WPŁYW ELEKTROWNI JĄDROWYCH W CZASIE NORMALNEJ PRACY NA ZDROWIE LUDZI I ŚRODOWISKO

Jolanta Naniewicz
Centrum Onkologii, Warszawa

WPROWADZENIE – OD AUTORA

Jestem fizykiem i w październiku minęło czterdzieści lat, odkąd mam do czynienia z promieniowaniem – moja specjalizacja i praca dyplomowa wiązała się z detekcją promieniowania jonizującego. Tą dziedziną fizyki zajmowałam się również jako pracownik naukowy Uniwersytetu Jagiellońskiego w latach siedemdziesiątych.

Kilka czynników zdecydowało, że od początku lat osiemdziesiątych ukierunkowałam moje zainteresowania na fizykę medyczną. Siłą rzeczy był to ten jej zakres, który obejmuje stosowanie promieniowania jonizującego do celów diagnostyki i terapii.

Obecnie jestem Inspektorem Ochrony Radiologicznej oraz doradcą w zakresie ochrony przed promieniowaniem personelu i pacjenta dla firmy RTA, polskiego przedstawiciela producentów akceleratorów medycznych, urządzeń do brachyterapii i radiochirurgii oraz wyposażenia do kontroli jakości w tym zakresie. Rolę Inspektora OR i doradcy powierzył mi również Instytut Hematologii i Transfuzjologii oraz Centrum Radiochirurgii Allenort, które wdraża do stosowania pierwsze w Polsce urządzenie do radiochirurgii centralnego systemu nerwowego.

Zajmowanie się fizyką medyczną w tym zakresie wymaga poznania podstaw radiobiologii, na których opiera się strategia radioterapii, ale również rozumienia procesów wywołujących choroby nowotworowe związane z ekspozycją na promieniowanie. Nowotwory wtórne po dużych dawkach miejscowych są jednym z powikłań w radioterapii, występujących znacznie rzadziej niż inne rodzaje ubocznych skutków takiego leczenia, ale wymagających uważnej obserwacji długi czas po zakończeniu leczenia. Nowotwór indukowany promieniowaniem może objawić się nawet kilkadziesiąt lat po ekspozycji. W czasie mojej pracy w Instytucie Onkologii byłam współautorem publikacji na ten temat [1].

Moim zasadniczym zadaniem od lat osiemdziesiątych, najpierw w Instytucie Onkologii, a potem w Centrum Onkologii im. M.Skłodowskiej-Curie w Warszawie była funkcja Inspektora Ochrony Radiologicznej, czyli te wszystkie działania, które mają chronić personel szpitala i osoby z ogółu ludności przed niekontrolowaną czy nadmierną dawką promieniowania.

Praca Inspektora Ochrony Radiologicznej związana jest również ze szkoleniem personelu – przede wszystkim osób pracujących w narażeniu na promieniowanie, ale również tych działających w sąsiedztwie, stykających się z pacjentami poddawanymi diagnostyce radioizotopowej czy radioterapii. Długoletnia praktyka w tym zakresie pozwoliła mi zorientować się, jak uboga i obciążona uprzedzeniami jest wiedza o wpływie promieniowania na organizm ludzki, jak szczególna i sprzeczna nieraz z poziomem wykształcenia jest percepcja ryzyka w tym zakresie.

Zdarzało się, że łatwiej było mi wytłumaczyć podstawowe aspekty działania promieniowania i problem wielkości dawki salowej czy technikowi niż np. lekarzowi chemioterapeucie, który uparł się

uważać, że promieniowanie występujące w przyrodzie ma zupełnie inną naturę, niż to, które emituje aparat rentgenowski czy tzw. „bomba kobaltowa". W jego mniemaniu fizyk- specjalista był „na żołdzie" dyrekcji szpitala przede wszystkim po to, żeby uspokajać ludzi i żeby jednak ktoś tu pracował.

Takie obserwacje zachęciły mnie do czytania prac o percepcji ryzyka, w tym właśnie ryzyka związanego z ekspozycją na promieniowanie jonizujące.

W czasie lektury prac naukowych związanych z tematem skutków promieniowania dla organizmu ludzkiego spotkałam się oczywiście z publikacjami dotyczącymi badań otoczenia elektrowni jądrowych w czasie normalnej pracy i w sytuacjach awaryjnych – wtedy obiektem pilnej obserwacji były m.in. następstwa awarii w elektrowni Three Mile Island w Stanach Zjednoczonych.

Niedługo potem zdarzył się Czarnobyl. To już nie były odległe problemy, to nie był mało znaczący wyciek, to były trudne pytania i wyzwania „na teraz". Co nam grozi naprawdę? Co mówić tak wielu pytającym?

Po kilkunastu dniach od awarii wiadomo było, że sytuacja jest pod kontrolą. Można było coś szacować, można było zastanawiać się nad skutkami. Wtedy właśnie zdarzyło się coś, co zapadło mi w pamięć na długo i skłoniło do zajęcia się biologicznymi skutkami promieniowania bardziej dogłębnie. Z nagła wizytą zjawiła się koleżanka, wówczas 34-letnia, zapłakana i roztrzęsiona. Przyszła do mnie prosto od ginekologa, do którego poszła po poradę – była w trzecim miesiącu wyczekanej i wymodlonej, pierwszej ciąży. Prawie od progu usłyszała: „To co, usuwamy?" Bez dyskusji o szansach, stopniu ryzyka, rodzaju ryzyka. Ten lekarz wiedział najlepiej.

Takich historii było wtedy w Polsce wiele. Zdawałam sobie z tego sprawę i trzeba było „od zaraz" zacząć „psychoterapię", czyli rozmowy o tym, co już wiem o działaniu promieniowania, czego zamierzam się dowiedzieć i o tym, że wywołany przez ogólną panikę po awarii i jakże wzmocniony przez lekarza stres może zaszkodzić jej bardziej niż promieniowanie. Moje informacje przekazywała nie mniej zestresowanej rodzinie i dwóm ciężarnym koleżankom. Potem i one przychodziły na te rozmowy, aż do szczęśliwych porodów. Dwóch chłopców i dziewczynka uratowanych od ludzkiej głupoty, od zabobonu i zadufania, również w wydaniu człowieka, którego zadaniem było „primum non nocere" – przede wszystkim nie szkodzić!

Pogłębianie wiedzy o skutkach promieniowania już wcześniej oraz chęć dotarcia z nią do lekarzy zaowocowały współpracą z Państwowym Zakładem Higieny i Ministerstwem Zdrowia. W jej wyniku powstała praca przeglądowa o skutkach małych dawek promieniowania dla organizmu człowieka, opublikowana w Polskim Przeglądzie Radiologicznym w 1986 roku [2].

Wiele materiałów przywoływanych w tej pracy dotyczyło badań epidemiologicznych w otoczeniu elektrowni jądrowych, choć zgłoszona została jeszcze przed Czarnobylem.. Ze względu na niegasnące dyskusje na ten temat starałam się śledzić wszystkie bieżące doniesienia; jako część ważnej dla mnie wiedzy takie badania interesowały mnie przez kolejnych dwadzieścia lat. Wobec tego, co juz wiedziałam, zaniechanie budowy elektrowni z Żarnowcu postrzegałam jako bezprzykładne marnotrawstwo...

Skąd wzięła się radiofobia, która nie tylko w naszym kraju kosztowała i nadal kosztuje tak wiele i tak bardzo nieraz szkodzi?

PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE – ZAWSZE I WSZĘDZIE WOKÓŁ NAS

Promieniowanie jonizujące towarzyszy gatunkowi ludzkiemu od zawsze; stanowi i stanowiło element naszego naturalnego otoczenia. Dochodzi do nas ze wszystkich stron: z kosmosu, przenikając atmosferę, dachy i sufity, z podłoża – i to zarówno z wyłożonego betonowymi płytami chodnika, jak i z bazaltowych płyt górskiej ścieżki. Promieniuje siedzący obok nas człowiek, substancje promieniotwórcze zawarte są w otaczającym nas powietrzu i wodzie. Każdego dnia miliony kwantów i cząstek naturalnego promieniowania jonizującego przenika nasze ciało.

