

# CO JEST PRZYCZYNĄ BIAŁACZEK U DZIECI MIESZKAJĄCYCH W POBLIŻU ELEKTROWNI JĄDROWYCH?<sup>1</sup>

## *On the origin of leukaemia clusters in children living around nuclear power plants*

Marek K. Janiak

**Streszczenie:** W latach 80. XX w. pojawiły się doniesienia o występowaniu skupisk (ang. clusters) zachorowań na białaczkę u dzieci mieszkających w pobliżu elektrowni atomowych i innych obiektów jądrowych. Niniejszy artykuł dokonuje przeglądu takich skupisk występujących w Niemczech, W. Brytanii, Francji i innych krajach i analizuje potencjalny związek między promieniowaniem emitowanym przez obiekty jądrowe a zachorowaniami na białaczkę. Ponieważ wykazano, że poziom promieniowania jonizującego na terenach wokół elektrowni i innych instalacji jądrowych nie stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia mieszkających w pobliżu ludzi, najbardziej prawdopodobną przyczyną okazał się brak wystarczającej odporności u dzieci tych mieszkańców na wirusy i inne patogeny pojawiające na terenach budowy zakładów jądrowych wraz z napływającymi z odległych miejsc nowymi pracownikami tych zakładów.

**Abstract:** A few reports of increased numbers of leukaemia cases (clusters) in children living in the vicinity of nuclear power plants (NPPs) and other nuclear installations have triggered a debate over the possible causes of the morbidity. In this review the most important cases of such clusters are described and analyzed with emphasis on the relationship between the environmental exposure to ionizing radiation and the risk of leukaemia. Since, as indicated, a lifetime residency in the proximity of an NPP does not pose any specific health risk to people and the emitted ionizing radiation is too small to cause cancer, a number of hypotheses have been proposed to explain the childhood leukaemia clusters. The most likely explanation is the so called 'population mixing', i.e., the influx of outside workers to rural regions where nuclear installations are being set up and where local people are not immune to viruses and other pathogens brought along with the incomers.

**Słowa kluczowe:** skupiska białaczki dziecięcej, elektrownie jądrowe, promieniowanie jonizujące

**Keywords:** childhood leukaemia; ionizing radiation exposure; nuclear installations

[30] Pracownicy elektrowni jądrowej (EJ) oraz, w mniejszym stopniu, okoliczna ludność ekspozycja są na działanie uwalnianego z reaktora atomowego elektromagnetycznego promieniowania gamma, różnych emiterów beta i gamma (jakich jak Ar-41, C-14, Co-60, Cs-134 and Cs-137, H-3, I-131, Ir-192, Xe-133 i Xe-135), które wydostają się przez kominy (tzw. *stack emissions*), a także niejonizujących pól elektromagnetycznych generowanych przez linie przesyłowe wysokiego napięcia znajdujące się wokół każdej EJ. Jak wiadomo, pochłonięcie odpowiednio wysokich dawek promieniowania jonizującego (alfa, beta i gamma) może prowadzić do rozwoju nowotworów [Burkart i wsp. 1997; Tubiana 2000; UNSCEAR 2000, 2008]. Jednym z najbardziej typowych nowotworów popromiennych, które pojawiają się najszybciej (już po ok. 2 latach) po ekspozycji na promieniowanie, są białaczki (wyjątkiem jest tzw. przewlekła białaczka limfatyczna) [Doll i Wakeford 1997; UNSCEAR 2000; BEIR VII 2006;

Rossig i Juergens 2008]. Są także dane wskazujące, że pola magnetyczne o bardzo niskich częstotliwościach, jakie występują przy generacji i przesyłaniu prądu elektrycznego, mogą wywoływać białaczki u dzieci [WHO 2002].

Dawka promieniowania jonizującego uwalnianego z EJ w ciągu roku wynosi od 0,0001 do 0,007 mSv [Strupczewski 2010; Lane i wsp. 2013], co stanowi znikomą część średniej rocznej dawki promieniowania naturalnego (1-3 mSv/rok) pochłanianego przez człowieka na Ziemi. Pomimo tego, istnieje przekonanie, podsypane przez różne grupy tzw. ekologów, a także – niestety – niektórych naukowców, że dłuższe przebywanie w pobliżu EJ może być przyczyną różnych chorób, a nawet śmierci [Nussbaum 2009; Fairlie i Körblein 2010; Fairlie 2013].

Produkcja energii w elektrowniach atomowych wzbudzała obawy społeczne od czasu uruchomienia w latach 50. XX w. pierwszych EJ w USA, ZSRR i W. Brytanii. Problem wpływu tych elektrowni na zdrowie ludzi, szczególnie na rozwój nowotworów

<sup>1</sup> Artykuł jest autorską wersją publikacji w języku angielskim: Janiak M.K. *Epidemiological evidence of childhood leukaemia around nuclear power plants*, Dose Response 12(3): 349-364, 2014. doi: 10.2203/dose-response.14-005.Janiak.

