

Promieniowanie, zdrowie i społeczeństwo

Żyjemy w świecie z natury promieniotwórczym. Promieniotwórczy polon i rad są obecne w naszych kościach; nasze mięśnie zawierają promieniotwórczy węgiel i potas, a w płucach znajdują się promieniotwórcze gazy szlachetne i tryt. Jesteśmy bombardowani przez promieniowanie kosmiczne i napromieniani od wewnątrz przez naturalne i sztuczne substancje, które codziennie dostają się do naszego organizmu wraz z żywnością i napojami.

Do momentu wynalezienia lampy rentgenowskiej wytwarzającej promienie X, tj. do 1895 roku, jedynym istniejącym na Ziemi promieniowaniem było promieniowanie ze źródeł naturalnych.

Naturalną promieniotwórczość odkryto w 1896 roku. Tę naturalną właściwość promieniotwórczych nuklidów wykorzystywano do celów medycznych i badawczych aż do roku 1934, kiedy to po raz pierwszy wytworzono sztuczny materiał promieniotwórczy. Odtąd wiele tego rodzaju substancji stosowano z pożytkiem dla społeczeństwa w badaniach naukowych, przemyśle, ochronie środowiska, medycynie i wielu innych dziedzinach ludzkiej działalności.

Mimo korzyści wynikających ze stosowania promieniowania, wiele osób obawia się zarówno samego promieniowania, jak i jego skutków. Ludzie obawiają się przede wszystkim wypadków jądrowych (w swoim kraju lub w państwach sąsiednich), które mogłyby mieć niekorzystny wpływ na ich zdrowie i codzienne życie. Skutki psychologiczne i społeczne katastrofy w Czarnobylu, która wydarzyła się w 1986 roku, są nadal odczuwane.

Niektóre obawy związane z promieniowaniem są uzasadnione. Jednak wiele z nich wynika z niewiedzy. Większość ludzi zapewne posiada podstawowe wiadomości o promieniowaniu, lecz mogą one być niewystarczające, aby znaleźć odpowiedzi na wszystkie nurtujące ich pytania. Jak w każdej dziedzinie, niepełna wiedza może prowadzić do przesadzonych i niepotrzebnych obaw.

Jądrowy fenomen

Każda osoba i każda rzecz składa się z atomów.

Przeciętny dorosły człowiek stanowi „składankę” 4.000.000.000.000.000.000.000.000 atomów tlenu, węgla, wodoru, azotu, fosforu, potasu i innych pierwiastków.

Masa atomu skoncentrowana jest w jądrze, którego objętość jest ledwie jedną setną jednej bilionowej całej objętości atomu. Przestrzeń wokół jądra jest niemal pusta. Krążą w niej tylko maleńkie, ujemnie naładowane cząstki, zwane elektronami. Determinują one chemiczne właściwości danej substancji. Nie mają jednak nic wspólnego z promieniotwórczością. Promieniotwórczość zależy wyłącznie od budowy jądra. Możemy określić każdy pierwiastek, podając liczbę protonów w jądrze. Wodór ma 1 proton, hel – 2 protony, lit - 3, beryl - 4, bor - 5, a węgiel - 6. Im większa liczba protonów, tym cięższe jest jądro. Tor ma 90 protonów, protaktyn - 91, a uran - 92. Ciężkie pierwiastki posiadające więcej niż 92 protony nazywane są transuranowcami.

Liczba neutronów decyduje o tym, czy jądro jest promieniotwórcze. Aby jądro było stabilne, liczba neutronów powinna być nieco większa niż liczba protonów. W stabilnym jądrze protony i neutrony powiązane są ze sobą przez siły jądrowe tak mocno, że żadna z cząstek nie zdoła się odłączyć. Jeśli tak się dzieje, wszystko jest w porządku - jądro pozostanie zrównoważone i spokojne. Rzecz ma się zupełnie inaczej, gdy liczba neutronów nie jest zrównowazona. W takim przypadku jądro ma nadmiar energii i nie jest w stanie „utrzymać się” w całości. Prędzej czy później wyemituje ów nadmiar energii.

Różne jądra uwalniają energię w różny sposób: w postaci fal elektromagnetycznych i/lub strumieni cząstek. Energię tę nazywamy promieniowaniem.

Rozpad promieniotwórczy

Proces emitowania przez niestabilny atom nadmiaru energii nazywany jest rozpadem promieniotwórczym. Jądra lekkie, posiadające kilka protonów i neutronów, stają się stabilne po jednym rozpadzie. Kiedy ciężkie jądro, takie jak rad lub uran ulegnie rozpadowi, może być nadal niestabilne, a stan równowagi osiągnie dopiero po wielu rozpadach.

Na przykład uran-238, który ma 92 protony i 146 neutronów podczas każdego rozpadu traci 2 protony i 2 neutrony. Liczba protonów pozostająca w jądrze po rozpadzie uranu-238 wynosi 90, ale jądro z 90 protonami to pierwiastek tor. Oznacza to, że z jądra uranowego

powstało jądro toru-234, które również jest niestabilne i zamieni się w protaktyn przy kolejnym rozpadzie. Stabilne jądro - ołów - powstanie dopiero po czternastu rozpadach.

Proces rozpadu promieniotwórczego prowadzi do powstania wielu promieniotwórczych nuklidów (radionuklidów) w środowisku.

Jednostka aktywności: bekerel

Określenie „promieniotwórczość” (radioaktywność) oznacza zdolność danej substancji do emitowania promieniowania. Nie informuje jednak o jego intensywności czy związanego z tym zagrożenia zdrowia. Do tego celu służy jednostka aktywności - bekerel, nazwana tak na cześć francuskiego fizyka Henri Becquerela.

Aktywność danej ilości promieniotwórczego nuklidu jest określana tempem zachodzących w nim rozpadów. Jeśli w ciągu jednej sekundy następuje jeden rozpad to mówi się, że aktywność substancji wynosi jeden bekerel (Bq). Aktywność w żaden sposób nie jest związana z wielkością czy masą danej substancji. Źródło promieniowania wielkości niedopałka papierosa, wykorzystywane w radioskopii stali może być miliardy razy bardziej aktywne niż beczka odpadów promieniotwórczych. Jeśli liczba rozpadów zachodzących w niewielkiej ilości substancji wynosi 1000 na sekundę, wówczas jej aktywność jest 100 razy większa niż aktywność dużej ilości substancji, w której zachodzi 10 rozpadów na sekundę.

Okres połowicznego rozpadu

Miarą tempa rozpadu jest okres połowicznego rozpadu, a więc czas po upływie którego połowa niestabilnych jąder w pewnej ilości materiału ulegnie rozpadowi. Okres połowicznego rozpadu jest charakterystyczny i niezmienny dla każdego nuklidu promieniotwórczego i może wynosić od ułamka sekundy do miliardów lat. Na przykład okres połowicznego rozpadu siarki-38 wynosi 2 godziny 52 minuty, radu-223 - 11,43 dni, a węgla-14 - 5730 lat. Po kolejnych okresach połowicznego rozpadu aktywność radionuklidu zmniejsza się do 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 itd. wartości początkowej. Dzięki temu można przewidzieć jaką aktywność będzie miała dowolna substancja w dowolnym momencie w przyszłości.

Promieniowanie: zawsze i wszędzie

Promieniowanie jest w całym środowisku. Wiek substancji promieniotwórczych o najdłuższym okresie połowicznego rozpadu sięga czasów sprzed powstania Ziemi; zatem narażenie na promieniowanie jest - i zawsze było - nieuniknione i normalne. W ciągu ostatniego stulecia tło promieniowania minimalnie wzrosło na skutek takich działań, jak próby z bronią jądrową i wytwarzanie energii jądrowej. Intensywność tła promieniowania zależy od wielu czynników: od tego gdzie mieszkamy, składu gleby, materiałów budowlanych, pory roku, szerokości geograficznej i - w pewnym stopniu - warunków meteorologicznych. Deszcz, śnieg, wysokie ciśnienie, niskie ciśnienie i kierunek wiatru - wszystko to ma wpływ na poziom promieniowania. W zależności od pochodzenia promieniowanie jest klasyfikowane jako naturalne bądź sztuczne.

Promieniowanie naturalne

Promieniowanie kosmiczne, które jest jednym ze składników tła promieniowania, pochodzi ze słońca i przestrzeni kosmicznej. Ponieważ znaczna jego część jest pochłaniana przez atmosferę, tylko niewielka ilość dociera do powierzchni ziemi. Na szczycie górskim lub na pokładzie samolotu jest ono kilkakrotnie intensywniejsze niż na poziomie morza. Załogi samolotów spędzają dużą część swojego zawodowego życia na wysokościach, gdzie promieniowanie kosmiczne jest dwudziestokrotnie wyższe niż na powierzchni ziemi.

Naturalne substancje promieniotwórcze o długim okresie połowicznego rozpadu występują w paliwach kopalnych. Pozostając w ziemi substancje te nikogo nie napromieniają, ale spalane rozprzestrzeniają się w atmosferze, a następnie trafiają do gleby powodując niewielki wzrost tła promieniowania.

Największym składnikiem tła promieniowania jest radon; promieniotwórcza gazowa substancja, powstająca podczas rozpadu radu. Inne promieniotwórcze substancje powstające w wyniku tego procesu pozostają tam gdzie były, tj. w ziemi. Natomiast radon wydostaje się na powierzchnię i rozprasza w powietrzu. Jego stężenie jest niewielkie, a zatem nie stanowi zagrożenia. Jednakże w domu, który stoi w miejscu, gdzie radon wydostaje się na powierzchnię, gaz ten może gromadzić się w wysokich stężeniach, zwłaszcza jeśli nie ma w nim odpowiedniej wentylacji. Zatem stężenie radonu w takim domu może być setki lub nawet tysiące razy większe niż na zewnątrz.

