

PROMIENIOWANIE NATURALNE W POLSCE A ŚMIERTELNOŚĆ NOWOTWOROWA

Krzysztof Wojciech Fornalski
Ludwik Dobrzyński

Streszczenie

W niniejszym artykule przeanalizowano częstości występowania śmiertelności nowotworowej w obszarach o wyższym i niższym naturalnym tle promieniowania w Polsce. Porównanie statystyki dla obszarów od największych (grupy województw) po najmniejsze (pojedyncze powiaty), pokazało ujemną korelację i nieznaczny spadek umieralności wraz ze wzrostem dawki, średnio o $-1,17\%/mSv/rok$ ($p = 0,02$) dla wszystkich nowotworów, oraz $-0,82\%/mSv/rok$ ($p = 0,2$) dla samych nowotworów płuc. Niniejsza praca przedstawia główne tezy oryginalnego raportu opublikowanego w 2012 r. w czasopiśmie *Dose-Response* [1].

Wstęp

Obszary o podwyższonym naturalnym tle promieniowania (ang. *high-background radiation areas*, HBRA) znajdują się w wielu miejscach na świecie [2-4]. Podstawowym pytaniem jest, czy tło wpływa na zdrowie mieszkających tam ludzi, a jeśli tak, to w jaki sposób? W roku 2012 w czasopiśmie *Dose-Response* opublikowane zostały dane na ten temat pochodzące z Polski [1].

Średnia roczna dawka efektywna na przeciętnego mieszkańca, pochodząca ze źródeł naturalnych w naszym kraju, wynosi 2,48 mSv [5]. 54,9% tej dawki przypada na radioaktywny gaz radon, 18,6% na dawkę od promieniowania gamma od gruntu, a 26,5% na inne źródła (np. promieniowanie kosmiczne czy zawarte w ludzkim ciele naturalne radioizotopy)¹ [5]. Największe różnice w rocznej naturalnej dawce w Polsce związane są z wahaniami stężenia radonu oraz różnymi poziomami promieniowania gamma od gruntu, co z kolei związane jest ze specyficzną geologią danego terenu.

Podział administracyjny Polski od 1999 r. obejmuje 16 województw, które z kolei podzielone są na powiaty (ziemskie i grodzkie). Każdy powiat posiada swoją własną statystykę medyczną zamieszkującej go ludności. Informacje na temat rocznej dawki skutecznej (efektywnej) w różnych regionach Polski zawarte są w Radiologicznym Atlasie Polski [6], gdzie znajdują się dane na temat dawek średnich, oddzielnie dla radonu i promieniowania gamma, w każdym województwie z osobna. Analogicz-

ne dane, lecz w podziale na pojedyncze powiaty, można odczytać w Atlasie Geochemicznym Polski [7] oraz w Mapach Radioekologicznych Polski [8]. Z kolei dane dotyczące śmiertelności (nowotworowej) znaleźć można w publikacjach Głównego Urzędu Statystycznego [5][9]. W momencie przygotowywania oryginalnego raportu [1] cytowana baza danych zawierała dane z lat 1999-2009 (dla województw) oraz 1999-2007 (dla powiatów). Bazując na powyższych informacjach można poszukać odpowiedzi na pytanie o istnienie ewentualnych korelacji pomiędzy lokalną dawką od źródeł naturalnych a częstością śmierci nowotworowych (ang. *cancer mortality ratio*, CMR).

Metodologia

Obszary geograficzne, dla których przeprowadzono całą cytowaną analizę, uszeregowano w grupy od 1 do 6. Grupa pierwsza objęła pięć województw z nieco podwyższonym tłem promieniowania (w stosunku do średniej, zob. Tabela 1), tj. dolnośląskie, małopolskie, opolskie, podkarpackie i śląskie, oraz pięć województw z tłem nieco niższym (lubuskie, łódzkie, pomorskie, wielkopolskie oraz zachodniopomorskie). Grupa 2 jest zawężeniem grupy 1 i zawiera po dwa województwa każdego typu (dolnośląskie i małopolskie oraz lubuskie i zachodniopomorskie). Z kolei grupa 3 po jednym województwie z każdego typu najwyższego (woj. małopolskie) i najniższego tła (woj. zachodniopomorskie). Grupa 4, analogicznie do grupy 1,

¹ W dawce tej nie uwzględniono promieniowania ze źródeł sztucznych (np. diagnostyka medyczna).