złośliwych, zaczął być analizowany jednak dopiero w latach 80. XX w. [Black 1984]. W roku 1983 reporterzy telewizji w Yorkshire (W. Brytania) donieśli o siedmiu przypadkach białaczki wykrytej u ludzi poniżej 25 lat, którzy od roku 1955 mieszkali w Seascale, miasteczku w Cumbrii oddalonym o ok. 5 km od Sellafield — głównego brytyjskiego ośrodka przerobu i magazynowania paliwa jądrowego [Cutler 1983]. Wykrycie tego znanego wkrótce jako „ognisko w Seascale” (*Seascale cluster*) stało się sensacją, ponieważ – według dotychczasowych statystyk – w tym czasie liczba nowo wykrytych zachorowań na białaczkę wśród młodych ludzi nie powinna przekroczyć jedności [Urquhart i wsp. 1984]. Niedługo potem, w Thurso, małym mieście na północnym wybrzeżu Szkocji, 12,5 km od działającej od połowy XX wieku EJ w Dounreay, wykryto pięć przypadków białaczki u ludzi poniżej 24 roku życia (trzy z nich dotyczyły dzieci poniżej 4 roku życia [Heasman i wsp. 1986]. Trzecie doniesienie pochodziło z Niemiec, gdzie w na początku lat 1990. wykryto 5 przypadków ostrej białaczki u dzieci poniżej 10 roku życia, które w latach 1989-1996 mieszkały na terenie gminy Elbmarsch w promieniu ok. 5 km od EJ w Krümmel (*Kernkraftwerk Krümmel*, KKK), wykorzystującej największy wówczas na świecie reaktor wrzący (*boiling reactor*) ulokowany na łabie ok. 35 km na wschód od Hamburga [Hoffmann i wsp. 1997; Schmitz-Feuerhake i wsp. 1997]. Hoffmann i współpracownicy przeanalizowali przypadki białaczek wykrywanych w latach 1990-2005 u dzieci mieszkających nie dalej niż 5 km od KKK, i stwierdzili statystycznie znamienny wzrost zachorowalności, szczególnie u dzieci poniżej 4 roku życia (SWZ = 4,9; CI = 2,4-9,0) [Hoffmann i wsp. 2007]. Schmitz-Feuerhake i jej współpracownicy zasugerowali, że wysoka zachorowalność dzieci na białaczkę w gminie Elbmarsch była wywołana przez radionuklidy uwolnione w czasie awarii instalacji jądrowej przylegającej do KKK, jaka wystąpiła w roku 1986 [Schmitz-Feuerhake i wsp. 2005]. Wcześniejszy nieco raport ekspertów z Komitetu Schleswig-Holstein także wskazywał, że promieniowanie emitowane w czasie tego wypadku mogło być przyczyną zwiększonej zachorowalności dzieci na białaczkę [Wassermann i wsp. 2004]. Jednakże, jak wykazali Hoffmann i współpracownicy, awaria instalacji jądrowej przylegającej do KKK, która nie mogła przejść niezauważona, nie była przedmiotem żadnych działań ze strony władz Dolnej Saksonii, gdzie znajduje się gmina Elbmarsch [Hoffmann i wsp. 2007]. Faktycznie, specjalna komisja powołana przez te władze stwierdziła, że w czasie normalnego funkcjonowania instalacji nuklearnych w Elbmarsch nie da się wykryć żadnego związku między zachorowaniami dzieci na białaczkę a emisją promieniowania jonizującego i że nie wszystkie lokalnie występujące czynniki ryzyka zachorowania zostały zidentyfikowane [Wichmann i Greiser 2004].

W roku 1990 publikacja w prestiżowym *British Medical Journal* informowała o wzroście zapadalności na białaczkę w regionie Nord Cotenin w Normandii: w latach 1978-1990 wykryto tam 23 przypadki zachorowań u ludzi, którzy nie przekroczyli 25. roku życia mieszkających w promieniu 35 km od trzeciego co do wielkości na świecie zakładu przerobu paliwa jądrowego w La Hague (SWZ = 2,99) i 3 przypadki zachorowań na białaczkę u młodych mieszkańców kantonu Flamanville, gdzie znajdowała się EJ [Viel i Richardson 1990]. Późniejsze analizy tych zachorowań wykazały jednak, że w większości przypadków ich zwiększona częstość nie była istotna statystycznie [Viel i wsp. 1993, 1995], z wyjątkiem zwiększenia liczby zachorowań na ostrą białaczkę limfocytową dzieci między 4. a 9. rokiem życia (SWZ = 6,38; CF: 1,32, 18,65) [Guizard i wsp. 2001].

Pomimo znanego faktu, że skupiska (klastry) białaczki dziecięcej występują w sposób przypadkowy w czasie i przestrzeni [Petridou i wsp. 1996; McNally i wsp. 2002; Bellec i wsp. 2006; Amin i wsp. 2010] wyżej wymienione doniesienia wzbudziły zrozumiane zaniepokojenie wśród lekarzy i ogółu społeczeństwa. Postanowiono więc bliżej przyjrzeć się tym zachorowaniom.

Raporty na temat białaczek diagnozowanych u dzieci z okolic instalacji jądrowych w Sellafield, Dounreay i gminie Elbmarsch były wynikiem tzw. opisowych badań ekologicznych (geograficznych), które korelują występowanie jakiegoś czynnika ryzyka (w tym przypadku, ekspozycji na promieniowanie jonizujące) z potencjalnym skutkiem działania tego czynnika (w tym przypadku, zachorowaniem na białaczkę) w danym okresie na danym obszarze geograficznym. Wyniki badań ekologicznych umożliwiają stawianie hipotez badawczych (w tym przypadku, istnienia związku między działaniem promieniowania a zachorowaniem na białaczkę), ale nie pozwalają na wykrywanie zależności przyczynowo-skutkowych, ponieważ nie dostarczają informacji czy, w naszym przypadku, chorzy z wykrytą białaczką byli rzeczywiście wcześniej poddani działaniu promieniowania, a jeśli tak to w jakim stopniu [Jekel i wsp. 2001]. Zależność taką dokumentować mogą bardziej „wyrafinowane” analizy epidemiologiczne, takie jak badania „kohortowe” i badania typu „przypadek-kontrola” [Laurier i Bard 1999; Jekel i wsp. 2001]. Prawdopodobieństwo istnienia badanego związku między (potencjalną) przyczyną a obserwowanym skutkiem określają użyskiwane w tych badaniach wskaźniki, do których zaliczamy ryzyko względne (*relative risk*,  $RR^2$ ), nadmia-

<sup>2</sup> **Ryzyko względne** (ang. *relative risk* lub *risk ratio*, *RR*) jest stosunkiem ryzyka (prawdopodobieństwa) zachorowania/zgonu w grupie osób eksponowanych na działanie czynnika ryzyka

rowe ryzyko względne (*excess relative risk*, ERR<sup>3</sup>) oraz iloraz szans (*odds ratio*, OR<sup>3</sup>), wraz z odpowiednio wyliczonymi przedziałami ufności (CI).

Dla określenia związku przyczynowo-skutkowego między działaniem promieniowania jonizującego a występowaniem chorób (przede wszystkim białaczek, ale także chłoniaków i innych nowotworów) w latach 90. XX w. opublikowano wyniki wielu badań analitycznych (kohortowych i/lub typu „przypadek kontrola”) przeprowadzonych na badanych populacjach w Anglii, Kanadzie, Francji, Niemczech i Szkocji [przegląd tych badań w: Michaelis i wsp. 1992; Laurier i Bard 1999]. Uzyskane wyniki nie były zgodne: niektóre sugerowały istnienie statystycznie znamiennego związku pomiędzy odległością od instalacji nuklearnej, w jakiej zamieszkiwały dzieci a wystąpieniem choroby, inne nie wykryły żadnej takiej zależności [Laurier i Bard 1999; Nussbaum 2009]. Niektórzy badacze analizujący „ognisko w Seascale”, zasugerowali, że białaczki te wynikały z pochłonięcia promieniowania przez ojców chorych dzieci w czasie ich pracy przy instalacjach nuklearnych przed narodzeniem się ich potomstwa [Gardner i wsp. 1990; Gardner 1991].

