłów powinien powodować podwyższenie stężenia tych radionuklidów w powierzchniowej warstwie gleb i w konsekwencji podwyższenie mocy dawki ziemskiego promieniowania  $\gamma$ . W oparciu o teoretyczny model opadu stałego z kominów trzech elektrociepłowni wyznaczono na mapie Łodzi dwie strefy wokół których należało się spodziewać wyższego opadu. W tych strefach oraz w około 70 pozostałych punktach pomiarowych zmierzono moce dawki promieniowania  $\gamma$ . Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Teoretyczny model opadu wokół elektrociepłowni i zmierzone dawki [nGy/godz] ziemskiego promieniowania  $\gamma$ .

Rozkład mocy dawki ziemskiego promieniowania  $\gamma$  w badanych punktach przedstawiono na rys. 2. Średnia moc dawki w tych strefach wynosiła 38 nGy/godz, podczas gdy dla całego obszaru Łodzi była niższa (34 nGy/godz) co świadczy o dostatecznej poprawności przyjętego modelu opadu oraz potwierdza udział opadu z elektrociepłowni w nieznacznie powiększonej naturalnej radioaktywności powierzchniowych warstw gleb. Jednak wyniki pomiarów przeprowadzonych w śródmieściu Łodzi świadczą o dużym udziale palenisk domowych w całkowitym opadzie.



Rys. 2. Rozkład mocy dawki ziemskiego promieniowania  $\gamma$  na terenie Łodzi.

#### 4. POMIAR ZAWARTOŚCI NATURALNYCH RADIONUKLIDÓW W POWIERZCHNIOWYCH WARSTWACH GLEBY NA TERENIE ŁODZI

Bezpośredniego dowodu występowania podwyższonej aktywności wskutek opadu pyłu mogą dostarczyć pomiary zawartości naturalnych radionuklidów w powierzchniowych warstwach gleb, a w szczególności profile tych aktywności do głębokości 30 cm. Próbkę muszą być jednak starannie pobrane z terenów nieuprawianych rolniczo i nienarażonych na silną resuspensję, która zwykle występuje w centrum miasta. Z tych względów należy równocześnie oznaczać w próbkach antropogeniczny radionuklid  $^{137}\text{Cs}$ , którego profil aktywności świadczy o poprawności wyboru punktu pomiarowego. Przykładowe profile aktywności w wybranych 6 punktach pomiarowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zawartość niektórych radionuklidów [ $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] w trzech warstwach gleby w wybranych punktach pomiarowych na terenie Łodzi.

Lp.	Głębokość [cm]	$^{210}\text{Pb}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{234}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	Moc dawki*
1	0-10	26.7	13.5	20.0	12.6	247.0	13.9	24
	10-20	13.5	12.6	13.8	12.4	257.6	5.5	
	20-30	9.7	9.7	11.3	9.0	227.0	3.8	
2	0-10	21.8	11.6	14.2	11.5	244.2	10.2	23
	10-20	12.8	10.8	12.2	10.9	236.6	4.5	
	20-30	10.2	9.7	11.8	10.9	242.2	0.6	
3	0-10	36.5	20.9	19.4	17.4	324.9	11.3	23
	10-20	21.2	11.8	13.7	11.1	221.5	9.1	
	20-30	19.2	12.2	11.4	11.4	244.7	5.9	
4	0-10	22.6	10.4	12.3	8.8	225.7	7.0	19
	10-20	17.8	10.3	8.2	9.5	228.4	7.3	
	20-30	16.5	9.8	10.1	9.8	231.0	4.5	
5	0-10	34.4	19.9	16.7	17.1	318.9	10.1	43
	10-20	22.7	20.7	20.5	18.0	327.2	7.1	
	20-30	22.2	22.6	18.6	18.7	334.3	4.8	
6	0-10	34.4	19.9	16.7	17.1	318.9	10.1	42
	10-20	19.9	20.0	20.2	16.9	310.9	3.5	
	20-30	25.7	23.2	27.5	19.0	324.7	4.0	

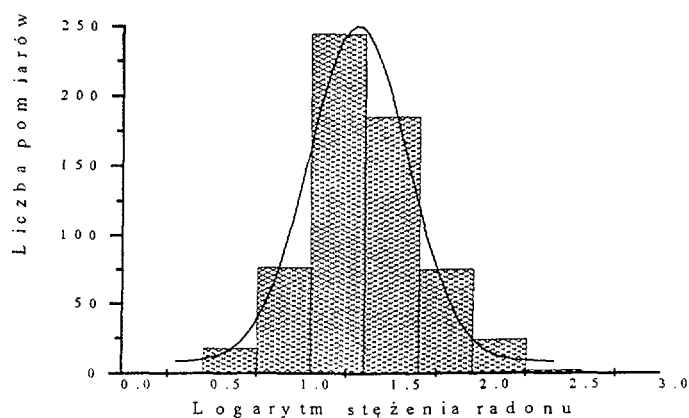
\* promieniowanie  $\gamma$  [nGy/godz]

Jak widać z tabeli 3 w przypadku trzech pierwszych próbek obserwuje się w wierzchnich warstwach gleby podwyższone stężenia (o 5 - 75%) radionuklidów szeregu uranowo - radowego oraz torowego (z wyjątkiem  $^{210}\text{Pb}$ ) natomiast dla trzech ostatnich próbek występuje rozrzut zarówno tych wartości jak i aktywności  $^{137}\text{Cs}$ . Profile  $^{210}\text{Pb}$  wykazują większy spadek aktywności wynikający z dodatkowego opadu  $^{210}\text{Pb}$  pochodzącego z kolejnych rozpadów obecnego w powietrzu  $^{222}\text{Rn}$  i produktów jego rozpadu. Profile  $^{210}\text{Pb}$  w połączeniu z oznaczaniem zawartości macierzystego pierwiastka  $^{226}\text{Ra}$  są wykorzystywane do oznaczania lokalnych depozycji aerozoli [9].