Kiedyś jego natężenie było znacznie większe; średnia dawka roczna była większa od obecnej co najmniej kilkanaście razy, a maksymalne wartości, w których rozwijał się nasz gatunek, wymusiły powstanie mechanizmów obronnych i naprawczych dla struktur biochemicznych w naszych komórkach. Mechanizmy tego rodzaju bronią nas przed szkodliwym działaniem wielu innych czynników naturalnych w naszym otoczeniu.

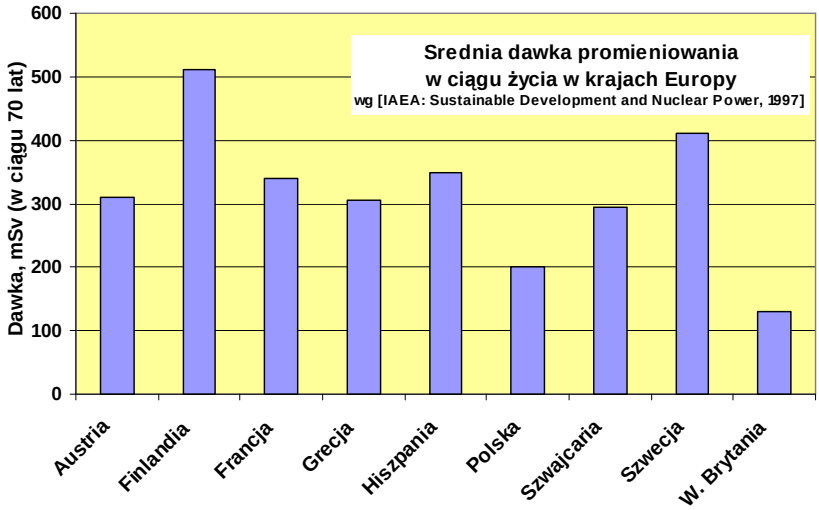
Obecnie średnia dawka roczna promieniowania pochodzacego ze źródel naturalnych wynosi ok. 2,4 mSv. Wokół podanej średniej rozrzut jest bardzo duży. Wahania tła, powodowane głównie różnicami w zawartości radonu w glebie wynoszą typowo od 1 do 10 mSv/rok, [3]. Polska znajduje się w obszarze średnich dawek, choć i na obszarze naszego kraju są istotne różnice – rzędu 0,6 mSv dla samej tylko dawki promieniowania gamma od tła naturalnego. Gdyby dołączyć tu wpływ radonu, moglibyśmy uzyskać różnice nawet kilkakrotnie większe w obrębie tej samej miejscowości, a nawet ulicy.

Tabela 1. Wartości średniej mocy dawki gamma w powietrzu w miastach Polski [4].

Miejscowość (lokalizacja)	Średnia roczna [mSv/rok]	Różnica dawki rocznej w odniesieniu do Wrocławia, mSv/rok
Wrocław	0,517	0
Łódź	0,596	0,079
Białystok	0,613	0,096
IEA Swierk,	0,613	0,096
Szczecin	0,683	0,166
Warszawa	0,736	0,219
Toruń	0,745	0,228
Warszawa	0,753	0,236
Świnoujście	0,797	0,280
Olsztyn	0,806	0,289
Lublin	0,858	0,341
Gdynia	0,867	0,350
Kraków	0,885	0,368
Legnica	0,955	0,438
Lesko	0,998	0,481
Zakopane	1,042	0,525

Rys. 1. Wkład różnych źródeł promieniowania do średniej dawki rocznej w Polsce.

Duże różnice w naturalnym tle promieniowania występują w naszym najbliższym sąsiedztwie: tło promieniowania naturalnego w Szwecji jest dwukrotnie większe niż w Polsce, a w Finlandii ponad 2,5 razy większe, jak widać na rys.2



Rys. 2 Średnie dawki otrzymywane przez 70 lat w różnych krajach Europy [5].

Dawki od tła naturalnego są w wielu rejonach świata co najmniej kilkadziesiąt razy wyższe niż dawki od narażenia zawodowego w medycynie czy energetyce jądrowej, znacznie wyższe od dawek, które Polska i inne kraje Europy otrzymały po awarii czarnobylskiej. W pewnych rejonach Brazylii, Indii, czy Iranu moce dawki są znacznie większe i dochodzą do 35 mSv/rok (Kerala, Indie lub Guarapari, Brazylia), a nawet do 300 mSv/rok (Ramsar, Iran).

Rys.3. Pomiar tła naturalnego w Ramsar: 142 - 143 mikroGy/h (ściana sypialni) [6, 7].

Tabela 2. Porównanie rocznych dawek promieniowania od źródeł naturalnych i sztucznych [mSv.]

420	Dawka roczna kosmonauty na orbicie
300	Dawka roczna od promieniowania naturalnego w Ramsar (Iran)
20	Dawka roczna w niewietrzonym domu na podłożu granitowym
3,6	Dawka roczna od promieniowania naturalnego na wysokości 1500 m npm.
2,4	Dawka roczna średnia na ziemi od źródeł naturalnych
0,7	Dawka otrzymywana przy prześwietleniu rentgenowskim płuc
0,06	Dawka od promieniowania kosmicznego podczas lotu Warszawa-New York-Warszawa
<0,01	Dawka otrzymywana podczas tygodniowego pobytu na nartach w górach
<0,01	Dawka roczna w najbliższym sąsiedztwie elektrowni jądrowej

Większość ludzi niemających do czynienia z problemami promieniowania nie zdaje sobie z tego sprawy; nie wie o tym nawet wielu fizyków i przeważająca liczba lekarzy. Wiedza o promieniowaniu i jego skutkach, przynajmniej w podstawowym zakresie, powinna być przekazywana w szkole średniej, nie mówiąc już o studiach medycznych.

DAWKI WOKOŁO ELEKTROWNI JĄDROWYCH – DOPUSZCZALNE I RZECZYWISTE

Wielkość rekomendowanej dawki dopuszczalnej dla ludności, powodowanej przez instalacje jądrowe, wynosi - zgodnie z zaleceniem Międzynarodowej Komisji Ochrony Przed Promieniowaniem (ICRP) - 1 mSv/rok. Wielkość tę przyjęto jako obowiązującą w krajach Unii Europejskiej. Dodatkowo w niektórych krajach urzędy dozoru jądrowego wprowadzają ograniczenia mające zapewnić, że w stosunku do zaleceń ICRP będzie zachowany margines bezpieczeństwa w

przypadku jednoczesnej pracy kilku elektrowni jądrowych lub innych dużych źródeł promieniowania (poza napromieniowaniem związanym z medycyną).