Dotychczas nie wykazano, aby promieniowanie naturalne - poza promieniotwórczym radonem - było szkodliwe dla zdrowia. Jest ono częścią przyrody, a substancje promieniotwórcze są naturalnym składnikiem naszego organizmu.

Promieniowanie sztuczne

Działalność człowieka przyczynia się także do tego, że substancje promieniotwórcze są w środowisku i w organizmie każdego z nas. Niektóre z nich zostały uwolnione do atmosfery podczas prób z bronią jądrową czy - w dużo mniejszym stopniu - podczas eksploatacji reaktorów energetycznych; jednak przyjęte limity uwolnień z reaktorów gwarantują, że są to ilości praktycznie nie mające znaczenia. Większość substancji promieniotwórczych powstających podczas rozszczepienia jądra pozostaje w odpadach promieniotwórczych, które odpowiednio przetworzone i zabezpieczone są izolowane od środowiska.

Artykuły powszechnego użytku

Niektóre artykuły powszechnie używane zawierają substancje promieniotwórcze. Domy są często wyposażone w detektory (czujki) dymu zawierające małe źródła promieniowania alfa. Również farba używana do malowania świecących w ciemności tarcz zegarków i przyrządów pomiarowych zawiera substancje promieniotwórcze. Promieniowanie emitowane przez tę substancję bombarduje znajdujące się w farbie luminofory, powodując ich świecenie.

Przemysł

W różnych gałęziach przemysłu wiele osób ma do czynienia na co dzień z substancjami promieniotwórczymi. Wszystko widzące „oko” promieniowania wykorzystywane jest często po to, by zapewnić ludziom bezpieczeństwo. Promienie X wykorzystuje się w urządzeniach do prześwietlania bagażu na lotniskach, do sprawdzenia czy listy nie zawierają ładunków wybuchowych oraz do wykrywania błędów w spawach i pęknięć w budynkach, rurociągach i metalowych konstrukcjach. W procesie kontroli może być ono pomocne w wykrywaniu niejednorodnej grubości wyrobów papierniczych,

plastikowych folii i arkuszy blach. Promieniowanie może być nawet stosowane do mierzenia poziomu płynu w dużych zbiornikach magazynowych.

Rolnictwo

Silne promieniowanie zostało z powodzeniem wykorzystane do wyhodowania ponad 1500 nowych odmian roślin uprawnych, które dają lepsze plony i są bardziej odporne na silne deszcze, mróz czy szkodniki niż ich naturalne „pierwowzory”.

Promieniowanie jest stosowane do kontrolowania populacji muchy tse-tse w Zanzibarze, śródziemnomorskiej muszki owocowej w Meksyku i muchy trupicy (skrew worm) na południu Stanów Zjednoczonych i w Północnej Afryce. Technikę Sterylizacji Owadów (ang. Stenine Insect Technique - SIT) wykorzystuje się do napromieniowywania samców, co czyni je bezpłodnymi. Wypuszczone na wolność mogą łączyć się z samicami w pary, ale nie mogą mieć potomstwa. W odróżnieniu od chemicznych pestycydów metoda ta nie powoduje zanieczyszczeń środowiska i jest wybitnie selektywna.

Uzdrawiające promieniowanie

W większości zastosowań w dziedzinie zdrowia wykorzystywana jest zdolność promieniowania do „odsłaniania” tego co niewidoczne, a intensywnego promieniowania – do niszczenia komórek nowotworowych.

W wielu krajach kobiety w średnim wieku poddawane są badaniom mammograficznym, które pozwalają wykryć raka piersi; zdjęcia rentgenowskie umożliwiają wykrywanie zmian chorobowych w zębach, a także rozpoznanie osteoporozy i złamań kości.

Postępowanie medyczne w celach diagnostycznych czasami wymaga wprowadzenia substancji promieniotwórczych do wnętrza organizmu człowieka. Promieniowanie jest niekiedy jedynym środkiem w leczeniu raka, ale może być także środkiem wspomagającym zabiegi chirurgiczne lub leczenie farmakologiczne.

Wczesne ostrzeżenie w diagnostyce

Dzięki promieniom X wiele chorób można rozpoznać we wczesnej fazie, kiedy jeszcze są uleczalne.

Kiedy promieniowanie X przenika przez ciało człowieka, na kliszy umieszczonej za pacjentem powstaje obraz narządów wewnętrznych, który może służyć do celów diagnostycznych. Kości są bardzo dobrze widoczne na kliszy, ale żeby zbadać jelita lub narządy zbudowane z tkanek miękkich, pacjentowi podaje się tzw. kontrast, który jest wprowadzany do krwioobiegu doustnie lub doodbytniczo. Kontrast kumuluje się w narządach, które będą badane i absorbuje promieniowanie X, dając ich wyraźny obraz na kliszy rentgenowskiej.

Promieniowanie w radioterapii

Tam gdzie potrzebne jest promieniowanie o większej energii niż promieniowanie X, na przykład w radioterapii, stosowane są źródła kobaltowe (tzw. bomby kobaltowe) i akceleratory liniowe. Akcelerator liniowy umożliwia przesłanie wiązki elektronów o dużej energii w głąb tkanek wymagających leczenia, takich jak guzy nowotworowe. Ponieważ taką wiązką łatwo sterować i regulować jej wielkość, to guzy nowotworowe można poddawać działaniu potężnego „krzyżowego ognia” przez wiele tygodni, nie uszkadzając zbytnio okolicznych komórek czy skóry. Organizm ma wtedy czas na naprawienie uszkodzeń zdrowych komórek pomiędzy zabiegami. Akcelerator można także wykorzystywać do uzyskiwania obrazów wnętrza organizmu o wiele dokładniejszych niż obrazy powstające przy użyciu promieni X. Inny rodzaj radioterapii stosuje się w leczeniu nadczynności tarczycy (nadmiernej produkcji hormonu tarczycy) i raka tarczycy. Pacjentowi podaje się do wypicia roztwór zawierający jod-131, który kumuluje się w gruczole tarczycy, a więc radioterapia przeprowadzana jest od wewnątrz.

W wyselekcjonowanych przypadkach niewielkie źródło intensywnego promieniowania wprowadza się do organizmu obok miejsca wymagającego leczenia, aby w ten sposób zapewnić krótką miejscową radioterapię.

Sterylizacja i konserwacja żywności

Bardzo silne promieniowanie można stosować do sterylizacji m.in. narzędzi chirurgicznych czy rękawic chirurgicznych, które nie są odporne na temperatury stosowane w konwencjonalnej metodzie sterylizacji. Niektóre leki mogą być sterylizowane za pomocą promieniowania, a żywność można napromieniować, by przedłużyć jej trwałość.

Obecnie około 20% artykułów żywnościowych ulega zepsuciu zanim dotrze do konsumenta, podczas gdy napromieniowana żywność zachowuje świeżość przez kilka miesięcy. Napromieniowanie żywności eliminuje również pasożyty (np. włosienie) i bakterie (np. salmonellę).

Napromieniowana żywność nie jest promieniotwórcza i nie stanowi zagrożenia dla konsumenta.

Promieniowanie i żywa tkanka

Rozróżniamy wiele rodzajów promieniowania. Najważniejsze, ze względu na ludzkie zdrowie są te rodzaje promieniowania, które przenikając przez materię mogą ją zjonizować. Jeśli promieniowanie jonizujące przenika przez żywą tkankę, wytworzone jony mogą niekiedy zakłócać normalne procesy biologiczne. Zatem narażenie na którykolwiek z powszechnie występujących rodzajów promieniowania jonizującego: promieniowanie alfa, beta, gamma, X i promieniowanie neutronowe może mieć wpływ na nasze zdrowie.

Promieniowanie alfa to ciężkie dodatnio naładowane cząstki, złożone z dwóch protonów i dwóch neutronów, emitowane przez atomy ciężkich pierwiastków, takich jak uran, rad, radon i pluton. W powietrzu promieniowanie alfa może przebyć nie więcej niż kilka centymetrów, a zatrzyma je kartka papieru lub zewnętrzna warstwa skóry (epiderma). Jeśli jednak substancja emitująca promieniowanie alfa dostanie się do wnętrza organizmu, to całą swoją energię przekazuje otaczającym ją komórkom. Na przykład, jeśli dostanie się do płuc, to wrażliwa tkanka, która - w odróżnieniu od skóry - nie jest chroniona warstwą epidermy otrzyma dawkę promieniowania zwaną dawką wewnętrzną.

Promieniowanie beta to elektrony, które są znacznie mniejsze od cząstek alfa i mogą wnikać nieco głębiej. Może je zatrzymać arkusz blachy, szklana szyba i zwykłe ubranie. Przeniknie ono co najwyżej przez zewnętrzną warstwę skóry. W czasie wypadku w elektrowni jądrowej w Czarnobylu w 1986 roku bardzo silne promieniowanie beta poparzyło skórę strażakom pracującym przy gaszeniu pożaru. Jeśli cząstki emitujące promieniowanie beta dostaną się do wnętrza organizmu, to spowodują napromieniowanie tkanek wewnętrznych.

Promieniowanie gamma jest energią fal elektromagnetycznych. Ma ono duży zasięg w powietrzu i znaczącą zdolność przenikania. Z chwilą, gdy promieniowanie gamma

przeniknie przez jakiś materiał, jego intensywność zaczyna maleć. Na swojej drodze ciągle zderza się z atomami. Takie oddziaływanie na żywe komórki może uszkodzić skórę lub tkanki wewnętrzne. Substancje o dużej gęstości, takie jak ołów i beton są znakomitymi barierami chroniącymi przed promieniami gamma.