## 5. RADON W MIESZKANIACH NA TERENIE WOJEWÓDZTWA ŁÓDZKIEGO

Szerokie wykorzystanie elektrownianych popiołów lotnych jako wypełniaczy betonów używanych w budownictwie wielkopłytowym (betony lekkie) jak i w budownictwie indywidualnym (prefabrykaty) może być przyczyną podwyższonych stężeń radonu i produktów jego rozpadu w mieszkaniach. Gazowy radon, jako produkt rozpadu  $^{226}\text{Ra}$  zawartego w popiołach lotnych, emanuje ze ścian a także z podłoża z różną szybkością zależną od właściwości materiału budowlanego i gleby pod budynkiem. Według raportu UNSCEAR [10] szacuje się, że przeciętnie ponad 50% całkowitej dawki skutecznej dla ludności od wszystkich źródeł naturalnych pochodzi od radonu i produktów jego rozpadu.

Do pomiaru stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w budynkach wykorzystano technikę detektorów Pico - Rad tzn. plastikowych naczynek scyntylacyjnych zawierających węgiel aktywny. Naczynka eksponowano w budynkach przez 48 godz, a następnie zaadsorbowany radon eluowano roztworem ksylenowego scyntylatora i mierzono techniką ciekłej scyntylacji. Ogółem zmierzono stężenie radonu w 626 pomieszczeniach: żłobkach, przedszkolach i szkołach oraz w mieszkaniach prywatnych [11]. Zgodnie z oczekiwaniem (rys. 3) rozkład stężenia  $^{222}\text{Rn}$  miał charakter logarytmiczno - normalny.



Rys. 3. Rozkład stężenia radonu w budynkach na terenie województwa łódzkiego.

Zmierzone stężenia były stosunkowo niskie i zmieniały się w zakresie od  $3 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  do  $180 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , przy czym średnie arytmetyczne stężenie wyniosło  $21.4 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  (mediana  $15.1 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Analiza danych wykazała, że zasadniczy wkład do całkowitego stężenia radonu ma w większości przypadków radon dyfundujący z podłoża, a nie z materiałów budowlanych. Zakładając średni współczynnik równowagi między produktami rozpadu radonu a radonem w mieszkaniach  $k = 0.4$  oraz ogólnie przyjęte

współczynniki konwersji stężenia radonu na roczną dawkę skuteczną [12] można oszacować, że dawka dla mieszkańców województwa łódzkiego wynosi zaledwie 0.54 mSv i należy do najniższych w Polsce [13].

## 6. WNIOSKI

1. Energetyczne spalanie węgla spowodowało nieznaczny wzrost stężenia radionuklidów z szeregu uranowo - radowego i torowego w powierzchniowej warstwie gleb województwa łódzkiego.
2. Rozkład mocy dawki ziemskiego promieniowania  $\gamma$  na terenie Łodzi ma charakter rozkładu normalnego (w przybliżeniu), a obliczona średnia moc dawki 34 nGy/godz jest niższa od średniej wartości dla Polski wynoszącej 37 nGy/godz [14].
3. Dodatek popiołów lotnych do materiałów budowlanych nie spowodował podwyższonych stężeń radonu w mieszkaniach, a średnie stężenie radonu wynoszące 21.4 Bq·m<sup>-3</sup> należy do najniższych w Polsce.

*Autorzy dziękują Urzędowi Miasta Łodzi za grant badawczy G - 52/97 w ramach którego wykonano badania przedstawione w tym referacie.*

## 7. LITERATURA

- [1]. Jaworowski Z.: Postępy Fiz. Med. 10, 1 - 2, 149 - 154 (1975).
- [2]. Rosner G., Bunzl K., Hotzl H., Winkler R.: Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 223, 585 - 589 (1984).
- [3]. Niewiadomski T., Jasińska M., Wasiołek P.: J. Environ. Radioact. 3, 273 - 292 (1986).
- [4]. Beck H. L.: Rad. Phys. Chem. 34, 2, 285 - 293 (1989).
- [5]. Nowinka - Konopka M.: Radiat. Prot. Dosim. 46, 3, 171 - 180 (1993).
- [6]. Papastefanou C.: Health Phys. 70, 2, 187 - 191 (1996).
- [7]. Raport o stanie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 1990r.: Bezp. Jądr. Ochr. Radiol. 9, 10 - 15 (1991).
- [8]. Raport o stanie środowiska województwa łódzkiego w 1996 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Łódź, 1997, str. 131.
- [9]. Bem H., Bem E. M., Wieczorkowski P.: Sci. Total Environ. 1998 in press.
- [10]. UNSCEAR - Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations. United Nations, New York, 1993, str. 18
- [11]. Bem H., Bem E. M., Ostrowska M.: Czech. J. Phys. 1998 in press.
- [12]. Międzynarodowe podstawowe normy ochrony przed promieniowaniem jonizującym. Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa 1997, str. 100.
- [13]. Mamont - Cieśla K. et al.: Proc. Intern. Conf. on Technologically Enhanced Natural Radiation, Szczyrk, 1996, str. 333.
- [14]. Koperski J.: Radiat. Prot. Dosim. 8, 163 - 171 (1984).