W tej sytuacji, rządy Francji, Niemiec i Wielkiej Brytanii poprosiły ekspertów o przeprowadzenie bardziej wnikliwych analiz. I tak, brytyjski Komitet COMARE (*Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment*) stwierdził w raporcie z 1996 r., że poziom promieniowania wokół Sellafield był co najmniej 200 razy za niski, aby doprowadzić do powstania „ogniska w Seascale” [COMARE 1996]. W późniejszym raporcie z roku 2006 Komitet COMARE zaznaczył, że białaczki dziecięce, szczególnie ostra białaczka limfocytowa, mają trudną do wyjaśnienia tendencję do tworzenia „kłastrów” w czasie i przestrzeni i że nie ma przekonujących dowodów na to, aby skupiska białaczki i innych nowotworów u dzieci zamieszkujących tereny wokół brytyjskich instalacji nuklearnych były wywołane działaniem promieniowania jonizującego emitowanego przez te instalacje [COMARE 2006]. W Niemczech,

od roku 2002 prowadzono analizy typu „przypadek-kontrola” w celu wykrycia przyczyn zachorowań na białaczki u młodych ludzi żyjących w latach 1980-2003 w pobliżu szesnastu niemieckich EJ. Analizy te, znane jako „badanie KiKK” (*Krebs bei Kindern in der Umgebung von Kernkraftwerken* – rak u dzieci z okolic EJ) objęły prawie 1600 chorych dzieci („przypadków”) w wieku do pięciu lat zamieszkujących w promieniu do 10 km od EJ i ponad 4700 odpowiednio dobranych „kontrolni” – dzieci z okolic, które nie sąsiadują z instalacjami nuklearnymi. Wyniki tych badań wykazały, że przebywanie przez pierwsze 5 lat życia w odległości do 10 km od EJ wiąże się ze zwiększonym ryzykiem zachorowania na nowotwór, zwłaszcza taki jak białaczka: wyliczony iloraz szans (OR) w tych badaniach wynosił – zależnie od modelu badawczego – od 1,12 do 2,19 z dolną granicą przedziału ufności (CI) większym od jedności [Kaatsch i wsp. 2008a; Spix i wsp. 2008]. Jednakże, wartości SWZ wyliczone przez tych samych badaczy nie były statystycznie, wynosząc – zależnie od odległości od EJ – od 0,97 (przy dolnej wartości CI = 0,74) do 1,41 (przy dolnej wartości CI = 0,98) [Kaatsch i wsp. 2008b]. Niewątpliwymi zaletami „badania KiKK” była wyjątkowo duża liczba zachorowań u dzieci pochodzących z okolic wszystkich niemieckich EJ (37 chorych do 5 roku życia mieszkających w promieniu 5 km od EJ wśród ogółem 593 przypadków białaczki wykrytych w 24-letnim okresie badawczym) oraz określenie odległości od miejsca zamieszkania każdego chorego dziecka do najbliższej EJ (czego nie definiowały wcześniej przeprowadzone obserwacje ekologiczne). Jak jednak zauważyli sami autorzy, badanie to miało też poważne wady, takie jak: a) niekompletna i często niewłaściwa rekrutacja przypadków „kontrolnych”, b) nieuwzględnienie działania tzw. czynników zakłócających, szczególnie statusu społecznego badanych dzieci (co, jak wiadomo wpływa na częstość występowania białaczki), c) określenie jedynie miejsca przebywania dzieci w czasie postawienia diagnozy, bez uwzględnienia miejsca ich wcześniejszego zamieszkiwania, lokalizacji żłobków i przedszkoli, domów dziadków, pobytów wakacyjnych itp., d) nieuwzględnienie wahań poziomu promieniowania naturalnego, które w Niemczech może 1000-krotnie przekraczać wielkość promieniowania emitowanego przez jakąkolwiek EJ [Smith i wsp. 2002], e) oparcie analiz na poglądzie wyrażonego w raporcie komitetu BEIR (*Biological Effects of Ionizing Radiation*) amerykańskiej Narodowej Rady Badań (*National Research Council*), że nie należy spodziewać się korzystnych skutków działania bardzo niskich dawek promieniowania [BEIR VII 2006], co sprawiło, że w analizie statystycznej wyników stosowano jedynie testy jednostronne (jednokierunkowe), które częściej niż testy dwustronne wykrywają istnienie znamienności statystycznej badanego parametru, który może

do takiego samego ryzyka występującego w grupie osób nie-narażonych na działanie danego czynnika ryzyka: RR = ryzyko w grupie ekspozowanej/ryzyko w grupie nieekspozowanej. RR = 1 oznacza takie samo ryzyko w grupie ekspozowanej i nieekspozowanej na czynnik ryzyka. **Nadmiarowe ryzyko względne** (ang. *excess relative risk*, ERR) oblicza się przez odjęcie jedności od ryzyka względnego, czyli ERR = RR - 1. RR i ERR obliczane są w badaniach kohortowych. **Iloraz szans** (ang. *odds ratio*, OR) jest stosunkiem „szansy” (prawdopodobieństwa) narażenia grupy chorych na dany czynnik chorobotwórczy do takiej samej „szansy” u grupy osób zdrowych. OR = 1 oznacza, że szanse narażenia na czynnik chorobotwórczy są takie same w grupie chorych i w grupie zdrowych. OR może być równoważny RR, jeśli ryzyko zachorowania (na określoną chorobę) w danej populacji jest niskie. Ten wskaźnik obliczany jest w analizach epidemiologicznych typu „przypadek-kontrola” [Jekel i wsp. 2001].

zmieniać się tylko w jednym „kierunku” [Jekel i wsp. 2001; Dallal 2011]. Biorąc te wady pod uwagę, autorzy „badania KiKK” stwierdzili, że „nie można wykluczyć, iż uzyskane wyniki są wynikiem nieuwzględnionych czynników zakłócających lub czystego przypadku” [Kaatsch i wsp. 2008a; Spix i wsp. 2008].