Promieniowanie X jest podobne do promieniowania gamma emitowanego przez jądra atomów, ale wytwarzane jest sztucznie w lampie rentgenowskiej, która sama nie jest promieniotwórcza. Ponieważ lampa rentgenowska jest zasilana prądem elektrycznym, to wytwarzanie promieni X można uruchamiać przerywać za pomocą wyłącznika.

Promieniowanie neutronowe, powstające w reaktorach energetycznych, samo nie jest promieniowaniem jonizującym, lecz jeśli zderzy się z innym jądrem może spowodować jego aktywację lub emisję promieniowania gamma, pośrednio wywołując promieniowanie jonizujące. Neutrony mają większą zdolność przenikania niż promienie gamma i może je zatrzymać jedynie gruba warstwa betonu, wody lub parafiny. Na szczęście promieniowanie neutronowe praktycznie nie istnieje nigdzie indziej poza reaktorami jądrowymi i paliwem jądrowym.

Ochrona radiologiczna

Wkrótce po wynalezieniu lampy rentgenowskiej, ludzie pracujący z tymi urządzeniami zaobserwowali uszkodzenia skóry na swoich rękach. Niektórzy naukowcy specjalnie napromieniowywali swoją skórę, aby zdobyć jak najwięcej informacji o przyczynach tych uszkodzeń. Stwierdzili wtedy, że intensywne napromieniowanie może wywołać zaczerwienienie i oparzenia (rumień) po kilku tygodniach od ekspozycji. Bardzo silne napromieniowanie może nawet spowodować powstanie otwartych ran (owrzodzenie skóry) i czasową utratę włosów. Stało się również oczywiste, że w tkance, która była napromieniowana, a następnie wyleczona, po wielu latach może rozwinąć się rak. W latach dwudziestych XX w. naukowcy zaczęli również przedstawiać różne teorie na temat związku pomiędzy stężeniem radonu w kopalniach a wyższą od średniej zapadalnością na raka płuc wśród górników.

Dla osób pracujących z promieniowaniem X lub promieniowaniem pochodzącym z innych źródeł promieniotwórczych kwestią zasadniczej wagi stało się zatem otrzymanie wytycznych jak bezpiecznie pracować z promieniowaniem jonizującym. Jedną z pierwszych

norm bezpieczeństwa oparta na doświadczeniu stanowiła, że promieniowanie jest bezpieczne dopóty, dopóki w ciągu siedmiu minut nie spowoduje zaciemnienia kliszy fotograficznej. Choć norma ta może wydawać się prymitywna, zdołała uchronić osoby pracujące przy aparatach rentgenowskich od uszkodzeń skóry i innych poważnych skutków zdrowotnych, a stosowana obecnie w ochronie radiologicznej metoda jest podobna.

Korzyści i zagrożenia

Gdybyśmy nie mieli korzyści ze stosowania materiałów promieniotwórczych i emitowanego przez nie promieniowania, ich wytwarzanie i posługiwanie się nimi nie znajdowałoby uzasadnienia. Tymczasem w ciągu dziesięcioleci sztucznie wytwarzane promieniowanie umożliwiło osiągnięcie wielkiego postępu w leczeniu i diagnostyce medycznej, jak również przyczyniło się do powstania wielu technik w badaniach naukowych, rolnictwie i przemyśle, które poprawiły warunki życia na ziemi.

Kwestia promieniowania jest dziś jednym z najważniejszych tematów i nie ulega wątpliwości, że wiele osób odczuwa autentyczny niepokój, zwłaszcza przed jego wpływem (w ciągu długiego czasu) na ich własne zdrowie i zdrowie potomstwa. Niebezpieczeństwo wypadków w zakładach jądrowych, zagospodarowanie, transport i składowanie odpadów jądrowych, skutki uwolnień z elektrowni jądrowych dla środowiska oraz próby z bronią jądrową - wszystkie te kwestie poruszane są w książkach, gazetach, relacjach telewizyjnych i codziennych rozmowach.

Ochrona przed promieniowaniem ponad granicami

Wraz z rozwojem nowych technologii coraz lepiej rozumiano skutki promieniowania zarówno jonizującego jak i niejonizującego. Powstał nowoczesny system ochrony przed promieniowaniem. Przez lata wypracowano szczegółowe normy i procedury bezpieczeństwa, które - na podstawie obserwacji i badań - określają limity promieniowania dla ogółu ludności i grup zawodowo narażonych na promieniowanie. Dzięki działalności organizacji międzynarodowych normy bezpieczeństwa są w poszczególnych krajach harmonizowane, co sprawia, że normy i limity promieniowania są jednakowe na całym świecie.

Niewiele jest czynników ryzyka, tak dobrze poznanych jak promieniowanie i niewiele jest takich, które byłyby tak dokładnie regulowane w prawie i stosowane w praktyce.

Chociaż zdarzały się wypadki, to w dziedzinie bezpieczeństwa dokonuje się niebywały postęp, na przykład wycofuje się starsze i mniej niezawodne elektrownie jądrowe, aby zminimalizować lub nawet ostatecznie wyeliminować możliwość poważniejszych wypadków, takich jak katastrofa w Czarnobylu w 1986 roku.

Wiele międzynarodowych organizacji zaangażowanych jest bezpośrednio i pośrednio w ochronę radiologiczną:

Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej

(The International Commission on Radiological Protection - ICRP)

Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) powstała w 1928 roku. Ta pozarządowa organizacja zrzeszająca specjalistów działa do dzisiaj.

Jej członkowie wybierani są ze względu na swoje kwalifikacje: w radiologii medycznej, ochronie przed promieniowaniem, biologii, biochemii i genetyce.

Zalecenia ICRP mają charakter ogólny, więc różne kraje mogą je uwzględniać w swoim prawodawstwie, ale Komisja nie posiada mandatu, aby narzucić ich przyjęcie państwom.

To dzięki wysiłkom ICRP wszystkie kraje na świecie stosują te same normy w ochronie przed promieniowaniem.

Naukowy Komitet Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego

(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR)

Utworzony w 1956 roku, aby oszacować możliwe zagrożenia spowodowane opadem promieniotwórczym po próbnym wybuchach jądrowych w atmosferze, UNSCEAR rozszerzył zakres swoich zadań, systematycznie analizując wszystkie naturalne i sztuczne źródła promieniowania w środowisku lub wykorzystywane przez człowieka. Pierwszy raport UNSCEAR został opublikowany w 1958 roku. Komitetowi w zbieraniu danych pomagają inne agendy ONZ, takie jak: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA), Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), Organizacja ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO)

oraz Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO). Wiele państw przekazuje dane również bezpośrednio do UNSCEAR, a ponadto istnieje intensywna współpraca naukowa pomiędzy UNSCEAR i ICRP.

Od zaleceń do przepisów

Zalecenia ICRP nie mają mocy prawnej, ale inne agendy ONZ mogą je przekształcić w bardziej praktyczną formę i udzielać rad dotyczących ich wdrożenia. Takie zadania wykonują MAEA, WHO, FAO, Międzynarodowa Organizacja Pracy (ILO) oraz wiele innych międzynarodowych instytucji. Ważną pracę przy zbieraniu i przetwarzaniu danych, przekształcaniu międzynarodowych zaleceń w dyrektywy i szkoleniu w zakresie bezpieczeństwa wykonują instytucje regionalne, takie jak Komisja Europejska i Agencja Energii Jądrowej Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (NEA/OECD).

Dawka promieniowania

C-7 d lat trzydziestych Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej zaleca, żeby jakiegokolwiek narażenie na promieniowanie, przekraczające normalne poziomy tła były tak małe, jak to jest możliwe do osiągnięcia. Zalecenie to zostało uzupełnione rekomendowanymi limitami dawek (modyfikowanymi z biegiem lat), aby chronić pracowników i ludność przed nadmiernym narażeniem na promieniowanie. Obecnie zalecane limity zostały sprecyzowane w roku 1990. Nie są one przymusowe, ale w wielu krajach zostały przyjęte jako obowiązujące. Dawkę promieniowania wyraża się w siwertach (Sv), a nazwa ta pochodzi od nazwiska dr. Rolfa Sieverta, szwedzkiego pioniera ochrony radiologicznej. Jednostka ta wyraża ilość energii promieniowania pochłoniętą przez żywą tkankę w relacji do skutków biologicznych promieniowania. Ponieważ siwert jest stosunkowo dużą jednostką, często używa się milisiwertów (mSv). Aby zobrazować jakiego rzędu jednostką jest siwert, wystarczy powiedzieć, że przeciętna dawka, jaką otrzymujemy w ciągu roku od tła promieniowania (poza radonem) wynosi 0,001 do 0,002 Sv czyli 1 do 2 mSv.

Radon w domach jest źródłem dodatkowej dawki wynoszącej od około 1 do 3 mSv rocznie, chociaż w domach, gdzie stężenie radonu jest duże może być ona dziesięcio-

lub stukrotnie większa. Podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego najczęściej otrzymujemy dawki od 0,2 do 5 mSv.

Ilościowa ocena zagrożeń zdrowia

Promieniowanie emitowane przez substancję promieniotwórczą jest pochłaniane przez dowolny materiał, który napotka ono na swojej drodze, niezależnie od tego, czy będzie to materia nieożywiona, czy żywe komórki. Każdy kilogram (kg) materiału pochłania pewną ilość energii mierzonej w dżulach (J). J/kg jest jednostką stosowaną do mierzenia pochłoniętej dawki. W ochronie radiologicznej jednostka ta nazywana jest grejem (Gy).

Sama wielkość dawki pochłoniętej nie określa możliwych skutków biologicznych. Okazało się, że 1 Gy promieniowania alfa jest około dwudziestokrotnie bardziej szkodliwy niż 1 Gy promieniowania gamma. Promieniowanie gamma stanowi relatywnie mniejsze ryzyko biologiczne niż promieniowanie alfa. Przenika ono głębiej w tkankę zanim zderzy się z jakąkolwiek cząsteczką, następnie „przechodzi” dalej przez ciało, tracąc stopniowo energię w czasie swojej wędrówki.