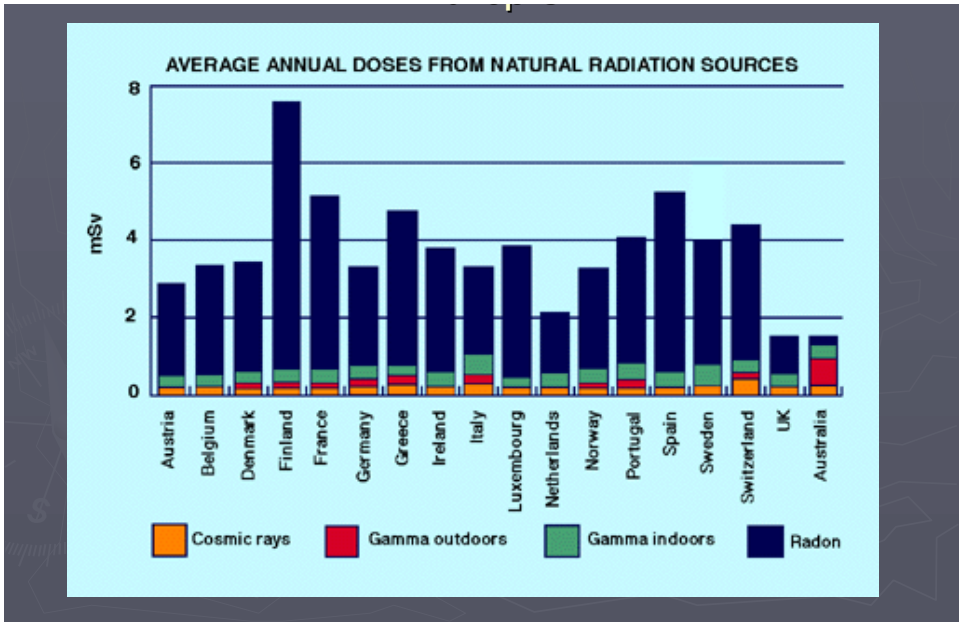
W Niemczech dla promieniowania z EJ ustalono limit równy 0,3 mSv/rok. W Finlandii urząd dozoru jądrowego określił emisje dopuszczalne z elektrowni tak, by dodatkowa dawka roczna powodowana przez EJ nie przekraczała 0,1 mSv. We Francji natomiast obowiązuje dawka 1 mSv/rok, chociaż limity uwolnień odpowiadają dawkom o wiele mniejszym.

W metodyce określania emisji dopuszczalnych urzędy dozoru przyjmują założenia niekorzystne, tak by w rzeczywistości dawki były mniejsze od dozwolonych. Ponadto elektrownie starają się utrzymać emisje na poziomie jak najmniejszym zgodnie z zasadą ALARA. W efekcie rzeczywiste dawki wokoło EJ są znacznie mniejsze od dozwolonych.

We francuskiej elektrowni jądrowej Flammanville z dwoma reaktorami typu PWR o mocy 900 MWe roczna dawka promieiowania związana ze wszystkimi emisjami z EJ wynosi typowo 0,0003 mSv/rok. Powołany przez rząd francuski Komitet Souleau stwierdził, że maksymalne dawki odpowiadające dozwolonym limitom wyniosłyby 0,3 mSv/rok, podczas gdy rzeczywiste dawki poza terenem elektrowni wyniosły średnio 0,01 mSv, a więc 30 razy mniej niż dawki graniczne, a 200 razy mniej niż tło promieniowania naturalnego [8].

W USA uwolnienia średnie ze wszystkich elektrowni jądrowych są także dużo niższe niż wartości dopuszczalne. Nigdy nie wykryto żadnych ujemnych skutków zdrowotnych powodowanych przez te niskie uwolnienia, i nie oczekuje się by kiedykolwiek takie skutki wystąpiły. Wbrew twierdzeniom publicystów antynuklearnych, przeprowadzone na ogromną skalę (obejmującą 500 000 osób) studium amerykańskiego Instytutu Chorób Nowotworowych potwierdziło, że nie ma żadnych oznak wzrostu zachorowań na raka w sąsiedztwie instalacji jądrowych w USA [9].

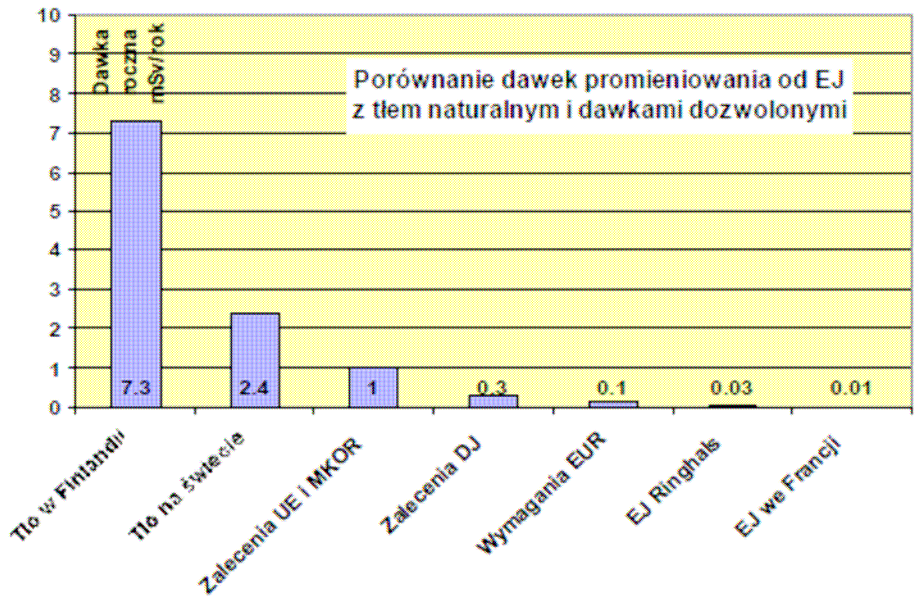
W Szwajcarii dawki wokół elektrowni jądrowych wahają się od 0,01 do 0,001 mSv rocznie. Elektrownia jądrowa w Gosgen przez 14 lat powodowała dawki dla najbardziej narażonej grupy ludności leżące poniżej 0,001 mSv/rok. Dla pokazania pełnego obrazu warto dodać, że w jednej z elektrowni szwajcarskich, mianowicie w Muehlebergu, zdarzyła się jednak awaria w systemie przerobu suchych żywic zatrzymujących materiały radioaktywne i doszło do znaczącego wydzielenia długożyciowych produktów radioaktywnych poza elektrownię. Było to w 1987 r., a od tej pory elektrownia pracuje dobrze i poziom promieniowania stale maleje. W czasie wspomnianej awarii w sąsiedztwie elektrowni uwolnienia spowodowały wzrost dawki do wartości 0,1 mSv/rok, a więc ponad 40 razy mniej od średniego poziomu tła w Szwajcarii (patrz rys.4). Trzeba tez dodać, że EJ Muehleblerg to elektrownia bardzo stara.



Rys. 4. Średnia roczna dawka od tła naturalnego w krajach europejskich.

Dawka rzeczywista dla krytycznej grupy ludności wokoło elektrowni jądrowej Ringhals (Szwecja) wynosi 0,03 mSv/rok. Dawki wokoło innych elektrowni jądrowych w Szwecji są jeszcze mniejsze. We Francji dawki dla krytycznej grupy ludności wokoło elektrowni wynoszą około 0,01 mSv/rok. Średnia moc dawki dla ludności Francji, gdzie przecież energia jądrowa dostarcza 80% potrzebnej krajowi energii elektrycznej, wynosi 0,001 mSv/rok, a więc jest pomijalnie mała według wszelkich ocen, czy to formułowanych przez Francuską Akademię Medyczną, czy przez ICRP lub UNSCEAR.

W Finlandii [10] dawki dopuszczalne dla ludności powodowane pracą elektrowni jądrowej ustalono na
0,1mSv/rok. Przy przyjęciu niekorzystnych założeń, dawka efektywna, którą mogła spowodować praca elektrowni jądrowej Olkiluoto z blokami 1 i 2 oceniana była na 0,044 mSv/rok. W ciągu ostatnich kilku lat dawka obliczona na podstawie rzeczywistych danych dla najbardziej narażonej osoby w okolicy EJ Olkiluoto była dużo niższa, poniżej 0,0002 mSv/rok. Po oddaniu do eksploatacji nowego bloku nr 3 (reaktorem PWR o mocy 1600 MWe) dawki dopuszczalne dla ludności nie zmienią się i pozostaną na poziomie 0,1 mSv/rok.