Tabela 1. Zestawienie rocznych dawek skutecznych dla obszarów o niższym naturalnym tle promieniowania (LB, *low background*) oraz wyższym tle (HB, *high background*) wraz z wartościami ryzyka względnego (wyniki surowe oraz skorygowane)

Nr grupy	Średnia roczna dawka skuteczna [mSv/rok]		Ryzyko względne (RR) [%]			
	LB	HB	Wyniki surowe		Wyniki skorygowane	
			wszystkie nowotwory	nowotwory płuc	wszystkie nowotwory	nowotwory płuc
1	2,12 ± 0,59	2,88 ± 0,97	98,5 ± 0,3 ^c	97,0 ± 0,6 ^c	98,8 ± 0,5 ^c	99,9 ± 1,0 ^a
2	1,89 ± 0,57	3,10 ± 1,15	96,8 ± 0,5 ^c	93,3 ± 1,0 ^c	98,7 ± 0,9 ^b	99,6 ± 1,7 ^a
3	1,85 ± 0,68	3,35 ± 0,90	94,9 ± 0,7 ^c	87,2 ± 1,2 ^c	100,2 ± 1,1 ^a	99,3 ± 2,1 ^a
4	1,32 ± 0,34	4,42 ± 1,60	94,5 ± 1,8 ^c	85,1 ± 3,2 ^c	96,9 ± 3,1 ^b	91,5 ± 5,6 ^b
5	1,26 ± 0,34	4,68 ± 1,95	90,3 ± 3,0 ^c	92,4 ± 5,8 ^b	89,1 ± 4,9 ^c	97,4 ± 10,0 ^a
6	1,06 ± 0,26	4,75 ± 1,94	87,0 ± 3,9 ^c	85,1 ± 7,3 ^c	87,8 ± 6,5 ^b	91,8 ± 12,6 ^a

^a p<0.5, ^b p<0.3, ^c p<0.05

zawiera po 5 powiatów każdego rodzaju: o najwyższym (powiaty Jelenia Góra, jeleniogórski, kamiennogórski, nowotarski i tatrzański) oraz o najniższym tle (goleniowski, krośnieński, policki, Świnoujście oraz żagański). Grupa 5 obejmuje po 2 powiaty z każdego typu (jeleniogórski i Jelenia Góra oraz policki i Świnoujście), a grupa 6 po jednym powiecie grodzkim (Świnoujście i Jelenia Góra). Najważniejsze dane na temat wspomnianych 6 grup geograficznych znajdują się w Tabeli 1. Nietrudno zauważyć, iż grupa 3 jest podgrupą grupy 2, a ta z kolei podgrupą grupy 1. Analogicznie jest z grupami 4-6 z tym, iż powiaty z grupy 4 leżą na terytoriach województw z grupy 2.

Średnie wartości rocznych dawek skutecznych (ze źródeł naturalnych) w każdym ze wspomnianych regionów (Tabela 1) zostały obliczone jako wynik sumy następujących składników:

1 – dawka pochodząca od średniej wartości lokalnego stężenia radonu; dawka od radonu stanowi największą część całej dawki;

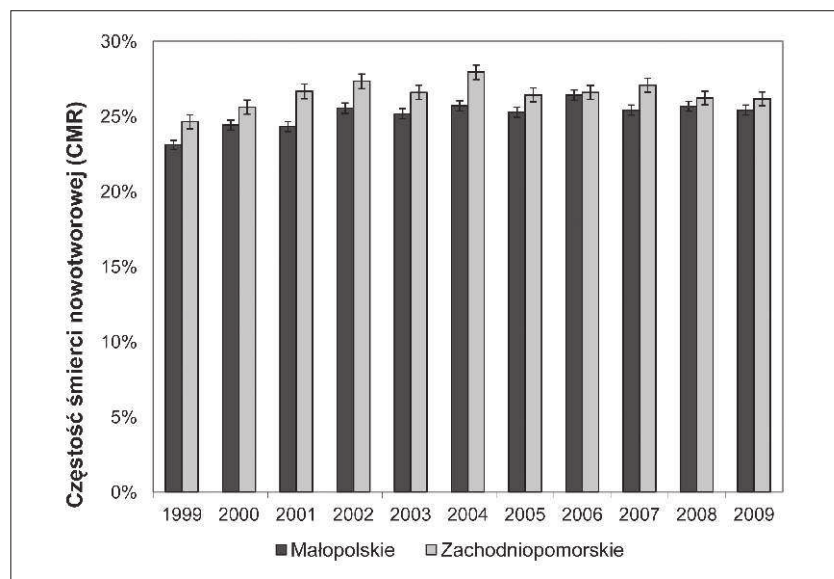
2 – dawka pochodząca od promieniowania gamma z gruntu;

3 – stała wartość 0,66 mSv/rok pochodząca od promieniowania kosmicznego (42,9%), radionuklidów zawartych w ludzkim ciele (41,8%) oraz od średniego stężenia toronu w atmosferze (15,3%).

Dawki skuteczne od radonu zostały obliczone przy użyciu przelicznika $1 \text{ Bq/m}^3 = 0,028 \text{ mSv/rok}$ [5]. Z kolei dawki od promieniowania gamma zostały wyznaczone na podstawie lokalnych wartości mocy dawki pochłoniętej [nGy/h]. W przypadku całych województw (grupy regionalne 1-3) niezbędne dane do obliczeń, zarówno radonu, jak i promieniowania gamma, są dostępne w [6]. W przypadku powiatów (grupy 4-6) wartości mocy dawki promieniowania gamma zostały obliczone na podstawie prac [7][8], a lokalne wartości stężenia radonu ekstrapolowane na podstawie informacji o stężeniu radu-226 w gruncie [7][8]. Informacje na temat niepewności pomiarowych danych zawartych w [6] uzyskano z prywatnej korespondencji z Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej oraz Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska [1].