Promień gamma powoduje na swojej drodze jedynie „punktowe” szkody, zatem tkanka może je „znieść” stosunkowo dobrze, a nawet naprawić wszelkie uszkodzenia. Ciężka, stosunkowo duża cząstka alfa, powoduje duże szkody w małej objętości i jest bardziej niebezpieczna dla żywej tkanki.

Stopień biologicznego ryzyka ze strony różnych rodzajów promieniowania można obliczyć mnożąc pochłoniętą dawkę promieniowania (Gy) przez współczynnik wagowy danego rodzaju promieniowania.

Najmniejszy współczynnik dla promieniowania gamma wynosi 1, a największy dla promieniowania alfa wynosi - 20. Kiedy dawkę pochłoniętą pomnoży się przez odpowiedni współczynnik, otrzymuje się dawkę równoważną mierzoną w siwertach. Wszystkie dawki podane w Sv lub mSv można porównywać, niezależnie od rodzaju promieniowania z jakim są związane.

Dawka na całe ciało czy na pojedynczy narząd?

W wielu przypadkach, a dotyczy to też tła promieniowania i pracy w elektrowni jądrowej, dawka promieniowania jest równomiernie rozłożona na całe ciało. Jednak może być

również napromieniowana ograniczona powierzchnia ciała (w radioterapii) lub pojedynczy narząd (napromieniowanie skóry promieniami beta lub tarczycy promieniotwórczym jodem). Ponieważ niektóre narządy są bardziej wrażliwe na promieniowanie niż inne, to aby porównać ryzyko napromieniowania miejscowego i całego ciała stosuje się właściwy dla poszczególnych tkanek współczynnik. Dla podkreślenia faktu, że został użyty współczynnik wagowy tkanki stosowany jest termin „dawka skuteczna”. Na przykład

ICRP zaleciła, aby w przypadku napromieniowania tarczycy stosowano współczynnik 0,05. Dlatego, jeśli dawka pochłonięta promieniowania gamma w tarczycy wynosi 1000 mGy, to odpowiadająca jej dawka skuteczna (współczynnik wagowy promieniowania równa się 1) wynosi 50 mSv ($0,05 \times 1 \times 1000$).

Dawka skuteczna umożliwia porównanie potencjalnych skutków spowodowanych różnymi rodzajami promieniowania jonizującego.

Limity dawek (dawki graniczne)

Dla pracowników. Zgodnie z zaleceniami ICRP narażenie osób, pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie (tzw. narażenie zawodowe) w ciągu jednego roku nie powinno przekroczyć 50 mSv, a średnia dawka roczna w ciągu pięciu lat nie może przekroczyć 20 mSv. Jeśli kobieta zawodowo narażona na promieniowanie jest w ciąży, obowiązuje zaostrzony limit - 2 mSv na podbrzusze w pozostałym okresie ciąży. Przyjęte limity dawek oznaczają, że zawodowe ryzyko osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie nie będzie większe niż ryzyko zawodowe w innych gałęziach przemysłu uważanych ogólnie za bezpieczne.

Dla ludności. Limity dawek dla ogółu ludności są niższe niż dla osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie. Zgodnie z zaleceniami ICRP ludność nie może być narażona na dawki większe niż średnio 1 mSv ponad tło naturalne w ciągu roku.

Dla pacjentów. ICRP nie określiła żadnych limitów dawek dla pacjentów. Podczas badań rentgenowskich pacjenci otrzymują dawki wielokrotnie przekraczające limit ustalony dla ludności. W radioterapii dawki są zapewne stukrotnie wyższe od limitów ustanowionych dla pracowników. Ponieważ stosowanie promieniowania ma na celu wykrycie choroby lub leczenie pacjenta, to korzyść znacznie przewyższa szkodliwy wpływ nawet dużych dawek.

Dzięki ostrym normom bezpieczeństwa obowiązującym w przemyśle jądrowym, zagrożenie dla pracowników związane z promieniowaniem jest minimalne.

Dozymetry mierzą dawki

Dawkę mierzy się dozymetrem, a moc dawki - miernikiem mocy dawki. W niektórych zakładach pracy, takich jak elektrownie jądrowe, w wielu szpitalach i wielu branżach wykorzystujących promieniowanie X oraz w centrach badawczych, wymaga się od pracowników, by nosili dozymetry przypominające identyfikatory. Niektóre rodzaje dozymetrów zakładane na czas wykonania krótkiego zadania mogą być odczytywane od razu - na żądanie. Inne, stosowane rutynowo, muszą być umieszczane w specjalnych urządzeniach odczytujących wskazania dozymetrów, co zazwyczaj wykonuje się raz na trzy miesiące. W tradycyjnym dozymetrze wykorzystuje się światłoczuły film, który umieszcza się w światłoszczelnej kasetce. Promieniowanie „przechodzi” przez film i naświetla go. Po wywołaniu filmu i dokonaniu pomiaru stopnia jego zaczernienia, powiedzmy co miesiąc, można oszacować dawkę promieniowania, którą otrzymała osoba nosząca dozymetr. Za każdym razem, gdy film jest sprawdzany, wymienia się go na nowy. Innym nowszym rodzajem dozymetru jest TLD (z ang. Thermal Luminescence Dosimeter) czyli dozymetr luminescencyjny. Jest on czulszy niż dozymetr tradycyjny i nadaje się do powtórnego użytku niezwłocznie po dokonaniu odczytu. W elektrowniach jądrowych, wielu placówkach badawczych i miejscach wysokiego ryzyka, nosi się elektroniczne dozymetry działające w czasie rzeczywistym, których wskazania mogą być odczytane w dowolnej chwili.

Moc dawki. Moc dawki informuje nas jaką dawkę otrzymano w jednostce czasu, na przykład w ciągu godziny. Jeśli w ciągu godziny otrzymamy dawkę 0,5 mSv, to moc dawki wyniesie 0,5 mSv/h. Dawka otrzymana w ciągu dwóch godzin wyniesie 1 mSv, a w ciągu sześciu godzin - 3 mSv. Jeśli moc dawki w pomieszczeniu, gdzie pracuje dana osoba wynosi 0,1 mSv/h, a limit dawki dla tej osoby wynosi 20 mSv, to osoba ta powinna ukończyć pracę w ciągu 200 godzin.

Jeśli radionuklid dostanie się do organizmu

Wśród promieniotwórczych nuklidów uwalnianych do atmosfery po wypadku jądrowym znajdują się jod-131 i cez-137. Kobalt-60 wykorzystywany jest do napromieniowania żywności, antymon-122 stosuje się w obróbce metali, a rubid-88 do produkcji ogniw fotoelektrycznych. Technetu-99m używa się diagnostyce medycznej

opartej na technikach skanowania. Radon-222 jest obecny w wielu domach. Promieniotwórcze nuklidy są emitowane do środowiska z wielu różnych źródeł. Ponieważ mogą się dostać do naszego organizmu wraz z jedzeniem lub wdychanym powietrzem, szczególnie w miejscu pracy, ważne jest, aby wiedzieć jaka ilość danego radionuklidu spowoduje, że otrzymana dawka będzie odpowiadała zalecanemu rocznemu limitowi dawki promieniowania.

Jod-131, a łańcuch pokarmowy

Na skutek rozszczepienia jądra uranu w reaktorze jądrowym powstaje duża ilość jodu-131. Ponieważ jod w wysokiej temperaturze ma postać gazową, to po wybuchu jądrowym może on przeniknąć do środowiska.

Na szczęście okres połowicznego rozpadu dla jodu-131 wynosi jedynie 8 dni. Po ośmiu dniach jego aktywność spada o połowę, a po 16 dniach wynosi 1/4 pierwotnej wartości, zaś po 24 dniach - zaledwie 1/8. Jeśli po opadzie promieniotwórczym, promieniotwórczy jod dostał się do mleka w wyniku wypasania krów na pastwiskach, świeże mleko nie będzie uznane za bezpieczne do picia. Jednak z takiego mleka można będzie zrobić ser. Ponieważ produkcja sera jest procesem powolnym, trwającym wiele miesięcy, gdy ser w końcu będzie gotowy, jod już nie będzie aktywny, a więc ser będzie bezpieczny do spożycia.

Efektywny okres połowicznego rozpadu w organizmie

Fakt, że substancje promieniotwórcze stale ulegają rozpadowi oznacza, że opad promieniotwórczy nie pozostaje w środowisku na zawsze. Znajdujące się w tym opadzie substancje krótkożyciowe rozpadną się bardzo szybko, a substancje długo-życiowe – z czasem ulegną rozpadowi. Oznacza to również, że radioaktywność w organizmie, pochodząca ze źródeł sztucznych, będzie zanikała, o ile nie zostanie wchłonięta nowa porcja substancji promieniotwórczych.

Substancje promieniotwórcze, które dostały się do naszego organizmu usuwane są z niego szybciej niż wskazywałoby na to ich fizyczne tempo rozpadu. Są one usuwane nie tylko w wyniku promieniotwórczego rozpadu, ale także przez wydalanie. Skumulowany efekt

fizycznego okresu połowicznego rozpadu i wydalania jest nazywany efektywnym okresem połowicznego rozpadu.

Większość substancji promieniotwórczych „przechodzi” przez organizm stosunkowo szybko. Są jednak pewne dość rzadkie pierwiastki, które dostają się do jakiegoś narządu i próbują tam pozostać, np. rad, który osadza się w kośćcu. W tym przypadku tempo wydalania może być powolne, a efektywny okres połowicznego rozpadu może trwać kilkanaście lat. Substancja promieniotwórcza znajdująca się w organizmie jest źródłem dawki wewnętrznej.