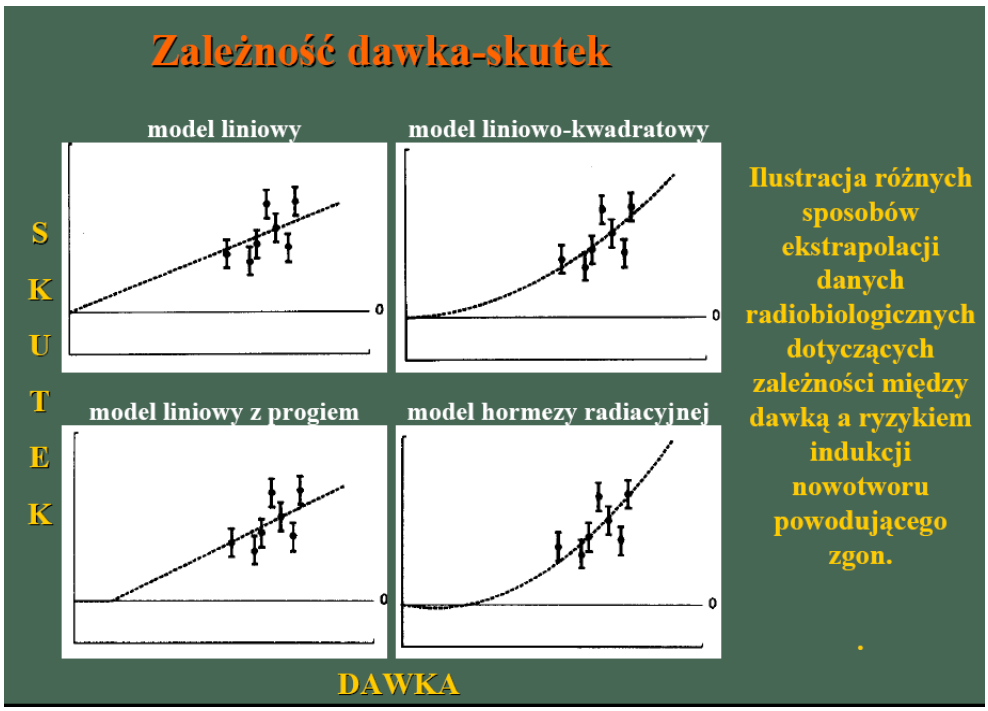


Rys. 5. Porównanie średnich dawek rocznych od EJ z tłem naturalnym i zaleceniami międzynarodowymi i krajowymi (DJ – krajowy dozór jądrowy, MKOR – Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej).

SKĄD SIĘ WZIĘŁY TAK RESTRYKTYWNE LIMITY?

W 1959 r., wobec braku informacji na temat skutków małych dawek promieniowania, w dążeniu do ostrożniejszego postępowania z substancjami radioaktywnymi, a w szczególności do przerwania prób broni jądrowej, Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) wprowadziła hipotezę, zwaną modelem liniowym bezprogowym LNT (*Linear No Threshold*). Wg LNT zagrożenie od małej dawki jest równe zagrożeniu od dawki dużej, pomnożonemu przez stosunek dawek i odpowiednie współczynniki proporcjonalności. Model ten zakłada, że zarówno zachorowania na raka jak i skutki genetyczne małych dawek promieniowania są wynikiem mutacji powodowanych bezpośrednio przez promieniowanie jonizujące. Wobec faktu, że nie ma bezpośrednich danych dla małych dawek, stosuje się ekstrapolację z danych opisujących skutki dużych dawek promieniowania, a konkretnie - skutki jednorazowej ekspozycji na duże dawki ludności w Hiroszimie i Nagasaki.

Hipoteza LNT stała się podstawą ochrony radiologicznej. Na tej podstawie sformułowano zasadę ograniczania dawek tak bardzo, jak tylko jest to rozsądnie możliwe (ALARA) i wprowadzono bardzo skuteczny, choć kosztowny system barier chroniących przed rozprzestrzenianiem promieniowania z elektrowni jądrowych i niezwykle obciążające dla finasów służby zdrowia wymogi odnośnie osłon wokół aparatów diagnostycznych i terapeutycznych. Wg polskich przepisów osłona ma zapewniać zmniejszenie dawki do 0,3 mSv rok!



Rys. 6. Różne modele ekstrapolacji danych z obszaru znanych skutków wysokich dawek [6].

Praktycznie od wprowadzenia tego modelu wśród specjalistów trwa dyskusja na temat zasadności jego utrzymywania. Badania procesu kancerogenezy, czyli powstawania chorób nowotworowych wskazują, że choroby nowotworowe są procesami wieloetapowymi, a takie procesy w przyrodzie nie są liniowe. Ich przebieg jest zawsze krzywoliniowy, nieraz opisywany różnymi funkcjami w poszczególnych zakresach, na ogół z progiem dawki czynnika inicjującego czy promującego chorobę nowotworową. Wątpliwości co do wyboru modelu LNT dla dopasowania przebiegu funkcji w obszarze małych dawek obrazuje rys. 6.

CO WNIOSŁY NOWE DANE O SKUTKACH PROMIENIOWANIA OD CZASU WPROWADZENIA MODELU LNT?

Od czasu wprowadzenia modelu LNT pojawiło się bardzo dużo nowych danych na temat działania małych dawek promieniowania, publikowanych w pracach naukowych, zbieranych i analizowanych w dużych raportach instytucji międzynarodowych i organizacji. Wiele towarzystw naukowych organizowało dyskusje na ten temat, publikowane w czasopismach specjalistycznych o światowym zasięgu**.**

Wiele z tych doniesień ma tak doniosły i znaczący charakter, że należy przytoczyć ich podstawowe rezultaty.

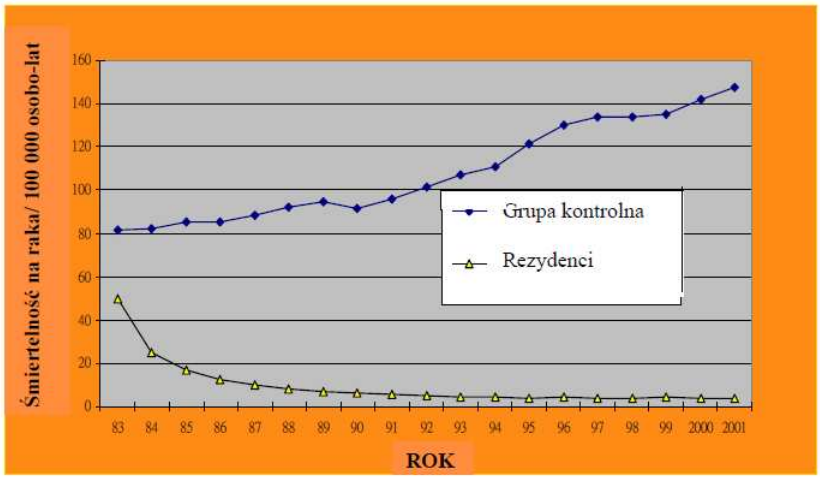
Tabela 3. Zmniejszenie śmiertelności w dużych populacjach napromienionych małymi dawkami (1- 500 mSv) [11].
A – wszystkie przypadki; C – rak; L – białaczka; NC – nie-raki; LC – raki płuc.

Rodzaj narażenia	Zmniejszenie śmiertelności	Źródło danych
Wysokie tło promieniowania naturalnego, USA	15% - C	Frigrio i Stowe, 1976
Wysokie tło promieniowania naturalnego, Chiny	15% - C	Wei, 1990
Pracownicy przemysłu jądrowego, Kanada	68% - L	Gribbin i wsp., 1992
Pracownicy transportu przemysłu jądrowego, USA	24% - A 58% - L	Matanoski, 1991
Pracownicy przemysłu jądrowego z ośrodków: Hanford, ORNL i Rocky Flats (łącznie), USA	9% - C 78% - L	Gilbert i wsp., 1993
Radiolodzy medyczni zatrudnieni w latach 1955 – 1979, Wielka Brytania	32% - A 29% - C 36% - NC	Berrington i wsp., 2001
Zatrudnieni przy produkcji plutonu, Majak, Rosja	29% - L	Tokarskaya i wsp., 1997
Wysokie stężenie radonu w mieszkaniach, USA	35% - LC	Cohen, 1995
Wypadek na Wschodnim Uralu, Rosja	39% - C	Kostyuchenko i Krestinina, 1994
Awaria w Czarnobylu - likwidatorzy	13% - C 15% - A	Ivanov i wsp., 2001
Pacjenci diagnozowani jodem-131, Szwecja (dawki na tarczycę 0 – 257 mGy)	38% - C	Hall i wsp., 1996

BADANIE MIESZKAŃCÓW OSIEDLA W TAJWANIE [12]

Względnie niedawno, bo w 2004 roku, podano do wiadomości wyniki badań znaczącej liczby (ok. 10 tysięcy) mieszkańców Tajwanu, którzy przez 9 do 20 lat mieszkali w osiedlu 180 domów zbudowanych z betonu, w którym stal zbrojeniowa została, oczywiście nieświadomie, zanieczyszczona stopionym wspólnie silnym źródłem kobaltowym (okres połowicznego zaniku 5,3 lat). W domach tych, ale także w miejscach użyteczności publicznej, jak szkoły i małych przedsiębiorstwach, panowało wyraźnie podwyższone promieniowanie, a mieszkańcy, nie wiedząc o tym, otrzymali średnio dawki 0,4 Sv.

