



RADIOAKTYWNOŚĆ

Na Ziemi istnieje wiele form promieniowania, które występuje w środowisku naturalnym. Jest promieniowanie które ma zarówno korzystne, jak i szkodliwe efekty. Najwięcej uwagi poświęca się kategorii promieniowania znanego jako „promieniowanie jonizujące”. Promieniowanie to może rozrywać atomy, tworząc jony dodatnie i elektrony ujemne, i powodować szkody biologiczne. Promieniowanie jonizujące obejmuje promienie rentgenowskie, promienie gamma, cząstki alfa, cząstki beta, neutrony i różne rodzaje promieni kosmicznych.

Promieniowanie jonizujące, przy zbyt dużej i nie kontrolowanej ekspozycji, może powodować efekty nowotworowe natomiast przy kontrolowanej ekspozycji, jest stosowane w terapii nowotworowej. Niezależnie od tego, czy szkodliwe, czy korzystne, ekspozycja na promieniowanie jonizujące była nieuniknioną częścią środowiska w całej historii Ziemi. Procesy nukleosyntezy, które wytworzyły pierwiastki, stworzyły zarówno stabilne, jak i niestabilne nuklidy. Niestabilne nuklidy o bardzo długim okresie półtrwania, wraz z ich radioaktywnym następstwem, stanowią naturalną radioaktywność na Ziemi. Tak więc promieniowanie jest starym i znanym, choć nierozpoznanym, zanieczyszczeniem. Jednak ludzka świadomość na ten temat ma zaledwie 100-letnią historię, zaczynając od odkrycia promieni rentgenowskich i radioaktywności. Pierwszy dowód na to, że promieniowanie jonizujące może wyrządzić krzywdę, pojawił się kilka miesięcy po odkryciu promieni rentgenowskich, kiedy jeden z pierwszych pracowników rentgenowskich doznał obrażeń skóry. Poważne wysiłki i mające na celu zrozumienie i kontrolę narażenia na promieniowanie rozpoczęły się w latach 20 XX wieku i znacznie się rozszerzyły w trakcie i po II wojnie światowej. Informacje na temat skutków promieniowania pochodzą z badań narażonych osób, z eksperymentów na zwierzętach oraz z badań na poziomie komórkowym i molekularnym. Obecnie jest dobrze udokumentowane, że promieniowanie jonizujące ma zarówno natychmiastowe, jak i opóźnione skutki. Przy bardzo wysokim narażeniu na promieniowanie zgon nastąpi w ciągu kilku miesięcy lub krócej. Przy umiarkowanym narażeniu na promieniowanie zwiększa się prawdopodobieństwo zachorowania na raka u danej osoby, z opóźnieniem wynoszącym dziesięć lub więcej lat w przypadku większości nowotworów. Przy niskim narażeniu ryzyko zachorowania na raka maleje, ale związek między ryzykiem zachorowania na raka a wielkością narażenia jest niepewny.

Inne skutki promieniowania, częściowo wywnioskowane z eksperymentów na zwierzętach, obejmują zwiększone ryzyko wad genetycznych i w przypadku narażenia płodu przed urodzeniem, upośledzenia umysłowego. Pod względem częstości występowania i ciężkości skutków, choroby na podłożu nowotworowym są najpoważniejszą konsekwencją i otrzymuje największą uwagę. Znaczenie skutków genetycznych okazało się znacznie mniejsze, niż pierwotnie oczekiwano. Jak napisano w raporcie NCRP z 1993 r.: „... stwierdzono, że ryzyko genetyczne jest mniejsze, a ryzyko zachorowania na raka większe, niż sądzono (w latach 50. XX wieku).” Co ważne, nie stwierdzono statystycznie istotnych efektów genetycznych wśród szeroko badanych dzieci ocalałych z bombardowań Hiroszima-Nagasaki. Na podstawie eksperymentów na zwierzętach można jednak spodziewać się pewnych efektów genetycznych — nawet jeśli do tej pory nie można ich było zaobserwować na tle dużego tła „naturalnych” defektów. Ponadto, badania dotyczące Hiroszimy-Nagasaki wykazały zwiększoną częstość występowania upośledzenia umysłowego u dzieci, które otrzymały duże dawki promieniowania prenatalnego, zwłaszcza w przypadku ekspozycji 8 do 15 tygodni po poczęciu.