Rys. 1 przedstawia częstości śmierci nowotworowych (CMR), zdefiniowanych jako iloraz liczby śmierci

z powodu nowotworu przez liczbę śmierci ze wszystkich przyczyn – tu przykładowo dla województw małopolskiego i zachodniopomorskiego. Znając CMR można obliczyć ryzyko względne (ang. *relative risk*, RR; zob. Tabela 1) będące wynikiem ilorazu CMR dla tła wyższego przez CMR dla tła niższego. Wszystkie nie-



Rys. 1. Ewolucja czasowa częstości śmiertelnych nowotworów (CMR) dla dwóch województw (grupa nr 3): małopolskie (ciemne słupki; dawka skuteczna 3,35 mSv/rok) oraz zachodniopomorskie (jasne słupki; dawka skuteczna 1,85 mSv/rok); przedział czasowy dla lat 1999-2009

pewności podane na rysunkach oznaczają jedno odchylenie standardowe (68% CI, przedział ufności).

Wyniki analizy

Na rys. 2 oraz rys. 3 przedstawiono ryzyko względne (RR) w zależności od różnicy w średniej skutecznej dawce rocznej między obszarami o wyższym i niższym tle promieniowania w danej grupie. Rys. 2 dotyczy wszystkich śmiertelności nowotworowych, natomiast rys. 3 śmiertelności jedynie z powodu nowotworu płuc (istotne z uwagi na duży wkład dawki od wdychanego radonu).

Punkty na rys. 2a oraz rys. 3a oznaczają dane surowe, tzn. wynik obliczenia ryzyka względnego (RR) na podstawie danych pochodzących wprost z Głównego Urzędu Statystycznego [9]. Dopasowanie do nich linii prostej pokazuje regularny spadek śmiertelności nowotworowej o 3,07%/mSv/rok ($p = 0,0003$; $\chi^2 = 1,8$) oraz o 7,37%/mSv/rok ($p = 0,0001$; $\chi^2 = 5,0$) w wypadku nowotworów płuc. Wszystkie wartości parametrów dopasowania przedstawiono w Tabeli 2.

Oczywiście tego typu dane surowe mogą być potencjalnie zafałszowane [10-12], gdyż nie uwzględniają całej gamy różnic pomiędzy poszczególnymi obszarami. Polska jest krajem jednorodnym etnicznie, więc część potencjalnych różnic (np. rasowe czy religijne) nie może zakłócać wyników. Niemniej jednak wspomniane dane surowe postarano się skorygować w oparciu o sześć czynników mieszających (ang. *confounding factors*), które znacząco mogą wpłynąć na wartości ryzyka względnego (RR). Są to:

- odsetek osób w wieku 70 lat lub starszych;
- odsetek nałogowych palaczy;
- stopień bezrobocia;
- odsetek osób z wyższym wykształceniem;
- wydatki lokalnego budżetu samorządowego *per capita*;
- zanieczyszczenie powietrza.

Dane statystyczne dotyczące wszystkich sześciu wspomnianych czynników mieszających pochodzą z [9] i [13]. Warto w tym miejscu zaznaczyć, iż dane

na temat odsetka regularnych palaczy dostępne są jedynie dla całych województw (grupy 1-3). W związku z tym dla powiatów (grupy 4-6) informacje o paleniu tytoniu mogą być co najwyżej ekstrapolowane ze statystyk ogólnowojevodzkich. Tak więc, skoro powiaty z grup 5 i 6 leżą na terenie województw z grupy 3, więc statystyki tych województw przyjęto za obowiązujące. Analogicznie postąpiono z grupą 2 (województwa) i grupą 4 (leżące na ich terenie powiaty). Oczywiście tego typu ekstrapolacja niesie możliwość wystąpienia dodatkowych niepewności końcowych wyników, co zaznaczono pustymi kwadratami na rys. 2b i rys. 3b.

Rys. 2b oraz rys. 3b prezentują ryzyko względne (RR) po uwzględnieniu wspomnianych czynników korygujących. W związku z tym, iż proces korekcji może zawierać wiele nieścisłości (jak ta w przypadku palenia tytoniu), niepewności skorygowanych wyników zwiększono *ad hoc* o 50%.

Dopasowanie prostej do wyników skorygowanych (ang. *adjusted results*) pokazało spadek śmiertelności nowotworowej o 1,17%/mSv/rok ($p = 0,02$; $\chi^2 = 6,3$) oraz o 0,82%/mSv/rok ($p = 0,2$; $\chi^2 = 1,7$) dla nowotworów płuc. Wartości parametrów dopasowania umieszczono w Tabeli 2.