Wyniki „badania KiKK” nie znalazły zresztą poparcia w innych szeroko zakrojonych analizach. Na przykład, Dominique Laurier i Denis Bard dokonali w roku 1999 przeglądu wcześniej przeprowadzonych 29 lokalnych i 14 większych (*multi-site*) obserwacji ekologicznych i badań typu „przypadek-kontrola” zachorowań na białaczkę wśród dzieci żyjących w pobliżu instalacji nuklearnych [Laurier i Bard 1999]. Okazało się, że jakkolwiek obserwacje ekologiczne wykazały obecność skupisk białaczki dziecięcej wokół niektórych instalacji, nie było to regułą i podobne skupiska występowały też daleko od takich instalacji, a także, że analizy typu „przypadek-kontrola” nastawione na wykrycie przyczyn takich skupisk nie dały jednoznacznych wyników, pozwoliły natomiast wyeliminować takie hipotezy jak napromienienie ojców przed zapłodnieniem lub działanie promieniowania naturalnego. Późniejsze analizy zachorowań na białaczkę wśród dzieci z okolic aż 198 zakładów nuklearnych z 10 krajów przeprowadzone przez Laurier i jej kolegów wykazały, że choć lokalnie występowały skupiska tej choroby, ryzyko zachorowania nie było zwiększone, jeśli brano pod uwagę większe obszary badawcze (*multi-site studies*) [Laurier i wsp. 2008a]. Badacze ci stwierdzili, że główną przeszkodą w wyjaśnieniu genezy skupisk zachorowań lokalnych jest brak danych co do faktycznych czynników ryzyka białaczki dziecięcej i że najbardziej prawdopodobna jest hipoteza „mieszania się” ludności (*population mixing*), do jakiego dochodzi na terenach wokół instalacji jądrowych (zob. niżej). Co ciekawe, nawet tzw. niezależni badacze, którzy uważają, że występowanie nowotworów u dzieci i młodzieży z okolic zakładów jądrowych spowodowane jest działaniem emitowanego promieniowania jonizującego, przyznają, że wyniki „znacznej większości” badań epidemiologicznych wykazujących wzrost zachorowań nie mają znamienności statystycznej [Fairlie i Körblein 2010; Fairlie 2013]. Istotnie, brak wyraźnie (jeśli w ogóle) zwiększonego ryzyka zachorowania na białaczkę u dzieci z okolic zakładów nuklearnych wykazano w wielu publikacjach zawierających wyniki badań przeprowadzonych w latach 1991-2008 w Izraelu [Sofer i wsp. 1991], USA [Jablon i wsp. 1991; Talbott i wsp. 2003], Szwecji [Waller i wsp. 1995], Niemczech [Kaatsch i wsp. 1998], Japonii [Yoshimoto i wsp. 2004] i Francji [Laurier i wsp. 2008b]. Także późniejsze ogólnokrajowe badanie kohortowe pochodzące ze Szwajcarii [Spycher i wsp. 2011], kolejny raport Komitetu COMARE z W. Brytanii (tzw. badanie CANUPIS) [COMARE

2011], analiza typu „przypadek-kontrola” przeprowadzona we Francji [Sermage-Fuare i wsp. 2012], a także szeroko zakrojona obserwacja ekologiczna z Kanady (badanie RADICON) [Lane i wsp. 2013] nie wykazały związku pomiędzy zamieszkiwaniem w pobliżu EJ a zwiększonym ryzykiem zachorowania przez dzieci na białaczkę lub inny nowotwór złośliwy. Co ciekawe, ta ostatnia obserwacja pokazała, że zapadalność na wszystkie nowotwory złośliwe, w tym radiogenne (tj. wywołwane przez promieniowanie jonizujące) u dzieci z okolic trzech EJ w prowincji Ontario nie różni się, a nawet jest nieco niższa od częstości zachorowań obserwowanej w całej populacji dzieci z Ontario. W dodatku Lane i koledzy, stosując dwie różne metody szacowania dawki pochłoniętego promieniowania jonizującego, zauważyli, że ekspozycja dzieci na promieniowanie *zwiększała się*, a nie zmniejszała, wraz ze wzrostem odległości od EJ, co podaje w wątpliwość wyniki wielu przeprowadzonych wcześniej badań, w których dystans do instalacji jądrowej stanowił, wobec braku możliwości bezpośredniego pomiaru, surrogat dawki pochłoniętej [Lane i wsp. 2013].

Są także ciekawe wyniki badań amerykańskich i brytyjskich, w których analizowano zachorowania na białaczkę dziecięcą w tych samych rejonach przed i po uruchomieniu na ich terenie instalacji jądrowych. I tak Jablon i współpracownicy stwierdzili, że na terenach wokół 62 takich instalacji w USA śmiertelność dzieci z powodu białaczki (oceniana za pomocą standardowego współczynnika śmiertelności, SWŚ) była niższa po (SWŚ = 1,03) niż przed (SWŚ = 1,08) uruchomieniem tych instalacji [Jablon i wsp. 1991]. Podobne wyniki uzyskano w Anglii i Walii, gdzie stwierdzono, że nadmiarowe ryzyko zgonu z powodu białaczki i innych nowotworów w regionach, w których już znajdowały się instalacje jądrowe, było takie samo, jak w regionach gdzie dopiero planowano budowę takich instalacji [Cook-Mozaffari i wsp. 1989]. Także 14. Raport Komitetu COMARE wykazał, że ryzyko względne (RR) zachorowania na białaczkę lub chłoniaka ziarniczego u dzieci mieszkających do 4. roku życia w rejonach wokół 13 brytyjskich EJ miało wartość równą 1,01 (CI, 0,70-1,46), podczas gdy w sześciu podobnych okolicach nieposiadających EJ to ryzyko wynosiło 1,72 (CI, 1,12-2,52) [COMARE 2011].

W ww. przeglądzie wiarygodnych danych wynika więc, że występowanie skupisk białaczek dziecięcych potwierdzono jedynie w okolicach instalacji jądrowych w Sellafield w Anglii, Dounreay w Szkocji i Krümmel w Niemczech [Lane i wsp. 2013]. Skoro jednak, jak wielokrotnie wskazywano, ekspozycja na promieniowanie jonizujące nie jest w tych przypadkach podstawową przyczyną zachorowań, przez dłuższy czas zadawano sobie pytanie, co mogło je wywołać.