Pierwotną jednostką pomiaru ilości radioaktywności był kiur (Ci) — pierwotnie zdefiniowany jako odpowiadający jednemu gramowi radu-226, a ostatnio zdefiniowany jako: $1 \text{ kiur} = 3,7 \times 10^{10}$ rozpadów radioaktywnych na sekundę. W Międzynarodowym Układzie Jednostek (SI) bekerel (Bq) zastąpił kiur, gdzie $1 \text{ bekerel} = 1 \text{ rozpad radioaktywny na sekundę} = 2,703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$.

Wielkość ekspozycji na promieniowanie jest określana w kategoriach dawki promieniowania. Istnieją dwie ważne kategorie dawki:

1. Pochłonięta dawka, czasami nazywana dawką fizyczną, definiowana przez ilość energii zdeponowanej w jednostce masy w tkance ludzkiej lub innych środowiskach. Pierwotną jednostką był rad [100 erg/g]; obecnie jest ona szeroko zastępowana przez jednostkę SI, grej (Gy) [1 J/kg], gdzie 1 grej = 100 rad.

2. Dawka biologiczna, czasami nazywana również równoważnikiem dawki, wyrażona w jednostkach rem lub, w układzie SI, siwert (Sv). Dawka ta odzwierciedla fakt, że szkody biologiczne spowodowane przez cząstkę zależą nie tylko od całkowitej zdeponowanej energii, ale również od szybkości utraty energii na jednostkę odległości przebytej przez cząstkę (lub „liniowego transferu energii”).

Równoważnik dawki to wciąż nie wszystko. Jeśli napromieniowana jest tylko część ciała, dawka musi zostać zdyskontowana przy użyciu odpowiedniego współczynnika ważenia, jeśli ma ona odzwierciedlać ogólne ryzyko. Zdyskontowana dawka jest nazywana dawką skuteczną równoważną lub po prostu dawką skuteczną, wyrażoną w remach lub siwertach.

Ślady pierwiastków promieniotwórczych znajdują się również w węglu, w dymie i popiele, pochodzących ze spalania węgla. Produkty spalania, typowe dla konwencjonalnych elektrowni węglowych osadzają się w glebie, przenikają do roślin i wreszcie trafiają do przewodów pokarmowych zwierząt i ludzi. Energia pochodząca ze źródeł geotermalnych też nie jest wolna od problemu promieniotwórczości, bowiem w wodzie z tych źródeł znajduje się dość pokaźna domieszka nuklidów promieniotwórczych. Powszechnie stosowane nawozy fosforowe (fosfatowe), do wytwarzania których używane są odpowiednie skały, zawierają spore domieszki pierwiastków z szeregu uranowego. W procesach wydobywania rud uranowych, ale nie tylko tych, górnicy narażeni są także na podwyższone stężenia promieniotwórczego radonu.

Spośród nuklidów promieniotwórczych znajdujących się w naszych ciałach należy wymienić przede wszystkim następujące: ^{14}C i tryt, ^3H , które znalazły się tam wskutek działania promieniowania kosmicznego, potas ^{40}K , wchłaniany przez nas z naturalnym potasem, oraz ^{87}Rb . Spożywając ryby morskie i tzw. owoce morza, zawierające pewne ilości ^{210}Pb i ^{210}Po , do naszych organizmów dostają się i te dwa izotopy promieniotwórcze. Mięso niektórych zwierząt zawiera także pewne ilości pierwiastków promieniotwórczych, jak ^{210}Po u renów, czy uran u kangurów i owiec w Australii. Z wymienionych tu nuklidów najważniejszym jest potas-40 o nadzwyczaj długim półokresie rozpadu, aż 1,3 miliarda lat. Choć ten radionuklid pojawia się w naturalnym potasie w minimalnych ilościach, zaledwie 117 atomów na każdy milion atomów naturalnego potasu, wystarcza to, aby w ciele osobnika o wadze 70 kg następowało około 4000 przemian beta na sekundę. Oprócz łatwo przyswajalnego potasu, nasz organizm przyswaja uran, stront, rad i tor, spośród których ^{226}Ra , obecny zarówno w glebie jak i w wodzie, prowadzi do największej liczby rozpadów promieniotwórczych w naszych organizmach. Dzieje się tak dlatego, że pierwiastek ten jest podobny chemicznie do wapnia i baru, które są szczególnie łatwo wchłaniane.