Gdy odkryto ten fakt, przebadano mieszkańców osiedla i porównano wyniki z wynikami badań grupy kontrolnej o podobnych charakterystykach. Przede wszystkim dokonano możliwie dokładnego pomiaru dawek otrzymanych przez mieszkańców. Jak się okazało, około 10% rezydentów osiedla otrzymało w roku 1983 dawkę 525 mSv, a łączną w latach 1983-2003 aż 4 Sv. 9% mieszkańców otrzymało dawki 60 mSv w roku 1983 i łącznie 420 mSv. Pozostałe 80% grupy otrzymało dawki 18 mSv w 1983 i dawkę łączną 120 mSv. Choć, jak widać, wielu rezydentów otrzymało stosunkowo wysokie dawki, u żadnego z nich nie wystąpiły objawy ostrej choroby popromiennej, tak jak to było u ofiar bombardowań, czy u ratowników w Czarnobylu. Okazało się natomiast, że promieniowanie w sposób znaczący obniżyło śmiertelność na nowotwory w grupie poddanej napromienieniu, patrz rys. 7.



Rys. 7. Śmiertelność z powodu nowotworów (na 100 000 osobo-lat) wśród rezydentów osiedla domów z promieniotwórczą stalą w porównaniu z grupą kontrolną w latach 1983 – 2001. Trend wzrostowy w grupie kontrolnej Tajwańczyków autorzy tłumaczą powiększającą się długością życia.

W okresie badanych 20 lat średnia śmiertelność z powodu nowotworów złośliwych wynosiła na Tajwanie 116 na 100 000 osobo-lat, w grupie poddanych podwyższonym dawkom wynosiła ona 3,5. Na spodziewanych w ciągu 20 lat (na podstawie hipotezy LNT) 302 przypadki śmiertelnych nowotworów, z których 70 (głównie białaczek) miało powstać w wyniku napromienienia, stwierdzono w sumie zaledwie 7 przypadków, a więc 3% (!) oczekiwanych zgonów.

Również w badaniu występowania wad wrodzonych, powstałych w okresie życia płodowego, których spontaniczna częstotliwość na Tajwanie wynosi 23 na 1000 dzieci, zanotowano jedynie 1,5 przypadków na 1000 dzieci poniżej 19-go roku życia urodzone przez osoby „napromienione". Ze spodziewanych 67 przypadków, z których 21 miało być wywołanych napromienieniem, stwierdzono w sumie tylko 3 przypadki. W grupie badanych osób nie zanotowano także aberracji chromosomalnych, choć obserwowano drobne zmiany na poziomie komórkowym. Zmiany te jednak ewidentnie nie prowadzą do efektów szkodliwych dla zdrowia. W tej sytuacji zasadnym staje się pytanie postawione w tytule cytowanej pracy Chena i in., czy przypadkiem małe dawki promieniowania nie działają korzystnie dla zdrowia?

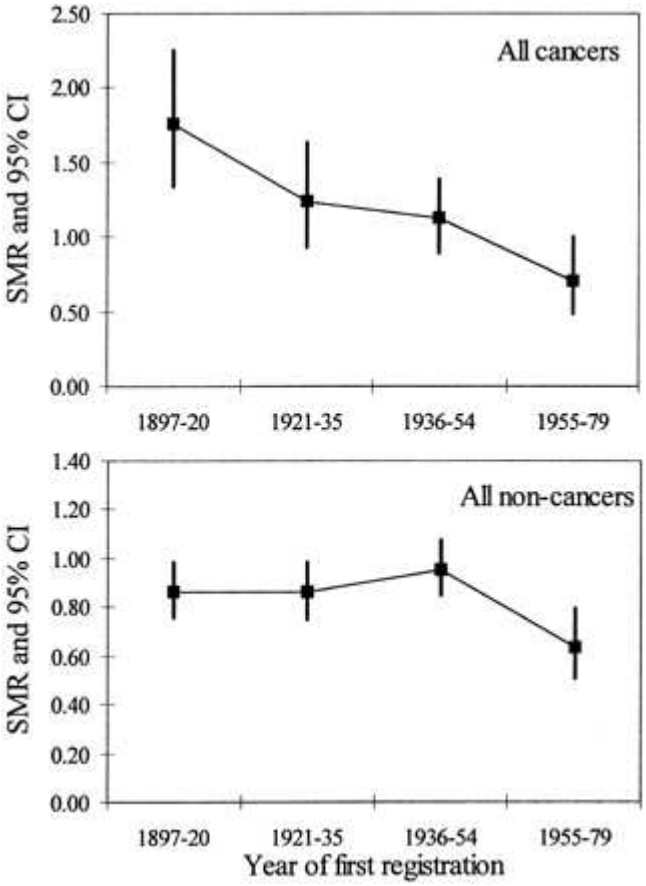
BADANIE PRZYCZYN ZGONÓW I DŁUGOŚCI ŻYCIA RADIOLOGÓW BRYTYJSKICH – 100 LAT OBSERWACJI [13]

W obserwacji epidemiologicznej z tego samego czasu porównano współczynniki śmiertelności radiologów brytyjskich (mężczyzn) z powodu nowotworów, z przyczyn innych niż nowotworowe, oraz z wszystkich przyczyn (nowotworowe + inne). Współczynniki te porównano w odpowiednimi wartościami dla lekarzy innych specjalności oraz mężczyzn z tzw. social class I, czyli żyjących na podobnym poziomie, co brytyjscy lekarze. Odpowiednia grupa kontrolna ma w badaniach epidemiologicznych podstawowe znaczenie.

Współczynniki śmiertelności wg przyczyn badano dla grup radiologów wg przedziałów czasowych, w których zarejestrowali się w British Institute of Radiology lub Royal College of Radiologists, co

zasadniczo oznaczało początek praktyki w tym zawodzie, a tym samym rutynowej ekspozycji zawodowej. Pierwsza grupa radiologów, dla których zbadano przyczyny zgonów i długość życia, to pionierzy tej specjalizacji, którzy rozpoczęli stosowanie promieniowania rentgenowskiego do celów diagnostycznych zaledwie w dwa latach po odkryciu ich właściwości przez Wilhelma Konrada Roentgena. W tych czasach za dawkę sygnalizującą nadmierną ekspozycję uważano dawkę rumieniową.

Kolejna grupa miała już świadomość pewnego zagrożenia, pierwsze zalecenia w zakresie ochrony radiologicznej opublikowano w Wielkiej Brytanii w roku 1920. Obserwację i gromadzenie danych zakończono w styczniu 1997.



Rys. 8. Standaryzowane współczynniki śmiertelności (SMR) i 95% przedziały ufności (CI) dla zgonów z powodu nowotworu i zgonów z innych przyczyn dla wszystkich mężczyzn radiologów w porównaniu z lekarzami innych specjalności według lat pierwszej rejestracji praktyki.