Brano pod uwagę takie potencjalne czynniki takie jak predyspozycja genetyczna [Birch 1999; Lichtenstein i wsp. 2000], działanie klastogenów (czynników uszkodzających chromosomy), tytoniu, pestycydów, leków i wirusów [Bithel i wsp. 1973; Blot i wsp. 1980; Golding i wsp. 1990; Doll i Wakeford 1997; Lichtenstein i wsp. 2000; Rossig i Juergens 2008], trisomia 21 (jako przyczyna prawie wszystkich przypadków zespołu Downa, który predestynuje do rozwoju białaczki u dzieci) [Bhatnagar i wsp. 2016], wysoki status społeczny [Alexander i wsp. 1991; Rossig i Juergens 2008] oraz dysfunkcja układu odpornościowego w reakcji na zakażenia [Graves 2006]. Jednak, w 75-90% przypadków wykrytych białaczek prawdziwy czynnik sprawczy pozostał nieznany i wydaje się, że – aby doszło do zachorowania – musiało zadziałać kilka różnych czynników [Anderson i wsp. 2000; Lichtenstein i wsp. 2000; Greaves 2006; Rossig i Juergens 2008]. Sugerowano, że metabolizm i/lub usuwanie z organizmu toksyn środowiskowych jest u dzieci mniej wydajne niż u dorosłych i że istnieją krytyczne „okna czasowe”, w których czynniki chorobotwórcze działają szczególnie skutecznie [Anderson i wsp. 2000; WHO 2010]. Jak już wspomniano, jedną z przywoływanych potencjalnych przyczyn skupiska białaczek w Seascale było napromieniowanie gonad zatrudnionych w zakładach jądrowych ojców chorych dzieci [Gardner i wsp. 1990; Gardner 1991]. Bardziej szczegółowe analizy pozwoliły jednak odrzucić hipotezę Gardniera, wskazując, że narażeni na działanie promieniowania ojcowie byli zatrudnieni w wielu różnych zakładach jądrowych w Anglii, a skupisko białaczek u ich dzieci wykryto jedynie w okolicy Seascale [Urquhart i wsp. 1991; Kinlen 1993; Parker i wsp. 1993; Draper i wsp. 1997; Pobel i Viel 1997]. Podobnie, brak związku między napromienieniem ojców, zanim doszło do zapłodnienia a chorobami u ich dzieci, stwierdzono w badaniach potomstwa ofiar ataków bombowych na Hiroshimę i Nagasaki, a także pracowników zakładów jądrowych z różnych krajów [COMARE 2002]. Wydaje się więc, że – jak już podkreślono – możliwą przyczyną ognisk zachorowań wykrytych w Seascale i innych miejscach jest niewyjaśniona „tendencja” białaczek do skupiania się w określonych miejscach i czasie [Greaves 2006; Kaatsch i wsp. 2010].

Jeszcze bardziej prawdopodobną przyczynę tych ognisk zaproponował w 1988 r. Leo Kinlen, który analizował występowanie białaczki u młodych rezydentów szkockiego miasteczka New Town of Glenrothes, gdzie na początku lat 50. XX w. powstało nowe przemysłowe centrum Szkocji przyciągające licznych pracowników z innych części Wielkiej Brytanii [Kinlen 1988]. Takie mieszanie się populacji (*population mixing*) sprzyja rozprzestrzenianiu się wśród miejscowej ludności czynników zakaźnych (wirusów, bakterii, pierwotnia-

ków itp.) przywleczonych przez przybyszów. W tym przypadku centrum przemysłowe powstało w terenie słabo zaludnionym, gdzie tzw. odporność stadna populacji (*herd immunity*)<sup>3</sup> na czynnik zakaźny – potencjalną przyczynę rozwoju białaczki – była niższa od przeciętnej krajowej [John i Samuel 2000]. Na tym terenie Kinley wykrył znamieny statystycznie wzrost liczby zachorowań na białaczkę ludzi poniżej 25. roku życia szczególnie dzieci do 5. roku życia (7 faktycznych przypadków zachorowań wobec 1,5 zachorowań „spodziewanych”) [Kinlen 1988]. Sugestia, że *population mixing* jest istotną przyczyną rozwoju białaczki limfocytowej oraz chłoniaka ziarniczego u dzieci potwierdzona została w wielu późniejszych badaniach prowadzonych na Szetlandach i Orkadach [Kinlen i wsp. 1993, 1995] i w Cumbrii w W. Brytanii [Dickinson i Parker 1999], a także w innych krajach [Kinlen 2011]. Te obserwacje zgodne są z obecnie przyjętym poglądem, że spaczona reakcja immunologiczna na długotrwałą ekspozycję na czynnik zakaźny stanowi prawdopodobną przyczynę progresji nowotworowej klonów komórek szpikowych u dzieci podatnych na rozwój choroby [Rossig i Juergens 2008]. Niewątpliwie, do przyjęcia tego stanowiska przyczynił się znany brytyjski epidemiolog, Sir Richard Doll, który już w 1999 r. stwierdził, że hipotezę Kinlena o *population mixing* jako przyczynie rozwoju białaczki limfocytowej u dzieci można uznać za udowodnioną [Doll 1999].

## Podsumowanie

Większość wiarygodnych analiz epidemiologicznych wykazała, że poziom promieniowania jonizującego na terenach wokół EJ jest stanowczo za niski, aby mógł być wiązany z zachorowaniami młodych mieszkańców tych terenów na białaczki i inne nowotwory. Najbardziej prawdopodobną przyczyną występowania ognisk białaczek dziecięcych w pobliżu niektórych EJ jest przywlekanie przez napływających z odległych regionów przybyszów wirusów i innych czynników zakaźnych, na które miejscowa ludność nie jest wystarczająco odporna. Ten i inne czynniki mogą być także podłożem znanego, choć słabo wyjaśnionego, zjawiska „skupiania się” przypadków zachorowań na białaczki w „przypadkowych” miejscach i czasie. Być może, bardziej szczegółowe badania dotyczące, np. znaczenia ekspozycji i reakcji organizmu na czynniki kancerogenne w okresie płodowym i tuż po urodze-

<sup>3</sup> **odporność stadna** (ang. *herd immunity*), zwana też odpornością zbiorową, populacyjną lub grupową, jest formą ochrony przed chorobami zakaźnymi, która występuje, gdy znaczna część danej zbiorowości (populacji, grupy) stała się odporna na infekcję, zapewniając tym samym ochronę osób niezaszczepionych lub takich, u których szczepionka nie działa. W środowisku, w którym wiele osób jest odpornych, łańcuchy zakażeń prawdopodobnie zostaną przerwane, co zatrzyma lub opóźni rozprzestrzenianie się choroby.

niu pozwolą zidentyfikować przyczyny zachorowań na białaczkę u dzieci. Już teraz jednak można stwierdzić, że długotrwałe przebywanie w pobliżu EJ w czasie jej normalnej pracy nie stawowi żadnego zagrożenia dla zdrowia. Potwierdzeniem tej tezy jest fakt, że nawet najpoważniejsza katastrofa w EJ, z jaką mieliśmy do czynienia w roku 1986 w Czarnobylu, związana z masywnym uwolnieniem do środowiska wielu radionuklidów i rodzajów promieniowania jonizującego, nie spowodowała znaczącego wzrostu zachorowań na białaczki i inne nowotwory (z wyjątkiem raków tarczycy) wśród mieszkańców najbardziej skażonych terenów na Białorusi, Ukrainie i Rosji, wliczając w to dzieci, które były narażone na działanie podwyższonego poziomu promieniowania w okresie płodowym i po urodzeniu [UNSCEAR 2008].