Dyskusja

Problem wpływu niskich dawek pochodzących od podwyższonego naturalnego tła promieniowania na zdrowie ludzi istnieje w literaturze naukowej od lat [2-4]. Jednymi z najczęściej omawianych przypadków są analizy częstości nowotworów w obszarach, takich jak region Jangjiang w Chinach [15], Kerala w Indiach [16], Guarapari w Brazylii [17], Ramsar w Iranie [18], czy w niektórych rejonach USA [19-22]. Praktycznie wszystkie cytowane publikacje pokazują spadek ryzyka nowotworowego w obszarach, gdzie następuje wzrost naturalnego tła promieniowania. Jest to zbieżne z konkluzjami niniejszego artykułu, który powstał na bazie oryginalnego raportu opublikowanego w czasopiśmie Dose-Response [1].

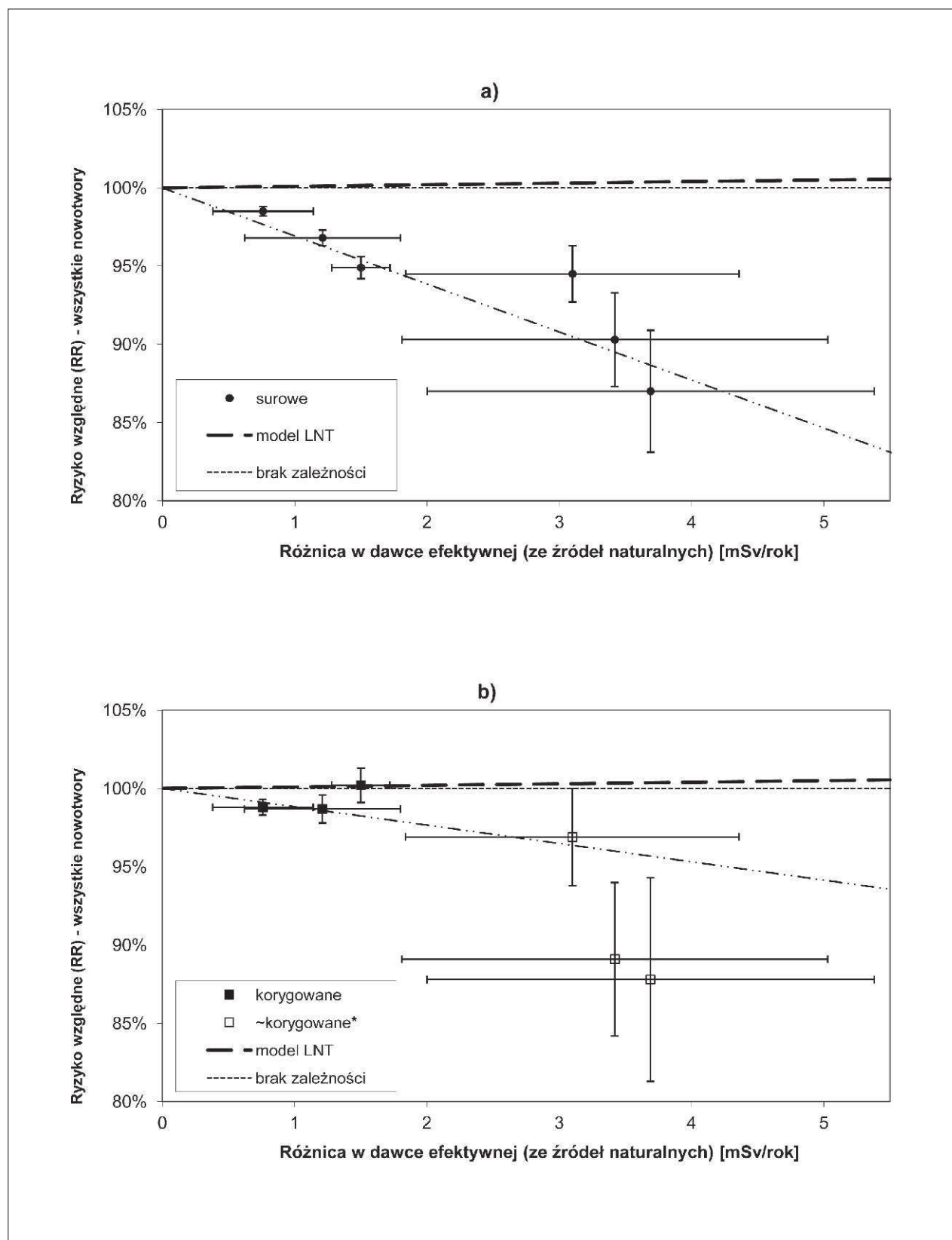
Tabela 2. Dopasowane* parametry trendu (nachylenia prostych) podane w [%/mSv/rok] dla wyników skorygowanych oraz surowych (zob. Tabela 1 oraz rys. 2 i rys. 3); zakresy niepewności (podane w nawiasach) dotyczą jednego odchylenia standardowego (68% CI)