Umieralność pośród radiologów brytyjskich z przyczyn innych niż nowotworowe dla stu lat obserwacji była o 14% niższa niż w grupie kontrolnej. Umieralność z wszystkich przyczyn była o 8% niższa.

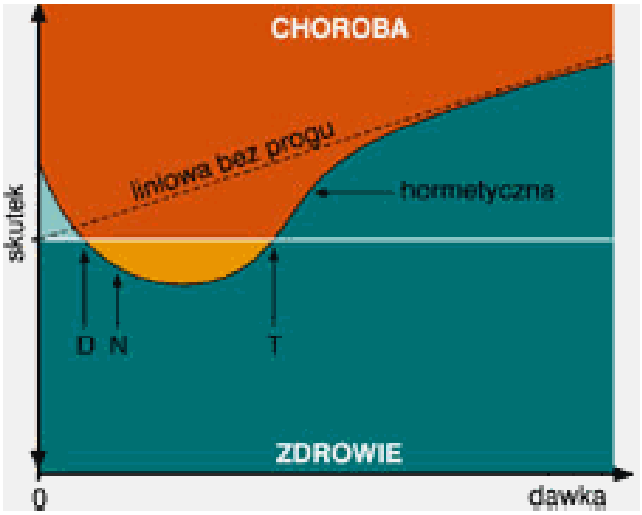
Najzdrowsi okazali się ci spośród brytyjskich radiologów, którzy rozpoczęli swoją praktykę pomiędzy rokiem 1955 i 1979. Ich umieralność z powodu chorób nowotworowych była o 29% niższa, z innych przyczyn o 36% niższa, a z wszystkich przyczyn o 32% niższa w porównaniu z grupą kontrolną. Średnia długość życia dla tej grupy jest o około 3 lata większa niż dla grupy

kontrolnej, w tym lekarzy innych specjalności. Prawdopodobieństwo, że taki efekt jest przypadkowy jest mniejsze niż 1:1000.

Czy więc umiarkowana ekspozycja na promieniowanie jest rzeczywiście szkodliwa?

Naturalne zjawiska w przyrodzie nie mają charakteru liniowego. Wiemy, że wiele substancji i zjawisk jest korzystnych dla życia przy małych dawkach, chociaż są one szkodliwe przy dużych. Przykładów jest mnóstwo - witaminy i mikroelementy niezbędne w małych ilościach a szkodliwe w dużych, światło słoneczne, którego deficyt ma ujemne skutki zdrowone, a nadmiar wywołuje nowotwory skóry, temperatura otoczenia, do której nasz organizm jest przystosowany w określonym zakresie, a zabójcza, gdy jest za niska lub za wysoka. Podobnie z gazami wchodzącymi w skład powietrza. Tlen w normalnym stężeniu jest nam potrzebny do życia, w stężeniu nieco większym działa leczniczo a jego nadmiar przez określony czas prowadzi do poważnych skutków zdrowotnych. Szkodliwy jest rówież nadmiar azotu.

Zamieszczony poniżej wykres przedstawia uogólniony model odpowiedzi organizmu na naturalne czynniki fizyczne i chemiczne [wg UNSCEAR].



Rys.9. Model odpowiedzi organizmu na naturalne czynniki fizyczne i chemiczne.

Jasna linia na wykresie oddziela stan zdrowia organizmu od stanu prowadzącego do choroby. Wynika z niego, że deficyt czynnika (*dawka mniejsza od D*) wywołuje objawy niedoboru (kolor jasnoniebieski). Małe dawki czynnika (*dawki pomiędzy D i T*) poprawiają stan zdrowia (kolor jasnopomarańczowy).

Wysokie dawki (*wyższe od T)* są toksyczne i powodują wyłącznie skutki szkodliwe. Według zwolenników hormezy radiacyjnej podobny wpływ na organizm człowieka wywołuje promieniowanie jonizujące. Dawki, które poprawiają stan zdrowia, pokrywają cały zakres naturalnego tła promieniowania (*wartość T wynosi ok. 200 mSv, N to średni naturalny poziom promieniowania, czyli kilka mSv*). Linia przerywana obrazuje hipotezę o liniowym, bezprogowym działaniu promieniowania. Linia ciągła przedstawia model hormetycznego działania małych dawek promieniowania.

Zakłady przerobu paliwa we Francji

We Francji zarzuty pod adresem zakładów przerobu paliwa wypalonego COGEMA w La Hague wysunął prof. Viel twierdząc, że wykrył wzrost zachorowań na białaczkę wśród młodzieży poniżej 25 lat mieszkającej w odległości 35 km od zakładów. Opublikował on hipotezę, głoszącą że ten wzrost zachorowań jest skutkiem promieniowania emitowanego przez odpady radioaktywne z zakładów w La Hague. Wykryty wzrost zachorowań był minimalny, zaledwie na granicy mającej znaczenie statystyczne, ale wobec tego, że zarzut dotyczył energii jądrowej spowodowało to wielkie zaniepokojenie. W odpowiedzi minister ochrony środowiska i sekretarz stanu do spraw zdrowia we Francji utworzyli komitet naukowy mający zbadać ten problem.

Komitet stwierdził, że łączna liczba zachorowań na białaczkę, jaką teoretycznie mogłyby spowodować ciekłe odpady radioaktywne normalnie wydzielane z zakładów przerobu wypalonego paliwa jądrowego wynosi 0,0009 przypadku wśród całej zagrożone ludności i przez wszystkie lata działania zakładów. Ponadto, w okresie od 1979 do 1996 roku wystąpiły uwolnienia awaryjne, spowodowane przedziurawieniem rury prowadzącej do morza, które mogły spowodować 0,0001 przypadku oraz pożarem w silosie, który mógł spowodować 0,0004 przypadku. Łączny wkład uwolnień rutynowych i awaryjnych z zakładów przerobu paliwa wypalonego mógł spowodować 0,0014 przypadku białaczki. Łączna liczba przypadków zaobserwowanych w populacji obserwowanej w okresie 1979-96 wyniosła 4, podczas gdy liczba oczekiwana na podstawie średniej częstości we Francji wynosiła 2. Różnica nie jest znacząca statystycznie. Wyniki prac Komitetu wykazały, że uwolnienia radioaktywne z zakładów w La Hague nie były powodem wzrostu zachorowań na białaczkę u dzieci w okolicy zakładów [8].

Przypadki białaczki blisko EJ Krummel – skutki produkcji materiałów wybuchowych

Mimo rosnącej liczby badań różnych komisji powoływanych przez ministerstwa ochrony środowiska i ministerstwa zdrowia w takich krajach jak USA, Wielka Brytania czy Francja potwierdzających, że elektrownie jądrowe nie wywołyją ujemnych skutków zdrowotnych, przeciwnicy energetyki jądrowej w Niemczech walczący o głosy wyborców nie ustępowali ze stanowiska o dobrej nośności medialnej: elektrownie jądrowe na pewno szkodzą, oni to wykażą a będąc u władzy uratują naród niemiecki od tego zagrożenia Wykorzystywali przy tym przypadki białaczki w pobliżu EJ Krummel oraz wyniki studiów zachorowalności na nowotwory w sąsiedztwie wybranych instalacji jądrowych. Warto poznać fakty, by wiedzieć, co kryje się za twierdzeniami przeciwników energetyki jądrowej.

W latach 1990/91 w bezpośrednim sąsiedztwie EJ Krummel zachorowało na białaczkę 5 dzieci, potem w dwóch falach jeszcze 9 dzieci, łącznie 14 w ciągu 15 lat. Powstało podejrzenie, że białaczki spowodowało promieniowanie z EJ. Powołano kolejno 4 komisje, które przez 16 lat prowadziły intensywne analizy sytuacji, przede wszystkim sprawdzając czy z EJ Krummel mogło wydzielić się promieniowanie powodujące owe białaczki. W komisjach uczestniczyli zarówno zwolennicy jak i przeciwnicy energetyki jądrowej i jak oświadczył Erich Wichmann, kierownik Instytutu

Epidemiologii w Ośrodku Badawczym w Monachium, przewodniczący jednej z tych komisji i członek innej, *„W tych komisjach następowało zderzenie dwóch różnych światów, spory były ostre i często personalne”*. Zdaniem takich autorytetów jak prof. Blettner, kierownik Niemieckiego Rejestru Zachorowań Dzieci na Raka i dr Kaatsch, rzecznik Komisji ds. Białaczki, prof. Wichmann, przewodniczący komisji ds. Wskaźników Obciążenia (czynnikami powodującymi białaczkę) i prof. Greiser, oraz według Instytutu Ekologicznego Oko-Institut z Darnstadt, promieniowanie z EJ nie mogło być przyczyną wzrostu białaczki w Krummel .