*Autor jest zastępcą Przedstawiciela Polski w Komitecie Naukowym ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR) oraz członkiem Rady ds. Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej przy Prezesie PAA; w latach 1997-2020 kierował Zakładem Radiobiologii i Ochrony Radiacyjnej Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii; obecnie na emeryturze.*

*prof. dr hab. n. med. Marek K. Janiak,  
Komitet Naukowy ONZ  
ds. Skutków Promieniowania Atomowego  
(UNSCEAR)*

#### Literatura:

- [1] Alexander FE, Ricketts TJ, McKinney PA, Cartwright RA. Community lifestyle characteristics and lymphoid malignancies in young people in the UK. *Eur J Cancer*. 1991;27:1486–1490. [PubMed] [Google Scholar]
- [2] Amin R, Bohnert A, Holmes L, Rajasekran A, Assanasen C. Epidemiologic mapping of Florida childhood cancer clusters. *Pediatr Blood Cancer*. 2010;54:511–518. [PubMed] [Google Scholar]
- [3] An Q, Fan C-H, Xu S-M. Recent perspectives of pediatric leukemia - an update. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 21(4 Suppl):31-36, 2017.
- [4] Anderson LM, Diwan BA, Fear NT, Roman E. Critical windows of exposure for children's health: cancer in human epidemiological studies and neoplasms in experimental animal models. *Environ Health Perspect*. 2000;108(Suppl. 3):573–94. [PubMed] [Google Scholar]
- [5] BEIR VII 2006: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation BEIR VII Phase 2. The National Academies Press; Washington D.C.: 2006. [Google Scholar]
- [6] Bellec S, Hemon D, Rudant J, Goubin A, Clavel J. Spatial and space-time clustering of childhood leukaemia in France from 1990 to 2000: a nationwide study. *Br J Cancer*. 2006;94:763–770. [PubMed] [Google Scholar]
- [7] Bhatnagar N, Nizery L, Tunstall O, Vyas P, Roberts I. Transient Abnormal Myelopoiesis and AML in Down Syndrome: an Update. *Curr Hematol Malig Rep*. 2016;11:333–41.
- [8] Birch JM. Genes and cancer. *Arch Dis Child*. 1999;80:1–3. [PubMed] [Google Scholar]
- [9] Bithell JF, Draper GJ, Gorbach PD. Association between malignant disease in children and maternal virus infection. *Br Med J*. 1973;1:706–708. [PubMed] [Google Scholar]
- [10] Black D. Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in Cumbria Report of the Independent Advisory Group. HMSO; London: 1984. [Google Scholar]
- [11] Blot WJ, Draper G, Kinlen L, Wilson MK. Childhood cancer in relation to prenatal exposure to chickenpox. *Br J Cancer*. 1980;42:342–344. [PubMed] [Google Scholar]
- [12] Burkart W, Finch GL, Jung T. Quantifying health effects from the combined action of low-level radiation and other environmental agents: can new approaches solve the enigma? *Sci Total Environ*. 1997;205:51–70. [PubMed] [Google Scholar]
- [13] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 4th Report: The Incidence of Cancer and Leukaemia in Young People in the Vicinity of the Sellafield Site, West Cumbria: Further Studies and an Update of the Situation since the Publication of the Report of the Black Advisory Group in 1984. Department of Health; London, 1996. [Google Scholar]
- [14] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 7th Report: Parents Occupational Exposure to Radiation prior to the Conception of their Children. A Review of the Evidence Concerning the Incidence of Cancer in their Children. National Radiological Protection Board; London, 2002. [Google Scholar]
- [15] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 11th Report: The Distribution of Childhood Leukaemia and Other Childhood Cancers in Great Britain 1969–1993. Health Protection Agency; London, 2006. [Google Scholar]
- [16] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 14th Report: Further Consideration of the Incidence of Childhood Leukaemia Around Nuclear Power Plants in Great Britain. Health Protection Agency; London, 2011. [Google Scholar]
- [17] Cook-Mozaffari PJ, Darby SC, Doll R, Forman D, Hermon C, Pike MC, Vincent T. Geographical variation in mortality from leukemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installations, 1969–78. *Br. J. Cancer*. 1989;59:476–485. [PubMed] [Google Scholar]
- [18] Cutler J. Windscale, the Nuclear Laundry. 1983. Yorkshire Television.
- [19] Dallal GE. 2012. The Little Handbook of Statistical Practice, Version 1.10.
- [20] Dickinson H, Parker L. Quantifying the effect of population mixing on childhood leukaemia risk: the Seascale cluster. *Br J Cancer*. 1999;81:144–151. [PubMed] [Google Scholar]
- [21] Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol*. 1997;70:130–139. [PubMed] [Google Scholar]
- [22] Doll R. The Seascale cluster: a probable explanation. *Br. J. Cancer*. 1999;81:3–5. [PubMed] [Google Scholar]
- [23] Draper GJ, Little MP, Sorahan T, Kinlen LJ, Bunch KJ, Conquest AJ, Kendall GM, Kneale GW, Lancashire RJ, Muirhead CR, O'Connor CM, Vincent TJ. Cancer in the