Stężenie aktywności

Po opadzie promieniotwórczym stężenie aktywności w mleku może wynosić 100 Bq na litr, a w mięsie 300 Bq na kilogram. Oznacza to, że w jednym litrze mleka ulega rozpadowi 100 jąder na sekundę a w kilogramie mięsa zachodzi 300 rozpadów na sekundę. Przy takim lub niższym poziomie radioaktywności w mleku i mięsie można uznać, że nadają się one do spożycia. W wielu krajach górny limit stężenia aktywności artykułów żywnościowych wynosi dla niektórych radionuklidów około 1000 Bq na kilogram.

Stężenie radonu a rak płuc

Największą dawkę promieniowania ze źródeł naturalnych większość ludzi otrzymuje od radonu, naturalnego promieniotwórczego gazu powstającego w czasie rozpadu radu-226. Sam radon rozpada się na krótkożyciowe radionuklidy pochodne, które pozostają zawieszone w powietrzu. Kiedy radon zostanie wchłonięty wraz z wdychanym powietrzem, to zawieszone w powietrzu cząstki dostają się do płuc i stają się źródłem dawki wewnętrznej.

Na początku XX wieku wśród górników uranu narażonych na duże dawki radonu odnotowano zwiększoną zachorowalność na raka płuc, którą mógł spowodować radon lub inne czynniki, takie jak wdychanie pyłu z toksycznych rud lub wdychanie gazów pochodzących z materiałów wybuchowych.

Żadne badanie nie dało oczywistego dowodu na istnienie zależności pomiędzy radonem a rakiem płuc, ale ze względu na ryzyko, podejmuje się środki zaradcze, zmierzające do usunięcia tego gazu z budynków lub zmniejszenia jego stężenia.

Na otwartej przestrzeni stężenie radonu wynosi zwykle 10 Bq na metr sześcienny powietrza. W zamkniętym pomieszczeniu może osiągać wartość od 20 do 10 000 Bq na metr sześcienny, a nawet więcej.

W wielu krajach zaleca się, żeby stężenie radonu w nowych domach nie przekraczało 200 Bq na metr sześcienny powietrza. Jeśli średnia roczna przekracza 400 Bq na metr sześcienny zaleca się wykonanie odpowiednich instalacji wentylacyjnych, aby ten gaz usunąć.

Duże dawki

Duże dawki to takie dawki promieniowania, które przynajmniej sto lub tysiąc razy przekraczają dopuszczalne limity, albo znaczne dawki otrzymane w tak krótkim czasie, że spowodowałyby natychmiastowe skutki zdrowotne. Dawki promieniowania, które są na tyle duże, by spowodować ostre lub natychmiastowe skutki zdrowotne można otrzymać jedynie w czasie wojny jądrowej lub w czasie wypadku radiacyjnego, gdy dana osoba znajdzie się w pobliżu miejsca wypadku. Kontrolowane dawki, które stosuje się w czasie leczenia chorób nowotworowych mogą być również wystarczająco duże, by spowodować - w kalkulowane i akceptowane - ostre skutki zdrowotne, takie jak rumień. Bardzo duża dawka na całe ciało wynosząca 100 000 mSv powoduje 28 natychmiastową śmierć. Dawka 10 000 mSv może zabić, ale dopiero po kilku dniach lub tygodniach. Dawka około 1000 mSv, także uważana za dużą, może spowodować przemijające objawy choroby, lecz nie jest śmiertelna.

Ostre skutki dużych dawek

Prawdopodobieństwo, że ktoś zginie natychmiast od promieniowania jest bardzo małe. W całej historii świata zdarzyło się zaledwie kilka takich przypadków. 6 sierpnia 1945 roku po zrzuconiu pierwszej bomby atomowej, część ludności japońskiego miasta Hiroszima otrzymała zróżnicowane dawki promieniowania. Trzy dni później ten sam los spotkał wiele osób w Nagasaki. Te dwie bomby zabrały ponad 100 000 ofiar. Od tamtej pory już nigdy nie użyto bomb atomowych.

Śmiertelne dawki od 12 000 do 16 000 mSv otrzymali strażacy, którzy usiłowali ugasić pożar grafitu w rdzeniu reaktora jądrowego w Czarnobylu w kwietniu 1986 roku. Katastrofa czarnobylska jest jedynym wypadkiem w komercyjnej elektrowni jądrowej,

w którym ludzie zginęli na miejscu od promieniowania. W niektórych reaktorach badawczych i obiektach radiacyjnych służących do sterylizowania narzędzi chirurgicznych, zdarzyło się kilka wypadków, w których ludzie otrzymali śmiertelne dawki promieniowania.

Ostre skutki występują u każdego, kto otrzymał wystarczająco dużą dawkę. Istnieją wartości progowe dawek, które wywołują ostre skutki dla zdrowia. Dawki tego samego rzędu, rozłożone na kilka tygodni, miesięcy lub lata wywołują łagodniejsze skutki, lub nie wywołują ich wcale.

Duże dawki miejscowe

W niektórych wypadkach radiacyjnych, tylko część ciała narażona jest na promieniowanie. Zdarzyło się na przykład, że ktoś przez pomyłkę trzymał bardzo silne źródło promieniowania w dłoni, lub nieświadomie nosił je w kieszeni. Odpowiednio dobrana wiązka promieniowania stosowana w radioterapii intensywnie napromieniuje tylko niewielką powierzchnię skóry i małą część tkanek. W tych przypadkach, nawet duża dawka nie jest groźna dla życia, ponieważ żaden z ważnych narządów nie ulega uszkodzeniu. Duża dawka miejscowa powoduje jedynie miejscowe uszkodzenia, ale jelita, szpik kostny i centralny układ nerwowy będą funkcjonować jak do tej pory.

Wystąpi jednak miejscowe uszkodzenie skóry i znajdującej się pod nią tkanki. Pierwszym i najłagodniejszym objawem będzie przejściowe zaczerwienienie skóry, nazywane również rumieniem. Był to jeden z pierwszych symptomów jakie zaobserwowano, gdy w końcu XIX wieku, naukowcy i badacze celowo naświetlali swoje ręce promieniami X, aby poznać ich działanie. Zaczerwienienie skóry występowało po kilku godzinach od napromieniowania i znikło kilka dni później nie pozostawiając żadnych śladów.

Jednak narażenie skóry na silniejsze promieniowanie powoduje jej uszkodzenie ludzko podobne do oparzeń - z zaczerwienieniem, pęcherzami i otwartymi ranami. Jeśli dawka nie jest zbyt duża, rany zagoją się w ciągu kilku tygodni. Jeśli dawka jest dostatecznie duża, by zniszczyć wszystkie komórki skóry właściwej w kilku miejscach, gojenie będzie powolne, a na skórze pozostaną blizny. Jak zawsze przy leczeniu otwartych ran istnieje ryzyko powstania stanów zapalnych i komplikacji. W skrajnych przypadkach uszkodzenie może prowadzić do martwicy, tzn. obumarcia tkanki, a wówczas niezbędna jest jej amputacja.

Dawki otrzymane w ciągu życia, a także jednorazowe dawki mniejsze niż 1000 mSv nie spowodują żadnych ostrych objawów zdrowotnych. Jedynym możliwym skutkiem jest wzrost ryzyka zachorowania na raka w późniejszym okresie życia.

Biologiczne skutki jakie mogą spowodować dawki otrzymane na całe ciało w krótkim czasie (sekund, minut lub godzin) są następujące:

Poniżej 1000 mSv: Jednorazowa dawka nie wywoła żadnych zauważalnych objawów. Bez dozymetru lub dokładnej informacji o incydencie, dana osoba nie będzie nawet wiedziała, że została napromieniowana. Analizy krwi pokażą w ciągu kilku tygodni przejściowy spadek leukocytów czyli białych ciałek krwi do około 80% pierwotnych wskazań, ale w krótkim czasie wyniki wrócą do poprzedniego poziomu.

Okolo 2000 mSv: Jednorazowa dawka może wywołać lekkie objawy, takie jak: nudności, ból głowy lub wymioty po około dwóch godzinach od napromieniowania. Ponieważ ludzie reagują różnie, nie da się ustalić jednej wartości minimalnej dawki, po której wystąpią zauważalne objawy. Dawka 2000 mSv powoduje 50% spadek liczby zarówno limfocytów jak i trombo- cytów. W przypadku tych pierwszych spadek obserwowany jest w ciągu tygodnia, a w przypadku tych drugich - w ciągu trzech lub czterech tygodni. Wskazania wracają do normalnego poziomu stosunkowo szybko.

Okolo 3000 mSv: U wielu osób wystąpią najczęściej spotykane objawy choroby popromiennej, jeśli dawka wyniesie 3000 mSv lub więcej. Objawy te nie są charakterystyczne i przypominają symptomy wielu pospolitych chorób: w łagodnych przypadkach są to nudności, wymioty, zmęczenie i utrata łaknienia; w przypadkach ostrych - wymioty, biegunka i gorączka. Objawy takie mogą mieć również podłoże psychiczne. Szybkość pojawienia się symptomów fizycznych zależy od dawki i mocy dawki. Im większa dawka, tym wcześniej wystąpią objawy (w ciągu godzin lub dni). Po kilku dniach pacjent może poczuć się lepiej, lecz wkrótce pojawia się nawrót choroby z objawami, takimi jak: krwiste stolce, infekcje, odwodnienie, a także wypadanie włosów. Istnieje pewne ryzyko zgonu, ale osoby które przeżyły, zwykle wracają do zdrowia w ciągu tygodni lub miesięcy.