	Bezwzględny spadek śmiertelności nowotworowej** [%/mSv/rok]		Ryzyko względne*** (RR) [%/mSv/rok]	
	wyniki skorygowane	wyniki surowe	wyniki skorygowane	wyniki surowe
wszystkie nowotwory	-0,30 (-0,45; -0,09) ($\chi^2 = 2,8$; $p = 0,08$)	-0,77 (-0,90; -0,44) ($\chi^2 = 1,5$; $p = 0,01$)	-1,17 (-1,51; -0,60) ($\chi^2 = 6,3$; $p = 0,02$)	-3,07 (-3,43; -2,18) ($\chi^2 = 1,8$; $p = 0,0003$)
nowotwory płuc	-0,19 (-0,48; +0,14) ($\chi^2 = 0,8$; $p = 0,3$)	-1,80 (-2,04; -1,18) ($\chi^2 = 3,7$; $p = 0,002$)	-0,82 (-1,55; +0,10) ($\chi^2 = 1,7$; $p = 0,2$)	-7,37 (-8,14; -5,40) ($\chi^2 = 5,0$; $p = 0,0001$)

* dopasowanie metodą najmniejszych kwadratów przy jednoczesnym uwzględnieniu niepewności pionowych i poziomych; prezentowane wartości są parametrami nachylenia prostej dopasowania $RR = a D[mSv/rok] + 100\%$,