- offspring of radiation workers: a record linkage study. *Br Med J.* 1997;315:1181–1188. [PubMed] [Google Scholar]
- [24] Fairlie I, Körblein AA. Review of epidemiology studies of childhood leukemia near nuclear facilities: commentary on Laurier *et al.* *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2010;138:194–195. [PubMed] [Google Scholar]
- [25] Fairlie I. A hypothesis to explain childhood cancers near nuclear power plants. *J Environ Radiact.* 2013 doi: 10.1016/j.jenvrad.2013.07.024. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- [26] Gardner M, Snee MP, Hall AJ, Powell CA, Downes S, Terrell JD. Results of the case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Br Med J.* 1990;300:423–429. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
- [27] Gardner M. Father's occupational exposure to radiation and the raised level of childhood leukemia near the Sellafield nuclear plant. *Environ Health Perspect.* 1991;94:5–7. [PubMed] [Google Scholar]
- [28] Golding J, Paterson M, Kinlen LJ. Factors associated with childhood cancer in a national cohort study. *Br. J. Cancer.* 1990;62:304–308. [PubMed] [Google Scholar]
- [29] Greaves M. Infection, immune responses and the aetiology of childhood leukemia. *Nat Rev Cancer.* 2006;6:193–203. [PubMed] [Google Scholar]
- [30] Guizard AV, Boutou O, Pottier D, Troussard X, Pheby D, Launoy G, Slama R, Spira A. The incidence of childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant (France): a survey for the years 1978–1998. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:469–474. [PubMed] [Google Scholar]
- [31] Heasman MA, Kemp IW, Urquhart JD, Black R. Childhood leukaemia in Northern Scotland. *Lancet.* 1986;1:266. [PubMed] [Google Scholar]
- [32] Hoffmann W, Schmitz-Feuerhake I, Dieckemann H. A cluster of childhood leukemia near a nuclear reactor in Northern Germany. *Arch. Environ. Health.* 1997;52:275–280. [PubMed] [Google Scholar]
- [33] Hoffmann W, Terschueren C, Richardson DB. Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht nuclear establishment near Hamburg, Germany. *Environ Health Perspect.* 2007;115:947–952. [PubMed] [Google Scholar]
- [34] Jablon S, Hrubec Z, Boice JD., Jr Cancer in populations living near nuclear facilities. 8. [PubMed] [Google Scholar]
- [35] Jekel JF, Katz DL, Elmore JG. *Epidemiology, Biostatistics, and Preventive Medicine.* 2nd Edition. Saunders; Philadelphia: 2001. [Google Scholar]
- [36] John TJ, Samuel R. Herd immunity and herd effect: new insights and definitions. *Eur J Epidemiol.* 2000;16:601–606. [PubMed] [Google Scholar]
- [37] Kaatsch P, Kaletsch, Meinert R, Michaelis J. An extended study on childhood malignancies in the vicinity of German nuclear power plants. *Cancer Causes Control.* 1998;9:529–533. [PubMed] [Google Scholar]
- [38] Kaatsch P, Spix C, Schultze-Rath R, Schmiedel S, Blettner M. Leukemia in young children living the vicinity of German nuclear power plants. *Int J Cancer.* 2008a;1220:721–726. [PubMed] [Google Scholar]
- [39] Kaatsch P, Spix C, Jung I, Blettner M. Childhood leukemia in the vicinity of nuclear power plants in Germany. *Dtsch Arztebl Int.* 2008b;105:725–732. [PubMed] [Google Scholar]
- [40] Kaatsch P, Sikora E, Pawelec G. Epidemiology and childhood cancer. *Cancer Treat Rev.* 2010;36:277–285. [PubMed] [Google Scholar]
- [41] Kinlen L. Evidence for an infective cause of childhood leukaemia: comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain. *Lancet.* 1988;2:1323–1326. [PubMed] [Google Scholar]
- [42] Kinlen LJ. Can paternal preconceptional radiation account for the increase of leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in Seascale? *Br Med J.* 1993;306:1718–1721. [PubMed] [Google Scholar]
- [43] Kinlen LJ, O'Brien F, Clarke K, Balkwill A, Matthews F. Rural population mixing and childhood leukaemia: effects of the North Sea industry in Scotland, including the area near Dounreay nuclear site. *Br Med J.* 1993;306:743–748. [PubMed] [Google Scholar]
- [44] Kinlen LJ, Dickinson M, Stiller CA. Childhood leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma near large rural construction sites, with a comparison with Sellafield nuclear site. *Br Med J.* 1995;310:763–768. [PubMed] [Google Scholar]
- [45] Kinlen L. Childhood leukaemia, nuclear sites, and population mixing. *Br J Cancer.* 2011;104:12–18. [PubMed] [Google Scholar]
- [46] Lane R, Dagher E, Burt J, Thompson PA. Radiation exposure and cancer incidence (1990 to 2008) around nuclear power plants in Ontario, Canada. *J Environ Prot.* 2013;4:888–913. [Google Scholar]
- [47] Laurier D, Bard D. Epidemiologic studies of leukemia among persons under 25 years of age living near nuclear sites. *Epidemiol Rev.* 1999;21:188–206. [PubMed] [Google Scholar]
- [48] Laurier D, Jacob S, Bernier MO, Leuraud K, Metz C, Samsen E, Laloi P. Epidemiological studies of leukaemia in children and young adults around nuclear facilities: A critical review. *Rad Prot Dos.* 2008a;132:182–190. [PubMed] [Google Scholar]
- [49] Laurier D, Hémon D, Clavel J. Childhood leukaemia incidence below the age of 5 years near French nuclear power plants. *J Radiol Prot.* 2008b;28:401–403. [PubMed] [Google Scholar]
- [50] Lichtenstein P, Holm NV, Verkasalo PK, Iliadou A, Kaprio J, Koskenvuo M, Pukkala E, Skytthe A, Hemminki K. Environmental and heritable factors in the causation of cancer – analyses of cohorts of twins from Sweden, Denmark, and Finland. *N Engl J Med.* 2000;343:78–85. [PubMed] [Google Scholar]
- [51] McNally RJQ, Alexander FE, Birch JM. Space-time clustering analyses of childhood acute lymphoblastic leukaemia by immunophenotype. *Br. J Cancer.* 2002;87:513–515. [PubMed] [Google Scholar]
- [52] Michaelis J, Keller B, Haaf G, Kaatsch P. Incidence of childhood malignancies in the vicinity of west German nuclear power plants. *Cancer Causes Control.* 1992;3:255–263. [PubMed] [Google Scholar]
- [53] Nussbaum RH. Childhood leukemia and cancers near German nuclear reactors: Significance, context, and ramifications of recent studies. *Int J Environ Health.* 2009;15:318–323. [PubMed] [Google Scholar]