Skażenia radioaktywne

Wypadki w reaktorach jądrowych Three Mile Island (TMI) i Czarnobylu wywołały szczególnie intensywne obawy dotyczące zagrożeń radiacyjnych. Wypadek w TMI w Pensylwanii w 1979 r. był wynikiem połączenia wadliwego sprzętu i błędów operatora. Mimo że paliwo jądrowe wewnątrz reaktora uległo poważnym uszkodzeniom, do środowiska zewnętrznego przedostało się bardzo niewiele substancji radioaktywnych. Do tego stosunkowo niewielkiego uwolnienia przyczyniła się skuteczność dużego betonowego budynku ochronnego otaczającego reaktor. Późniejsze badania

wykazały, że maksymalna dawka otrzymana przez każdego członka społeczeństwa wynosiła mniej niż 1 mSv (100 mrem - Milirem (mrem) jest jednostką, w której mierzy się dawkę promieniowania jonizującego pochłoniętego przez organizm. Jest to tysięczna część rema, który jest standardową jednostką w Stanach Zjednoczonych). Szacuje się, że zbiorcza dawka poza obiektem wynosiła około 20 osobo-Sv. Przy standardowym założeniu niskiej dawki odpowiada to jednemu ostatecznemu zgonowi z powodu raka w sąsiedniej populacji liczącej 2 miliony osób. (Ta populacja otrzymuje coroczną zbiorczą dawkę około 6000 osobo-Sv ze źródeł naturalnych.)

Katastrofa w Czarnobylu w 1986 r. była wynikiem wadliwej konstrukcji reaktora obsługiwanego przez niedostatecznie przeszkolony personel. W wyniku eksplozji pary wodnej i pożarów do środowiska przedostało się co najmniej 5% radioaktywnego rdzenia reaktora, a w wielu częściach Europy doszło do osadzania się materiałów radioaktywnych. Dwóch pracowników elektrowni w Czarnobylu zmarło w wyniku eksplozji w noc wypadku, a kolejne 28 osób zmarło w ciągu kilku tygodni w wyniku ostrego zespołu popromiennego. Komitet Naukowy Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego stwierdził, że poza około 5000 przypadków raka tarczycy (co spowodowało 15 zgonów), „nie ma dowodów na poważny wpływ na zdrowie publiczne spowodowany narażeniem na promieniowanie 20 lat po wypadku”. W wyniku wypadku ewakuowano około 350 000 osób, ale trwają prace przesiedleńcze na obszarach, z których przesiedlono ludzi.

Ostry zespół popromienny (ARS) został pierwotnie zdiagnozowany u 237 osób na miejscu i biorących udział w oczyszczaniu, a później potwierdzono go w 134 przypadkach. Spośród nich 28 osób zmarło w wyniku ARS w ciągu kilku tygodni od wypadku. Dziewiętnastu kolejnych pracowników zmarło później między 1987 a 2004 rokiem, ale ich zgony nie mogą być koniecznie przypisane narażeniu na promieniowanie. Nikt poza terenem zakładu nie cierpiał na ostre skutki promieniowania, chociaż znaczna, ale niepewna, część nowotworów tarczycy zdiagnozowanych od czasu wypadku u pacjentów, którzy byli wówczas dziećmi, prawdopodobnie była spowodowana przyjęciem radioaktywnego opadu jodum⁹. Ponadto duże obszary Białorusi, Ukrainy, Rosji i innych krajów zostały skażone w różnym stopniu. Katastrofa w Czarnobylu była wyjątkowym wydarzeniem i jedynym wypadkiem w historii komercyjnej energetyki jądrowej, w którym doszło do zgonów związanych z promieniowaniem. Konstrukcja reaktora jest wyjątkowa i pod tym względem wypadek ten ma niewielkie znaczenie dla reszty przemysłu jądrowego poza ówczesnym blokiem wschodnim. Doprowadził jednak do poważnych zmian w kulturze bezpieczeństwa i współpracy przemysłowej, szczególnie między Wschodem a Zachodem przed końcem Związku Radzieckiego. Były prezydent Gorbaczow powiedział, że wypadek w Czarnobylu był ważniejszym czynnikiem upadku Związku Radzieckiego niż pierestrojka – jego program liberalnych reform.