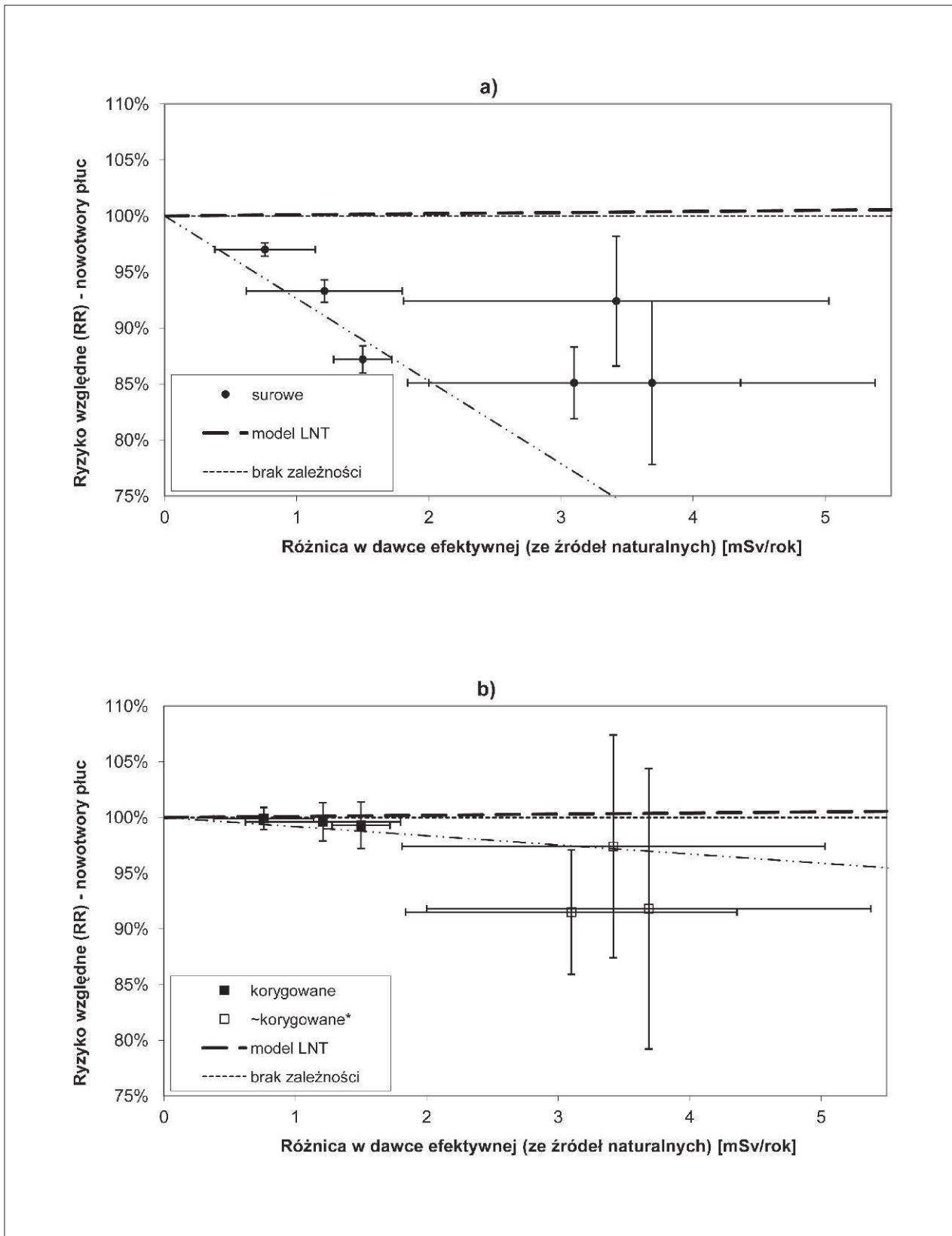
** różnica między wartościami CMR,

*** wyniki zaprezentowane na rys. 2 i rys. 3.



Rys. 2. Wyniki analizy dla śmiertelności z powodu wszystkich nowotworów. Oś pionowa przedstawia ryzyko względne (RR). Oś pozioma reprezentuje różnicę w rocznej dawce skutecznej dla poszczególnych grup regionalnych (od 1 do 6). Rys. 2a) przedstawia wyniki surowe, a rys. 2b) wyniki skorygowane (zob. Tabela 1). W obu przypadkach linia przerywana (oznaczona jako LNT) oznacza model liniowego wzrostu ryzyka wraz z dawką [14]. Do punktów dopasowano również proste trendu (Tabela 2). Wszystkie niepewności reprezentują jedno odchylenie standardowe (68% CI)

* **puste kwadraty** oznaczają punkty, które mogą być potencjalnie zafalszowane z uwagi na ekstrapolowanie danych statystycznych na temat palaczy w poszczególnych powiatach.



Rys. 3. Wyniki analizy dla śmiertelności z powodu nowotworów płuc. Oś pionowa przedstawia ryzyko względne (RR). Oś pozioma reprezentuje różnicę w rocznej dawce skutecznej dla poszczególnych grup regionalnych (od 1 do 6). Rys. 3a) przedstawia wyniki surowe, a rys. 3b) wyniki skorygowane (zob. Tabela 1). W obu przypadkach linia przerywana (oznaczona jako LNT) oznacza model liniowego wzrostu ryzyka wraz z dawką [14]. Do punktów dopasowano również proste trendy (Tabela 2). Wszystkie niepewności reprezentują jedno odchylenie standardowe (68% CI)

* **puste kwadraty** oznaczają punkty, które mogą być potencjalnie zafalszowane z uwagi na ekstrapolowanie danych statystycznych na temat palaczy w poszczególnych powiatach.

Prezentowana tutaj analiza skoncentrowana jest na tzw. studiach ekologicznych sześciu regionów w Polsce i pokazuje potencjalną korelację pomiędzy otrzymaną przez ludność średnią dawką roczną a śmiertelnością nowotworową. Rozpatrywane regiony (grupy od 1 do 6) uporządkowane są od największych (województwa) po najmniejsze (powiaty). Niestety analizy ekologiczne, włączając prezentowaną w niniejszym artykule, mogą zawierać wiele nieścisłości z uwagi na fakt, iż istniejące zależności dawka-efekt nie uwzględniają relacji międzyludzkich, takich jak np. indywidualne narażenie na promieniowanie i indywidualne cechy zwiększające/zmniejszające podatność na śmiertelny nowotwór. W związku z tym w wielu publikacjach napisano o tzw. „zafałszowaniu ekologicznym” (ang. *ecological fallacy*) [12], którym tłumaczy się wyniki odmienne od przewidywanych (analogicznie do efektu zdrowego pracownika, HWE, dyskutowanego np. w pracach [23][24]). Jednakże koncepcja owego ekologicznego zafałszowania ma też wiele słabych punktów [25][26], gdyż podważa zasadność wszelkich badań epidemiologicznych, czy modeli statystycznych (w tym samej koncepcji liniowego wzrostu ryzyka nowotworowego wraz z dawką, tzw. LNT).

Przypatrzmy się jak dokładnie wyglądają opisywane w niniejszym artykule regiony. Otóż, grupa nr 1 zawiera 5 południowych województw (obszar historycznego Śląska i południowej Małopolski) jako obszaru o wyższym tle oraz 5 województw północno-zachodnich o niższym tle promieniowania. Z racji tego, iż na Śląsku znajduje się przemysł ciężki (huty, elektrownie i kopalnie), należałoby się spodziewać, iż śmiertelność nowotworowa na południu kraju będzie większa. Jednakże jest odwrotnie. Sugeruje to, iż istnieje przynajmniej jeden czynnik, który odwraca tę statystykę.

Skupiając się na dwóch województwach ze skrajną dawką, tj. woj. małopolskiego i woj. zachodniopomorskiego (grupa nr 3) zauważyć można, iż nie ma istotnych czynników różnicujących podatność na nowotwory, poza trzema:

- w woj. małopolskim istnieje Kraków z populacją ok. 760 000, a w woj. zachodniopomorskim Szczecin z populacją ok. 410 000;
- w woj. małopolskim są na południu góry, a w woj. zachodniopomorskim na północy Bałtyk;
- w woj. małopolskim mieszka ludność zasiedziała od wielu pokoleń, podczas gdy w woj. zachodniopomorskim ludność napływowa około 75 lat temu².

Nie wydaje się jednak, aby te czynniki w sposób decydujący wpływały na średnią śmiertelność nowotworową.