4000-6000 mSv: Objawy pojawiające się po kilku tygodniach po napromieniowaniu są spowodowane uszkodzeniem błony śluzowej jelit i/lub tkanki szpiku kostnego. Przy takiej dawce uszkodzenie może przekraczać zdolności regeneracyjne organizmu. Dawka 4000 mSv stanowi istotne zagrożenie dla życia, 5000 mSv oznacza prawdopodobny zgon, a 6000 mSv bez intensywnej opieki medycznej oznacza niemal pewną śmierć.

Uszkodzenie jelit utrudnia przyjmowanie i wchłanianie płynów oraz odżywek, a leczenie polega m.in. na uzupełnianiu płynów. Uszkodzenie szpiku kostnego zmienia na tyle obraz krwi, by wywołać poważne skutki dla zdrowia. Poziom limfocytów i trombocytów drastycznie spada oraz występują krwotoki wewnętrzne. Znacznie obniża się również poziom innych rodzajów białych krwinek, granulocytów, co zwiększa ryzyko infekcji.

Pacjent musi być chroniony przed infekcjami. Próbowano, z różnym skutkiem, leczenia polegającego na transfuzji krwi i przeszczepach szpiku kostnego.

Powyżej 6000 mSv: Po otrzymaniu jednorazowej dawki powyżej 6000 mSv, szanse na przeżycie więcej niż kilku tygodni są niewielkie. Jeśli dawka przekroczy 10 000 mSv, błona śluzowa jelit zostanie uszkodzona nieodwracalnie, powodując śmierć z odwodnienia w ciągu dwóch tygodni. Jeśli dawka będzie bliska 50 000 mSv, uszkodzony zostanie centralny układ nerwowy. Niemal natychmiast wystąpią wymioty i skurcze, po których w ciągu kilku godzin nastąpi utrata przytomności, a w ciągu kilku dni - zgon.

Inne uszkodzenia spowodowane dużymi dawkami

Poza chorobą popromienną spowodowaną bardzo dużymi dawkami otrzymanymi na całe ciało i uszkodzeniem skóry w wyniku jej napromieniowania, należy wspomnieć o kilku szczególnych przypadkach. Jeśli gruczoły rozrodcze zostaną napromieniowane dawką, która byłaby śmiertelna, gdyby została zaaplikowana na całe ciało, promieniowanie spowoduje czasową lub trwałą niepłodność.

Podczas radioterapii, jeśli złośliwy guz zostanie poddany silnemu napromieniowaniu, które powtarzane jest codziennie przez kilka tygodni, to uszkodzeniu mogą ulec otaczające go zdrowe tkanki.

Długoterminowe skutki dużych dawek

Pierwszymi ludźmi, których populacja została intensywnie napromieniowana byli Japończycy - ofiary bomb atomowych zrzuconych na Hiroszimę i Nagasaki w 1945 roku. Stan zdrowia napromieniowanych osób, które ocalały po wybuchu, w kolejnych dziesięcioleciach był kontrolowany z uwagi na zwiększone ryzyko pojawienia się chorób nowotworowych.

Badania wykazały nieznaczny, lecz wyraźny wzrost zachorowań na niektóre rodzaje raka, takie jak białaczka, rak tarczycy i rak sutka u kobiet. W normalnych warunkach na milion osób choroba nowotworowa wystąpi u dwudziestu tysięcy. Liczba dodatkowych przypadków zachorowań wśród osób ocalałych po zbombardowaniu Hiroszimy i Nagasaki, wynosiła kilkaset w przypadku pospolitych rodzajów raka i kilkadziesiąt w przypadku rzadkich nowotworów. Liczba zachorowań wzrosła o 6 procent. Obecnie badania są kontynuowane, lecz dane liczbowe nie uległy istotnej zmianie.

Poza japońskimi ofiarami bomb atomowych, inne stosunkowo liczne grupy osób otrzymały dawki promieniowania dostatecznie duże, by spowodować zauważalny wzrost zachorowań na raka. Byli to lekarze radiolodzy pracujący sto lat temu, zanim wprowadzono właściwe limity dawek; pacjenci w leczeniu których stosowano radioterapię, a którzy później zachorowali na raka skóry; niektóre grupy górników pracujących w kopalniach, zanim doceniono znaczenie wentylacji przy usuwaniu radonu, którzy zachorowali na raka płuc oraz grupy kobiet zatrudnione na początku XX wieku przy malowaniu cyfr na tarczach zegarków farbą zawierającą rad. Kobiety śliniac pędzelki połykały w ten sposób rad, który w wielu przypadkach powodował zachorowania na raka kości.

W 1986 roku, opad promieniotwórczy po wypadku w elektrowni jądrowej w Czarnobylu spowodował wchłonięcie dużej ilości promieniotwórczego jodu, szczególnie przez dzieci, co spowodowało większą niż normalnie zachorowalność na raka tarczycy. Odnotowana do tej pory liczba przypadków przekracza 1000.

Ponieważ wszystkie wymienione wyżej grupy osób nie miały dozymetrów, podjęto próby oszacowania dawek, które otrzymały. Kiedy oszacowano wielkość dawek i poznano liczbę dodatkowych zachorowań na raka, można było ocenić zwiększone ryzyko na jednostkę dawki. Oznacza to, że w przypadku intensywnie napromieniowanych populacji, możliwe było określenie współczynników ryzyka na podstawie zaobserwowanych skutków. Obliczono oddzielne współczynniki ryzyka dla każdego rodzaju raka i ryzyko całkowite.

Ilościowa ocena ryzyka długoterminowego

Wyznaczając współczynniki ryzyka wzięto pod uwagę przypadki wykrytych szkodliwych skutków dużych dawek promieniowania. Jednak wcale nie jest oczywiste, że współczynniki te można zastosować także do małych dawek. Jak zobaczymy, obliczenie ryzyka małych dawek promieniowania wymaga zastosowania modeli ryzyka.

Współczynniki ryzyka często są wyrażane jako prawdopodobieństwo zachorowania na śmiertelną chorobę nowotworową po napromieniowaniu dawką 1000 mSv. Zgodnie z zaleceniami ICRP, współczynnik ryzyka dla białaczki wynosi 0,005 przy dawce 1000 mSv.

Zatem w przypadku osoby, która otrzymała jednorazowo dawkę 1000 mSv ryzyko zgonu na białaczkę wywołaną promieniowaniem wyniesie 0,5%, czyli jest to niewielkie ryzyko. Jeśli współczynnik ryzyka jest prawidłowy, oznacza on również, że w każdej liczącej 1000 osób grupie narażonej na dawkę promieniowania równą 1000 mSv, szacowana liczba przyszłych zachorowań na białaczkę wyniesie 5.

Tych pięć przypadków wystąpi dodatkowo, oprócz 200 do 250 naturalnych przypadków zachorowań na raka, których zgodnie ze statystyką można spodziewać się w tej samej grupie.

ICRP zaleciła stosowanie podanych w tabeli współczynników ryzyka nieuleczalnych przypadków raka dla całej populacji.

Kiedy weźmiemy pod uwagę wszystkie nieuleczalne przypadki raka, ważniejsze niż poszczególne współczynniki ryzyka, jest ryzyko całkowite, obliczone przez dodanie wszystkich współczynników ryzyka dla różnych, powodujących zgon nowotworów. Całkowite prawdopodobieństwo zachorowania na nieuleczalny rodzaj raka wynosi w przybliżeniu 0,05 po napromieniowaniu dawką 1000 mSv. Inaczej mówiąc, na każde 1000 osób napromieniowanych dawką 1000 mSv, wystąpi około 50 dodatkowych zachorowań na śmiertelną chorobę nowotworową.

Należy podkreślić, że dawki promieniowania poniżej wartości progowej w przypadku ostrej, natychmiastowej choroby popromiennej nie powodują innych niż nowotwór skutków zdrowotnych u napromieniowanej osoby. Wszystkie inne ewentualne objawy u pacjenta muszą mieć inną przyczynę.

Teoria powstawania raka wywołanego promieniowaniem

Jeśli nawet duża dawka promieniowania oddziałuje na obiekt nieożywiony, to w strukturze tego materiału nie zachodzi istotna zmiana. Jednak kiedy promieniowanie pada na krytyczny punkt żywej komórki, to w długim okresie może spowodować uszkodzenie tkanki. W zasadzie nawet najmniejsza ilość promieniowania jonizującego może doprowadzić do zmian w ważnej cząsteczce, a to z kolei może wpłynąć na zachowanie całej komórki. Prawdopodobieństwo, że niewielkie napromieniowanie wywoła chorobę nowotworową jest jednak małe. Komórki w organizmie są stale odbudowywane. Promieniowanie przenikające

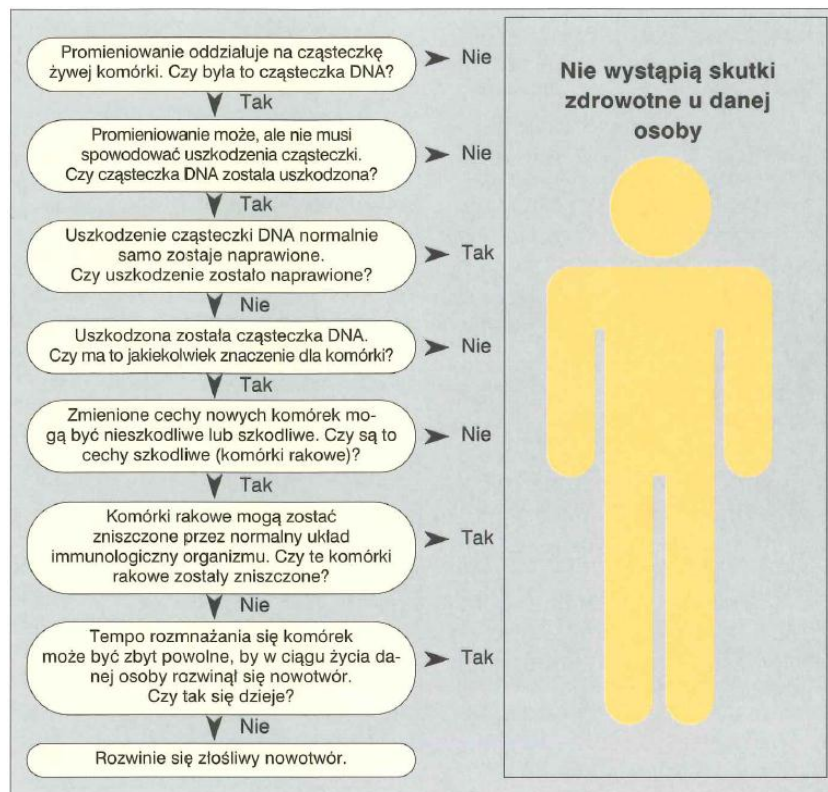
przez nasz organizm dzisiaj nie napotka tych samych komórek, które wchłonęły promieniowanie rok temu. Dlatego można sądzić, że jednorazowa duża dawka może być śmiertelna, podczas gdy ta sama dawka rozłożona w czasie na okres całego życia, prawdopodobnie nie wywoła żadnych objawów choroby.