- [54] Parker L, Craft AW, Smith J, Dickinson H, Wakeford R, Binks K, McElvenny D, Scott L, Slovak A. Geographical distribution of preconceptional radiation doses to fathers employed at the Sellafield nuclear installation. *Br Med J.* 1993;307:966–971. [PubMed] [Google Scholar]
- [55] Petridou E, Revinthi K, Alexander FE, Haidas S, Kolioukas D, Kosmidis H, Piperopoulou F, Tzortzatos F, Trichopoulos D. Space-time clustering of childhood leukaemia in Greece: evidence supporting a viral aetiology. *Br J Cancer.* 1996;73:1278–1283. [PubMed] [Google Scholar]
- [56] Pobel D, Viel JF. Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. *Br Med J.* 1997;314:101–106. [PubMed] [Google Scholar]
- [57] Rossig C, Juergens H. Aetiology of childhood acute leukaemias: Current status of knowledge. *Rad Prot Dos.* 2008;132:114–118. [PubMed] [Google Scholar]
- [58] Schmitz-Feuerhake I, Dannheim B, Heimers A, Oberhaidt B, Schröder H, Ziggel H. Leukemia in the proximity of a German boiling water reactor: Evidence of population exposure by chromosome studies and environmental radioactivity. *Environ Health Perspect.* 1997;105:1499–1504. [PubMed] [Google Scholar]
- [59] Schmitz-Feuerhake I, Dieckmann H, Hoffmann W, Lengfelder E, Pflugbeil S, Stevenson AF. The Elbmarsch leukemia cluster: are there conceptual limitations in controlling emission from nuclear establishments in Germany? *Arch Environ Contam Toxicol.* 2005;49:589–600. [PubMed] [Google Scholar]
- [60] Sermage-Faure C, Laurier D, Goujon-Bellec S, Chartier M, Guyot-Goubin A, Rudant J, Hémon D, Clavel J. Childhood leukemia around French nuclear Power plants – The geocap study, 2002–2007. *Int J Cancer.* 2012;131:E769–E780. [PubMed] [Google Scholar]
- [61] Smith JG, Bexton A, Boyer FHC, et al. Assessment of the radiation impact on the population of the European Union from European Union nuclear sites between 1987 and 1996. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2002. [Google Scholar]
- [62] Sofer T, Goldsmith JR, Nusselder I, Katz L. Geographical and temporal trends of childhood leukemia in relation to the nuclear plant in the Negev, Israel, 1960–1985. *Publ. Health Rev.* 1991;19:191–198. [PubMed] [Google Scholar]
- [63] Spix C, Schmiedel S, Kaatsch P, Schulze-Rath R, Blettner M. Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980–2003. *Eur J Cancer.* 2008;44:275–284. [PubMed] [Google Scholar]
- [64] Spycher BD, Feller M, Zwahlen M, Rössli M, von der Weid NX, Hengartner H, Egger M, Kuehni CE. Childhood cancer near nuclear Power plants in Switzerland: a census-based cohort study. *Int J Epidemiol.* 2011;40:1247–1260. [PubMed] [Google Scholar]
- [65] Strupczewski A. Nie bójmy się energii jądrowej. Rem Script, Warszawa, 2010 [Google Scholar]
- [66] Talbott EO, Youk AO, McHugh-Pemu KP, Zborowski JV. Long-term follow up of the residents of the Three Mile Island accident area: 1979–1998. *Environ. Health Perspect.* 2003;111:341–348. [PubMed] [Google Scholar]
- [67] Tubiana M. Radiation risks in perspective: radiation-induced cancer among cancer risks. *Radiat. Environ. Biophys.* 2000;39:3–16. [PubMed] [Google Scholar]
- [68] UNSCEAR 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York: United Nations; 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report 2000. [Google Scholar]
- [69] UNSCEAR 2008: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report 2008. New York: United Nations; 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Vol. II Effects. [Google Scholar]
- [70] Urquhart J, Palmer M, Cutler J. Cancer in Cumbria: the Windscale connection. *Lancet.* 1984;1:217–218. [PubMed] [Google Scholar]
- [71] Urquhart JD, Black RJ, Muirhead MJ, Sharp L, Maxwell M, Eden OB, Jones DA. Case-control study of leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children in Caithness near the Dounreay nuclear installation. *Br Med J.* 1991;302:687–692. [PubMed] [Google Scholar]
- [72] Viel J-F, Richardson ST. Childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant. *Br Med J.* 1990;300:580–581. [PubMed] [Google Scholar]
- [73] Viel J-F, Richardson S, Danel P, Boutard P, Malet M, Barrelier P, Reman O, Carré A. Childhood leukemia incidence on the vicinity of La Hague nuclear-waste reprocessing facility (France) *Cancer Causes Control.* 1993;4:3410343. [PubMed] [Google Scholar]
- [74] Viel J-F, Pobel D, Carré A. Incidence of leukaemia in young people around the La Hague nuclear waste reprocessing plant : A sensitivity analysis. *Statist Med.* 1995;14:2459–2472. [PubMed] [Google Scholar]
- [75] Waller LA, Turnbull BW, Gustafsson G, Hjalmarus U, Andersson B. Detection and assessment of clusters of disease: An application to nuclear power plant facilities and childhood leukaemia in Sweden. *Statist Medicine.* 1995;14:3–16. [PubMed] [Google Scholar]
- [76] Wassermann O, Dieckmann H, Schmitz-Feuerhake I, Kuni H, Scholz R, Lengfelder E. Childhood leukaemia in the proximity of the nuclear facilities of Geesthacht. Findings of the Expert Commission of the German Federal State of Schleswig-Holstein in the period 1993–2004 on the causes of the increased incidence. *Umwelt Medizin Gesellschaft.* 2004;18:32–34. (w jęz. niemieckim) [Google Scholar]
- [77] WHO 2002: Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks). Geneva: World Health Organisation. 2002, str. 332–333, 338. ISBN 978-92-832-1280-5
- [78] WHO 2010: Children's Health and the Environment Annual Report – 2010. 2010. [www.who.int/ceh/publications/ceh\\_annualreport\\_2010.pdf](http://www.who.int/ceh/publications/ceh_annualreport_2010.pdf).
- [79] Wichmann E, Greiser E. Untersuchungsprogramm Leukämie in der Samtgemeinde Elbmarsch– Fragestellung, Ergebnisse, Beurteilungen–Expertkommission und Arbeitsgruppe Belastungsindikatoren. 2004. Niedersächsisches Ministerium für Soziales, Fraune, Familie und Gesundheit Hannover.
- [80] Yoshimoto Y, Yoshinaga S, Yamamoto K, Fijimoto K, Nishizawa K, Sasaki Y. Research on potential radiation risks in areas with nuclear power plants in Japan: leukaemia and malignant lymphoma mortality between 1972 and 1997 in 100 selected municipalities. *J Radiol Prot.* 2004;24:343–368. [PubMed] [Google Scholar]