Skupiając się na grupach powiatów (grupy 4 i 5) zauważymy, iż obszary o wyższym tle promieniowania leżą przeważnie na wyżynach i w górach (Tatry i Sudety), a obszary o niższym tle na nizinach i częściowo nad morzem. W żadnym z analizowanych powiatów nie ma przemysłu ciężkiego bądź istotnego czynnika wpływającego na zdrowie poza niewielkimi kopalniami w rejonie Sudetów, które raczej powinny zawiązać a nie zaniżyć ilość nowotworów. Z kolei skupiając się na najbardziej skrajnych (w sensie dawek rocznych) obszarach, czyli leżącym na trzech bałtyckich wyspach Świnoujściu i sudeckiej Jeleniej Górze, zauważyć można, iż są to miasta zbliżone do siebie wielkością. Różnica w wysokości nad poziomem morza wynosi średnio 342 metry, więc nie stanowi ona istotnego czynnika różnicującego.

Surowe zestawienie danych geochemicznych (dawki promieniowania naturalnego) oraz danych statystycznych (średnie umieralności nowotworowe CMR) pokazują regularny spadek odsetka śmiertelnych nowotworów wraz z dawką (Tabela 2 oraz rys. 1 i rys. 3). Aby wynik ten był wiarygodny, należało sprawdzić wpływ 6 istotnych czynników mieszających: wieku ludności, palenia tytoniu, bezrobocia, wykształcenia, wydatków budżetu na mieszkanie i zanieczyszczenia powietrza [1]. Po tego typu analizie otrzymano wyniki skorygowane, które również pokazują regularny spadek RR wraz z dawką (Tabela 2 oraz rys. 2 i rys. 3), choć znacznie mniejszy.

Na otrzymane wyniki należy jednak patrzeć sceptycznie. Po pierwsze bardzo ważne oraz trudne jest odpowiednie użycie czynników korygujących, co może istotnie wpłynąć na wyniki końcowe. Po drugie punkty z rys. 2b i rys. 3b dla grup 4-6 mogą być dodatkowo zafałszowane z uwagi na to, iż odsetek palaczy dla powiatów nie jest precyzyjnie znany, a statystyka została ekstrapolowana ze statystyki wojewódzkiej. Po trzecie na tym poziomie badań nie można całkowicie wykluczyć wpływu zafałszowania ekologicznego na wyniki [12].

Końcowe wyniki analizy przedstawiono na rys. 2 (RR ze wszystkich przyczyn) oraz rys. 3 (RR jedynie dla płuc). Oba rysunki przedstawiają wyniki surowe (rys. 2a i rys. 3a) oraz skorygowane (rys. 2b i rys. 3b). Bez trudu da się zaobserwować, iż, bez względu na typ danych, za każdym razem obserwuje się regularny spadek ryzyka nowotworowego RR wraz z coraz większą różnicą dawki rocznej w analizowanej grupie regionów. Jednakże znaczne zakresy niepewności oraz wysokie poziomy tzw. p-wartości (zob. Tabela 2) sugerują jedynie, że nie obserwuje się żadnego wzrostu śmiertelności wraz z dawką, a niewielki spadek może być potencjalnie związany z bardzo wieloma czynnikami, których nie można

² Temat ten można rozwinąć do kwestii wpływu migracji na ryzyko nowotworowe, które mimo wszystko może mieć znaczenie. Jednakże problem ten nie występuje dla powiatów z grup 5 i 6 (z uwagi, iż wszystkie one leżą na terenach przywróconych do Polski po 1945 r.), więc w ogólności nie ma to wpływu na całościową analizę i ostateczne wnioski.

wykluczyć (jak choćby efekt odpowiedzi adaptacyjnej [27]). Warto ponadto zauważyć, że jakościowo zbliżone wyniki, uzyskiwane w różnych częściach świata (dla których efekty zakłócające są różne) pokazują, że za istnieniem ujemnej korelacji między częstotliwością śmierci nowotworowych a dawką pochodzącą od tła naturalnego przemawia obecnie sporo niezależnych danych [14][28].

Podsumowując należy stwierdzić, iż obserwowana ujemna korelacja śmiertelności z poziomem promieniowania, w zakresie niewielkich w końcu dawek (na poziomie kilku milisiwertów rocznie), choć zgodna z wieloma doniesieniami badań ekologicznych z całego świata, może być w jakimś stopniu efektem wynikającym z nieuwzględnienia wszystkich innych czynników zakłócających albo niedoszacowaniem któregoś z rozpatrywanych w niniejszej pracy. Jednakże przedstawione obserwacje nie pozwalają mówić o możliwym wzroście w Polsce realnego ryzyka nowotworowego, którego należałoby oczekiwać, gdyby hipoteza liniowa bezprogowa (LNT) była prawdziwa.

*dr inż. Krzysztof Wojciech Fornalski,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock,
PGE EJ 1 Sp. z o.o., Warszawa*

*prof. dr hab. Ludwik Dobrzyński,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock,
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa*



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Projekt jest współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Podziękowania dla Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska za udostępnienie szczegółowych danych z Państwowego Monitoringu Środowiska oraz Państwa Krzysztofa Isajenki i Kaliny Mamont-Cieśli z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Praca jest współfinansowana przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Społecznego (PO KL 2007-2013, priorytet VIII, poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, „Potencjał naukowy wsparciem dla gospodarki Mazowsza – stypendia dla doktorantów”).