Od uszkodzenia DNA do raka

Małe dawki promieniowania mogą uszkodzić cząsteczki pojedynczych komórek, ale pojedyncze uszkodzone komórki nie mają wpływu na zdrowie.

Cząsteczka DNA (kwasu dezoksyrybonukleinowego) zawiera informację genetyczną i kontroluje powstawanie komórek poszczególnych typów. Jedynym sposobem w jaki małe dawki promieniowania mogą wywołać u kogoś skutki zdrowotne jest spowodowanie ściśle określonego uszkodzenia w ważnych cząsteczkach DNA.

Jeśli komórka zawierająca uszkodzoną cząsteczkę DNA będzie nadal wytwarzać nowe komórki, uszkodzenie będzie cały czas powielane w każdej nowej komórce. W wyniku tego może powstać grupa komórek zachowujących się w nienormalny sposób. Jeśli będzie to trwało długo, może mieć niekorzystny wpływ na zdrowie. Zanim jednak uszkodzona cząsteczka DNA spowoduje powstanie choroby nowotworowej musi dojść do zerwania wielu występujących w niej wiązań (mostków).



Promieniowanie a rak

Rak zawsze pozostanie rakiem. Promieniowanie nie powoduje nowych czy specyficznych rodzajów raka. Rak płuc spowodowany paleniem tytoniu jest pod względem medycznym identyczny z rakiem płuc wywołanym przez wdychanie zanieczyszczonego powietrza lub promieniotwórczego gazu. Jeśli pacjent choruje na raka, nie ma absolutnej pewności, że przyczyną jego powstania było promieniowanie. Nawet jeśli taki pacjent otrzymał dawkę skuteczną równą 500 mSv, co wielokrotnie przekracza roczny dopuszczalny limit dawki dla osób narażonych zawodowo na promieniowanie, to i tak w tym przypadku jest 10 razy bardziej prawdopodobne, że nowotwór rozwinął się z innej przyczyny niż promieniowanie.

Z drugiej strony, jeśli określony rodzaj raka pojawia się u wielu napromieniowanych osób w wieku, gdy normalnie występuje rzadko, wtedy trzeba wyciągnąć wniosek, że przyczyną było prawdopodobnie napromieniowanie. Tak właśnie było w przypadku raka tarczycy u dzieci narażonych na działanie promieniotwórczego jodu z opadu promieniotwórczego po katastrofie w Czarnobylu.

Czy małe dawki mogą zaszkodzić?

Małe dawki to normalnie otrzymywane przez ludność dawki od naturalnego promieniowania tła lub prześwietleń rentgenowskich oraz dawki, które mieszczą się w limitach dla pracowników albo te, które je przekraczają, ale nie więcej niż dziesięciokrotnie. Jest oczywiste, że tak długo jak te limity dawek nie zostaną przekroczone, nie pojawią się natychmiastowe skutki zdrowotne ani nie wystąpią objawy choroby.

Modele ryzyka

W zasadzie nawet pojedynczy kwant promieniowania może spowodować taką zmianę w ważnej cząsteczce, że komórka ulegnie uszkodzeniu, a uszkodzenie to zostanie powielone przy podziale komórki. Zatem teoretycznie istnieje pewne ryzyko, lecz w rzeczywistości nie udało się zaobserwować żadnych skutków zdrowotnych wywołanych przez małe dawki.

Aby ocenić ryzyko związane z małymi dawkami trzeba zatem użyć teoretycznych modeli ryzyka.

Model ryzyka jest to wykres, w którym na osi poziomej zaznaczono dawkę promieniowania, a na osi pionowej - ryzyko. Zależność pomiędzy dawką a ryzykiem ilustruje linia prosta lub krzywa. Jest wiele modeli ryzyka i każdy ma swoich zwolenników. Wszystkie modele są zgodne jeśli dotyczą dużych dawek. Różnice pojawiają się wówczas, gdy rzecz dotyczy małych dawek.

Najpowszechniej stosowanym modelem ryzyka jest model liniowy, zgodnie z którym określona dawka promieniowania zawsze zwiększa ryzyko o tę samą wartość. Model ten, wykorzystywany jest w analizach bezpieczeństwa i ochronie przed promieniowaniem, a więc zawsze wtedy, gdy trzeba ludziom zapewnić bezpieczeństwo. Niektórzy eksperci uważają jednak, że przecenia on ryzyko późnych skutków dla większości rodzajów promieniowania w obszarze niskich dawek.

Zgodnie z liniowo-kwadratowym modelem ryzyka, ryzyko nie jest linią prostą, lecz krzywą. Przy małych dawka krzywa jest łagodna, ale w miarę wzrostu dawek staje się coraz bardziej stroma. Okazuje się, że zarówno praktyczne jak i teoretyczne testy potwierdzają ten model.

Niektórzy badacze posuwają się o krok dalej i przekonują, że ryzyko pochodzące od małych dawek jest praktycznie zerowe. Zgodnie z modelem wartości progowych, jedynie dawki przekraczające określone granice tolerancji byłyby szkodliwe. Jednym z wysuwanych przez nich argumentów jest fakt, że zachorowania na raka wcale nie są częstsze na terenach, gdzie tło promieniowania wielokrotnie przewyższa wartość średnią. Zwolennicy tego modelu mocno wierzą w zdolności regeneracyjne organizmu.

Kilku „samotnych proroków”, zwolenników ponadliniowego modelu ryzyka całkowicie przeciwstawia się temu pogładowi utrzymując, że małe dawki promieniowania są bardziej niebezpieczne niż duże dawki. Trudno o dowody na poparcie takiego modelu. Jednym z argumentów podważających jego wiarygodność jest to, że duże różnice w wartościach tła promieniowania nie powodują istotnych skutków dla zdrowia.

Zgodnie z modelem hormezy, niewielka ilość promieniowania jest korzystna dla zdrowia. Jest to zjawisko, które sprawdza się w przypadku wielu substancji, w tym leków: duże ilości są trujące, ale małe są korzystne. Duża dawka promieniowania ultrafioletowego śmiertelnie poparzyłaby człowieka, lecz unikanie słońca jest niekorzystne dla jego zdrowia. Zwolennicy modelu hormezy mówią, że ludzie, którzy mieszkają w rejonach górzystych,

na dużych wysokościach, rzadziej niż inni chorują na raka. To prawda, ale niekoniecznie jest to prawidłowe rozumowanie, bowiem wiele przyczyn a nie jedna, wywołują chorobę nowotworową.

Długoterminowe skutki małych dawek

Długoterminowe skutki biologiczne małych dawek promieniowania są tak minimalne, że nawet starannie prowadzone badania epidemiologiczne nie były w stanie ich wykazać. Na przykład nie wiadomo ile przypadków raka, jeśli takie w ogóle są, spowodowane jest naturalnym tłem promieniowania.

Liczne badania nad umieralnością przeprowadzono na świecie na dużych grupach osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie. Przeanalizowano zarówno przyczyny śmierci, jak i dokumentację dotyczącą indywidualnego narażenia na promieniowanie, obejmującą całe życie zawodowe badanych. Próbowano ustalić zależność między dawkami promieniowania a przyczyną śmierci, jednak przy małych dawkach takiej zależności nie wykryto.

Badano również przyczyny śmierci w grupie osób nie narażonych na promieniowanie i porównano je z danymi statystycznymi grupy osób pracujących z promieniowaniem. Okazało się, że wśród pracowników, którzy otrzymywali małe dawki zgonu na raka nie były częstsze niż wśród innych pracowników, narażonych na duże dawki. Istnieją jednak dane statystyczne świadczące o zwiększonym ryzyku zachorowania na białaczkę wśród pracowników otrzymujących duże dawki promieniowania.

Chociaż ryzyko związane z małymi dawkami jest zbyt małe, aby spowodować zauważalny wzrost w statystykach chorób nowotworowych, trzeba uznać, że mogą one zwiększać ryzyko zachorowania na raka. W krajach uprzemysłowionych na raka umiera 20-25% ludności, ponieważ jednak liczba ta waha się w poszczególnych latach, nie jest możliwe potwierdzenie lub wykluczenie roli promieniowania w spowodowaniu choroby nowotworowej. Można natomiast powiedzieć, że ryzyko nie dające zauważalnych skutków można bez obaw pominąć.

Uwarunkowania psychosomatyczne

W wyniku opadu promieniotwórczego, po wypadku w Czarnobylu, nikt w Europie Zachodniej ani w Skandynawii nie otrzymał natychmiastowej dawki promieniowania

przekraczającej 0,1 mSv. Jednak wiele osób mówiło, że to z powodu promieniowania cierpieli na zaburzenia żołądkowe, bóle głowy, nudności, niestrawność, biegunkę i bezsenność.