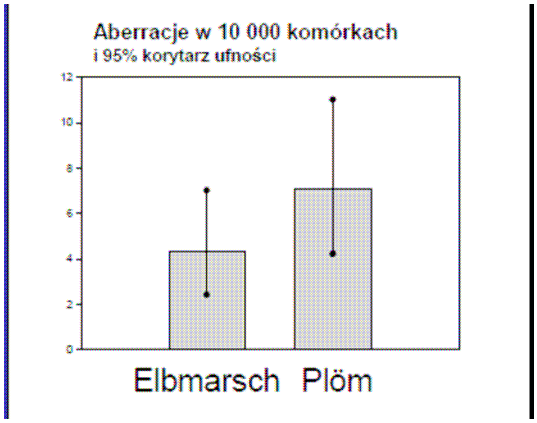
W końcu 2004 roku minister ochrony środowiska prowincji, w której rządy sprawowała antynuklearna koalicja zielono-czerwona, sam zresztą członek partii Zielonych, zamknął sprawę dochodzeń oświadczeniem, że wysoka częstość białaczek wokoło Krummel nie jest spowodowana przez działania EJ. Nawet ci członkowie komisji, którzy twierdzą, że białaczka została wywołana przez promieniowanie przyznają, że *„normalna praca EJ nie może spowodować uwolnienia radioaktywności, która mogłaby być powodem białaczki”*.

Sprawdzenie, czy nie doszło do niedozwolonych uwolnień, powierzono Instytutowi Ekologicznemu w Darnstadt, który bynajmniej nie jest przyjazny wobec energetyki jądrowej. Jak oświadczył Michael Sailer, Koordynator Wydziału Bezpieczeństwa Instalacji Jądrowych w Ökoinstitut i członek niemieckiej Komisji Ochrony przed Promieniowaniem:

„Wykonaliśmy ogromną pracę i chociaż sami nie mogliśmy początkowo w to uwierzyć, eksperci naszego Instytutu Ekologicznego stwierdzili, że EJ Krummel nie ponosi winy”.

Nie znaleziono także żadnych wskazań, które mogłyby prowadzić do wniosku, że w jakimkolwiek czasie wystąpiły uwolnienia radioaktywności z EJ Krummel, które mogły prowadzić do wystąpienia białaczki. *„Po prostu – nie było żadnych podstaw do takiego twierdzenia”*.

Badania aberracji chromosomów wykazały, że liczba ich jest podwyższona w okolicy EJ Krummel, ale dalsze badania porównawcze wykazały, że jeszcze większe ilości aberracji występują w miejscowości Plom, leżącej daleko od elektrowni (rys. 10). Spowodowało to debatę co do możliwości sfałszowania wyników. *„Czy nie zamieniono próbek? Czy lekarze uczciwie pobierali próbki krwi? Czy laboratoria, które pracowały z anonimowymi próbkami, rzeczywiście nie znały ich pochodzenia?”* Kłótnia zataczała coraz dalsze kręgi, ale ostatecznie uzgodniono wynik dochodzeń: *„żadnych nieuczciwych manipulacji nie było”*.



Rys. 10. Analiza aberracji chromosomowych w limfocytach 30 dzieci żyjących w Elbmarsch i 30 dzieci żyjących w miejscowości Plöm położonej z dala od elektrowni jądrowej [14].

Sprawa pozostawała zagadką przez wiele lat. Skoro promieniowanie z instalacji jądrowych nie mogło być przyczyną białaczki dziecięcej, a mimo to białaczki występowały, to co było ich przyczynę? Działacze antynuklearni bez wahania twierdzili, że nie ma sensu wierzyć w zaprzeczenia lekarzy i komisji, skoro dzieci chorują. Ich zdaniem, winna była energetyka jądrowa.

Dopiero niedawno okazało się, że przyczyną zachorowań mogą być pozostałości po działającej w okolicy w latach 1865-1945 fabryce materiałów wybuchowych założonej przez samego Alfreda Nobla. W pobranych próbkach gruntu nie wykryto zwiększonej radioaktywności, ale jest wiele toksycznych metali ciężkich – ołów, arsen, cynk, nikiel, chrom i inne, które są znane z wywoływania białaczki. Ponieważ na terenie dawnej fabryki działa ośrodek naukowy eksploatujący badawczy reaktor jądrowy, przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzili, że winę ponosi ośrodek. Jego pracownicy mieli rzekomo ukrywać fakt, że 12 września 1986 doszło tam do wycieku. Zarzuty te nie potwierdziły się – białaczki są skutkiem skażeń ziemi metalami ciężkimi. Na zdjęciu lotniczym dostępnym w serwisie flickr.com można zobaczyć budynki fabryki materiałów wybuchowych wykonane 7 kwietnia 1945, na kilka dni przed zniszczeniem jej przez alianckie lotnictwo bombowe. To bombardowanie i skażenia – to fakty. Ale to już nie jest takie sensacyjne...

Studia zachorowalności wokoło elektrowni jądrowych w Niemczech

Poza analizą okolicy Krummel, w Niemczech przeprowadzono trzy duże studia zachorowalności na nowotwory wokoło elektrowni jądrowych. Dwa badania dotyczące porównania częstości zachorowań wokoło EJ przeprowadził zgodnie z regułami sztuki Niemiecki Rejestr Dziecięcych Chorób Nowotworowych. Pierwsze studium uwzględniło częstość wszystkich zachorowań diagnozowanych od 1980 do 1990 r. dla osób mieszkających w promieniu 15 km od dowolnej z 20 EJ w Niemczech w porównaniu z równoważnymi i podobnymi demograficznie rejonami. Głównym celem było zbadanie ilości zachorowań dzieci w wieku od 0 do 14 lat. Nie znaleziono podwyższonego ryzyka.

Drugie stadium objęło dane z lat 1991-1995. Cel był ten sam. Wyniki z pierwszego stadium dotyczące białaczki u dzieci poniżej 5 lat mieszkających w promieniu 5 km zostały sprawdzone, częstości zachorowań okazały się nieco niższe niż w pierwszym stadium i statystycznie nieznaczące. Wydawało się, że sprawa została rozstrzygnięta na korzyść elektrowni jądrowych.

Ale w końcu XX wieku władzę w Niemczech objęła koalicja antynuklearna i postanowiła przeprowadzić badania tak, by udowodnić, że elektrownie jądrowe są szkodliwe. Przeprowadzono trzecie studium, na wstępie którego grupa ekspertów rządowych BfS wykluczyła z analizy część instalacji, mianowicie reaktory badawcze w Kahl, Jülich i Karlsuhe, reaktor wysokotemperaturowy w Hamm i EJ Mühlheim-Kärlich. Ponadto zamiast testu dwustronnego – w którym rozpatruje się zarówno wyniki wyższe jak i niższe od średniej - przyjęto test jednostronny, w którym wszystkie wyniki niższe od średniej traktuje się jako przypadkowe błędy i odrzuca. Wyniki porównywano ze średnią dla całej populacji w Niemczech

Podobnie jak w poprzednich badaniach, rozważenie wszystkich zachorowań nowotworowych u dzieci poniżej 5 lat mieszkających w promieniu 5 km przy teście dwustronnym nie wskazało na podwyższone ryzyko, bo wyniki nie były statystycznie istotne. Natomiast przy użyciu testu jednostronnego dla okrojonej jak podaliśmy powyżej populacji wybranych instalacji udało się wykazać wzrost ryzyka.