Literatura

- [1] K.W. Fornalski, L. Dobrzyński. The cancer mortality in high natural radiation areas in Poland. Dose-Response, vol. 10, no 4, pp. 541-561, 2012
- [2] L. Wei, T. Sugahara, A. Tao. High levels of natural radiation, radiation dose and health effects (Chapter: High background radiation area – an important source of exploring the health effects of low dose ionizing radiation). Elsevier, Amsterdam 1997
- [3] Z. Jaworowski. Ionizing radiation in the 20th century and beyond. Symposium Entwicklungen im Strahlenschutz, Munich, 2001, November 29. Available at: www.cns-snc.ca/branches/Toronto/radiation
- [4] J.H. Hendry, S.L. Simon, A. Wójcik, M. Sohrabi, W. Burkart, E. Cardis, D. Laurier, M. Tirmarche, I. Hayata. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? J. Radiol. Prot. 29: A29-A42, 2009
- [5] GUS (Główny Urząd Statystyczny), Ochrona środowiska (Environment), Warszawa 2007
- [6] RAP (Radiologiczny Atlas Polski). Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 2005
- [7] AGP (Atlas Geochemiczny Polski). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995
- [8] MRP (Mapy Radioekologiczne Polski). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995
- [9] GUS (Główny Urząd Statystyczny). 2011. Strona internetowa: www.stat.gov.pl
- [10] K.T. Bogen, Lung Cancer Risk of Low-Level Exposures to Alpha Emitters: Critical Reappraisal and Experiments Based on a New Cytodynamic Model. Final Report on LDRD Project 97-ERD-050, Lawrence Livermore National Laboratory, University of California. 1999
- [11] K.T. Bogen, Biologically based prediction of empirical nonlinearity in lung cancer risk vs. residential/occupational radon exposure. Hum Ecol Risk Assess 7:811-827. 2001
- [12] K.T. Bogen, J. Cullen, Residential radon in U.S. counties vs. lung cancer in women who predominantly never smoked. Environ Geochem Health 24:229-247. 2002
- [13] B. Wojtyniak, P. Goryński (eds), Sytuacja zdrowotna ludności Polski. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, Warszawa 2008
- [14] C.L. Sanders. Radiation Hormesis and the Linear-No-Threshold Assumption. Springer, New York – Heidelberg. 2010
- [15] L. Wei, T. Sugahara, An introductory overview of the epidemiological study on the population at the high background radiation areas in Yangjiang, China. J. Radiat. Res. (Tokyo) 41 (Suppl.): 1-7. 2000
- [16] K. Nair, K.S.V. Nambi, N.S. Amma, Population study in the high natural background radiation area in Kerala, India. Radiation Research 152: S145-S148. 1999
- [17] L.H.S. Veiga, S. Koifman, Pattern of cancer mortality in some Brazilian HBRAs. Int Congress Ser 1276: 110-113. 2005
- [18] A.S. Monfared, F. Jalail, S. Sedaghat, High natural background radiation areas in Ramsar, Iran: can inhabitants feel safe?. Int. J. Low Radiat. 3: 20-27, 2006
- [19] N.A. Frigerio, R.S. Stowe, Carcinogenic and genetic hazard from background radiation. In: Symposium on Biological Effects of Low-Level Radiation Pertinent to Protection of Man and His Environment, Chicago, IL, IAEA-SM-202/805, Vol. 2, pp. 385-393. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria 1975
- [20] J. Hart, Mean cancer mortality rates in low versus high elevation counties in Texas. Dose-Response 8: 448-455. 2010
- [21] J. Hart, Cancer mortality for a single race in low versus high elevation counties in the U.S. Dose-Response 9: 348-355. 2011
- [22] J. Hart, Lung cancer in Oregon. Dose-Response 9(3): 410-415. 2011
- [23] K.W. Fornalski, L. Dobrzyński, The healthy worker effect and nuclear industry workers. Dose-Response, vol. 8, no. 2, pp. 125-147. 2010
- [24] K.W. Fornalski, L. Dobrzyński, Efekt Zdrowego Pracownika w przemyśle jądrowym. Biuletyn PAA Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, vol. 77, no. 3, pp. 46-52. 2009
- [25] F.A. Seiler, J.L. Alvarez, Is the „ecological fallacy” a fallacy? Human and Ecological Risk Assessment 6(6): 921-941. 2000
- [26] J. Hart, On ecological studies: a short communication. Dose-Response 9 pp. 497-501, 2011
- [27] E.J. Calabrese, L.A. Baldwin, Radiation Hormesis and Cancer. Human & Ecological Risk Assessment, vol. 8, no. 2. 2002
- [28] K.W. Fornalski, L. Dobrzyński, Radon a ryzyko raka płuc, Postępy Techniki Jądrowej, vol. 57, no 3, pp. 21-28