Należy dodać, że jak stwierdza G. Dallal, Kierownik Zespołu Biostatycznego w Tufts University w Bostonie, "*Cechą, która powoduje ze większość ekspertów w zakresie statystyki odrzuca test jednostronny jest przyjęte w takim teście założenie, że wszystkie różnice w nieprzewidzianą stronę – duże i małe - muszą być traktowane jako po prostu nieistotne. Nigdy nie widziałem sytuacji – pisze dr*

Dallal – w której badacze zgodziliby się na to w praktyce... Zadziwiające jest, gdy widzi się testy jednostronne w użyciu w XXI wieku."

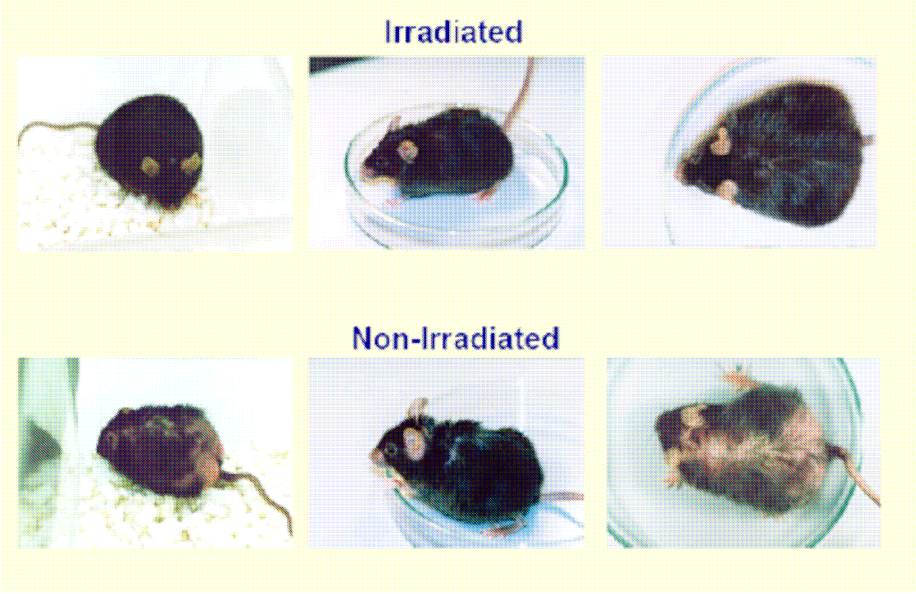
Dr Dallal nie ma nic wspólnego z energetyką jądrową, ani z metodami jej zwalczania stosowanymi przez motywowane politycznie partie, jest tylko wybitnym specjalistą w zakresie badań epidemiologicznych.

Tak więc niemiecka komisja potwierdziła, że dla rejonów celowo wybranych przez ekspertów pracujących na zlecenie rządu antynuklearnego i przy stosowaniu metody testu jednostronnego obserwuje się niewielki wzrost zachorowań. Ta sama komisja stwierdziła jednak, że promieniowanie z elektrowni jądrowych nie może być przyczyną tego wzrostu. Komisja nie stwierdziła, że elektrownie jądrowe są przyczyną białaczki, co więcej, specjalnie oświadczyła, że promieniowanie nie może być jej przyczyną. Nawet antynuklearny minister Gabriel musiał to przyznać. Ponadto komisja przypomniała w podsumowaniu wyniki poprzednich dwóch studiów, prowadzonych dla wszystkich EJ w Niemczech metodą testu dwustronnego, które nie wykazały wzrostu zachorowań.

PODSUMOWANIE

Podsumowując pozostaje mi zebrać wnioski przytoczonych i wielu innych, dostępnych w literaturze specjalistycznej badań w postaci stwierdzeni, że w*edług obecnego stanu wiedzy, promieniowanie z normalnie działającej elektrowni jądrowej nie może być traktowane jako powód wzrostu zachorowań na białaczki ani na inne choroby nowotworowe. Nie moze też powodować wad wrodzonych u dzieci ani skutków genetycznych u kolejnych pokoleń ludzi mieszkających w sąsiedztwie takich elektrowni.*

Natomiast dla przypomnienia coraz ciekawszych badań dotyczących pozytywnych skutków małych dawek, przytoczonych dla grup eksponowanych ludzi, chcę pokazać wynik badania na myszach [17], których nie moglibyśmy wykonać na grupie ludzi z powodu zbyt długiego czasu jego trwania oraz, przede wszystkim, z przyczyn etycznych.



Rys. 11. Wygląd myszy po 90 dniach życia: napromienionych (moc dawki 0,70 mGy/godz) i nie poddanych napromienieniu. U tych ostatnich efekt starzenia (choćby stan sierści) jest wyraźny.

Literatura

[1] W. Ruka, L. Sikorowa, J. Iwanowska: Induced soft tissue sarcomas following radiation treatment for uterine carcinomas. European Journal of Surgical Oncology, 1991, 17, 585-593

[2] J.M. Iwanowska, A.K. Gajewski: Kancerogenne działanie małych dawek na człowieka. Polski Przegląd Radiologii,1986, no 50,vol.1, pp.59-65

[3] The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. UNSCEAR 2000 REPORT vol. II

[4] Działalność prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2007 roku, Raport PAA,Warszawa, maj 2008 r., str. 40

[5] International Atomic Energy Agency (IAEA): Sustainable development and Nuclear Power, 1997, Vienna

[6] S.M. Javad Mortazavi: High Background Radiation Areas of Ramsar, Iran, www.angelfire.com/mo/radioadaptive/ramsar.htm

[7] M. Ghiassi-nejad, S.M.J. Mortazavi, J.R. Cameron, A. Niroomand-rad, P.A. Karam: Very High Background Radiation Areas of Ramsar, Iran: Preliminary Biological Studies. Health Physics, 82 (1): 87-93, 2002

[8] GROUPE RADIOECOLOGIE NORD CONTENTIN, Estimation des niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants et des risques de leucemies associes de populations du Nord-Contentin, Synthese, July (1999)

[9] Jablon S. et al., Cancer in populations living near nuclear facilities, National Cancer Institute, NIH Publication No 90-874, US Dept. of Health and Human Services, (July 1990)

[10] STUK Finnish Report On Nuclear Safety Convention On Nuclear Safety, September 2004, STUK-B-YTO 234

[11] Z. Jaworowski: Ionising radiation in the 20th century and beyond. Atomwirtschaft-Atomtechnik-atw 47(1):22-27, 2002

[12] W.L Chen. et al., Is chronic radiation an effective prophylaxis against cancer? J.Amer.Physicians and Surgeons 9 (2004) 6-10

[13] A. Berrington, S.C. Darby, H.A. Weiss and R. Doll: 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897–1997 British Journal of Radiology 74 (2001), 507-519

[14] I. Bruske-Hohlfeld et al.: A cluster of childhood leukaemias near two neighbouring nuclear installations in Northern Germany: prevalence of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes. International Journal of Radiation Biology 77:111-116, 2001

[15] P. Kaatsch et al.: Epidemiologische Studies zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK Studie) UMWltforschungsplan des BundesuMWltministerium (UFOPLAN) eaktorsicherheit und Strahlenschutz Vorhaben Stsch 4334 2007 Bundesamt fur Strahlenschutz.

[16] G.E. Dallal: One Sided Tests http://www.tufts.edu/~gdallal/onesided.htm, in The Little Handbook of Statistical Practice

[17] Prezentacja Kazuo Sakai, Low Dose Radiation Research Centre, Central Research Institute of Electric Power Industry, oraz publikacja Ina Y. and Sakai K.: Prolongation of Life Span Associated with Immunological Modification by Chronic Low-Dose-Rate Irradiation in MRL-lpr/lpr Mice. Radiat. Res. 161 (2004) 168-173