Nie ma powodu wątpić w pojawienie się takich objawów, jednak należy zaprzeczyć twierdzeniom, że były one biologicznym skutkiem promieniowania. Lęk, obawy, niepokój i brak dostatecznej wiedzy mogą powodować przejściowe fizyczne objawy choroby. Napięcie i stres psychiczny wywołują niepokój, bezsenność, bóle głowy i żołądka. Osoby, które zostały odpowiednio poinformowane i rozumiały sytuację nie miały takich objawów, chociaż były w tym samym stopniu narażone na opad promieniotwórczy. Możliwe jest również, że nie było żadnego związku, nawet psychosomatycznego, pomiędzy tymi objawami a promieniowaniem. Ludzie, którzy czuli się chorzy z jakiegokolwiek powodu w momencie awarii mogli sądzić, że ich choroba została wywołana przez promieniowanie, nawet jeśli tak nie było.

Podsumowując: jeśli po umiarkowanym napromieniowaniu dana osoba jest chora, objawy choroby nie zostały wywołane przez promieniowanie, lecz obawą przed nim lub przypadkowy zbieg okoliczności sprawił, że wystąpiły akurat w tym momencie.

Dawki promieniowania sięgające nawet kilkuset mSv rocznie, czyli dziesięciokrotnej wartości dopuszczalnych limitów dla pracowników, nigdy nie spowodują żadnych ostrych objawów chorobowych. Pacjenci, którzy czują się chorzy, mogą uważać, że ich objawy są biologicznymi skutkami promieniowania, ale nie mają racji. Jeśli nie zostali napromieniowani dużą dawką na skutek wypadku lub w czasie radioterapii po prostu się mylą.

Aby wyleczyć taką osobę trzeba znaleźć inne przyczyny choroby. Prawdopodobnie można postawić normalną diagnozę lekarską i zastosować konwencjonalne leczenie. Jeśli objawy mają charakter psychosomatyczny i zostały wywołane lękiem przed promieniowaniem, pacjentom należy przedstawić fakty: że małe dawki promieniowania nie wywołują objawów choroby. Wszelkie sugestie ze strony pracowników służby zdrowia, że objawy te związane są w jakiś sposób z promieniowaniem, mogą wywołać niepotrzebny niepokój i pogorszyć samopoczucie pacjenta.

Pozytywna niewiedza

Naukowcy, pracujący w dziedzinie radiobiologii nie porozumieli się jeszcze co do tego, który z modeli ryzyka jest prawidłowy w przypadku małych dawek. Dzieje się tak dlatego, ponieważ nie zaobserwowano i nie da się zaobserwować żadnych rzeczywistych

skutków przy niskich poziomach promieniowania. Nie można odróżnić możliwych dodatkowych przypadków raka wywołanych promieniowaniem od wszystkich naturalnych przypadków. Skoro nawet najlepsi eksperci na świecie nie są w stanie obliczyć ryzyka ze strony małych dawek promieniowania, jak zatem można oczekiwać od laików miarodajnej oceny? Prosta odpowiedź brzmi - nie można.

W przypadku promieniowania, brak możliwości wypracowania wskaźników ryzyka na podstawie obserwacji musi w rzeczywistości oznaczać, że ryzyko jest stosunkowo małe i jest to rzecz pozytywna. Nie jesteśmy w stanie poznać tego ryzyka. Możemy jedynie przyjmować pewne założenia.

Zatem można stwierdzić, że ryzyko zdrowotne ze strony małych dawek jest tak minimalne, że żadna metoda badawcza, oparta na obserwacji, nie jest w stanie odróżnić go od zera.

Energia jądrowa

Większość ludzi obawia się wypadków jądrowych. Tak samo obawia się ich przemysł jądrowy, lecz nie do końca z tych samych powodów co społeczeństwo. Ludność głównie obawia się wypadków (w swoim własnym kraju lub krajach sąsiednich), które mogłyby mieć wpływ na jej życie. Przemysł jądrowy obawia się każdego wypadku na świecie. Jego przedstawiciele są przekonani, że wypadek gdziekolwiek oznacza możliwość zdarzenia się wypadku wszędzie. Innymi słowy - nieważne, gdzie zdarzy się wypadek, bo i tak ucierpi na tym wiarygodność sektora jądrowego na całym świecie, a tego nie życzyłyby sobie, ani przemysł jądrowy, ani międzynarodowe organizacje, takie jak MAEA. Dlatego społeczność międzynarodowa dokłada wielu starań, by osiągnąć poprawę bezpieczeństwa, między innymi zamykając niektóre mniej zaawansowane technologicznie elektrownie.

Rozszczepianie atomu: wytwarzanie energii jądrowej

Wytwarzanie energii jądrowej opiera się na rozszczepianiu uranu-235, najważniejszego w grupie jąder rozszczepialnych, które można rozszczepić bombardując je neutronami. Kiedy neutron uderza w rozszczepialne jądro, takie jak uran-235, jądro

rozpada się na dwa nowe jądra. Podczas rozszczepienia uwalnia się ciepło, promieniowanie gamma i dwa lub trzy nowe neutrony. W reaktorze jądrowym stworzono takie warunki, że kiedy jakieś jądro ulega rozszczepieniu, to jeden z uwolnionych neutronów uderza z odpowiednią prędkością w kolejne rozszczepialne jądro uranu i powoduje jego rozszczepienie itd. Taka reakcja łańcuchowa doprowadza do podgrzania paliwa jądrowego. Dwa nowe jądra wytworzone w czasie rozszczepienia są nazywane produktami rozszczepienia.

Uwolnienia substancji promieniotwórczych

Produkty rozszczepienia, które gromadzą się w paliwie jądrowym podczas pracy reaktora stanowią największe potencjalne zagrożenie spowodowane przez reaktor jądrowy lub zakłady przetwarzające wypalone paliwo jądrowe. Napromieniowanie paliwa jądrowego w reaktorze

powoduje olbrzymi wzrost ilości substancji promieniotwórczych, które mogłyby zostać uwolnione do środowiska w czasie wypadku jądrowego. Ostrożne schładzanie i odizolowanie napromieniowanego paliwa jest zatem sprawą podstawową, bowiem w razie awarii systemów bezpieczeństwa elektrowni jądrowej - co jest mało prawdopodobne - część z tych produktów rozszczepienia może zostać uwolniona do atmosfery.

Ciągły monitoring

Ponieważ sytuacja w elektrowni jądrowej jest dokładnie monitorowana, obecnie można z dużym wyprzedzeniem rozpoznać warunki, które mogą spowodować uwolnienie promieniotwórczości i podjąć odpowiednie przeciwdziałania. Skomputeryzowane urządzenia monitorujące komin stale dostarczają informacje o poziomie emisji i natychmiast alarmują pracowników elektrowni w razie przekroczenia ustalonych bezpiecznych wartości.

W wielu krajach poziom promieniowania w środowisku jest ciągle monitorowany w setkach miejsc przez całą dobę, czasami przez służby pożarnicze lub obrony cywilnej, a niekiedy przez gęstą sieć nowoczesnych systemów automatycznego pomiaru promieniowania. System taki jest w stanie wykryć nawet najmniejsze odchylenie od normy, gdy tylko ono wystąpi. Bardzo czule systemy pomiaru promieniowania umieszczone w środowisku mogą nie tylko wykryć najmniejszą nawet zmianę w wartościach

promieniowania, lecz także określić jaki materiał promieniotwórczy ją spowodował. Na przykład próby z bronią jądrową - przeprowadzane na drugiej półkuli - można wykryć często na podstawie śladowej ilości promieniotwórczego jodu w atmosferze.

Widmo energetyczne promieniowania pozwala nam stwierdzić, jakie substancje zawiera opad promieniotwórczy, a niekiedy również określić jakie zdarzenia lub obiekt były źródłem emisji.

Skutki wypadku jądrowego

Poważny wypadek jądrowy może spowodować przedostanie się gazowych i lotnych nuklidów promieniotwórczych z paliwa do drugiego obiegu chłodzenia reaktora. W razie nieszczelności obudowy bezpieczeństwa może nastąpić również uwolnienie do atmosfery, a materiał promieniotwórczy zostanie uniesiony przez wiatr i rozproszony. Niektóre radionuklidy osadzą się na powierzchni ziemi. Poważny wypadek może spowodować duże lokalne skażenie w promieniu dziesiątków kilometrów od obiektu. Dlatego jest możliwe, że ludzie, którzy mieszkają w innym kraju lub regionie będą narażeni na zbyt duże promieniowanie spowodowane takim wypadkiem.

Ryzyko dużego napromieniowania można zmniejszyć stosując tabletki jodowe, ograniczając spożycie określonych produktów spożywczych, chroniąc się w zamkniętych pomieszczeniach lub przeprowadzając stałą bądź tymczasową ewakuację ludności na tereny nieskażone.

Stosowanie tabletek jodowych

Jeśli paliwo jądrowe ulegnie uszkodzeniu, zostanie uwolniony gazowy promieniotwórczy jod, który może przeniknąć do środowiska, najpierw w formie skażenia powietrza, następnie jako opad promieniotwórczy. Jeśli jod dostanie się do organizmu człowieka, na przykład wraz z wdychanym powietrzem, umiejscawia się w gruczole tarczycy, gdzie pozostanie przez kilka dni lub tygodni. W tym czasie dawka promieniowania może uszkodzić gruczoł tarczycy lub kilka lat później spowodować zachorowanie na raka.

Jeśli zdarzy się poważny wypadek jądrowy, władze odpowiedzialne za ochronę radiologiczną mogą zalecić podanie mieszkańcom tabletek jodowych. Tabletka jodowa zapewnia ochronę tarczycy przed prawdopodobnym napromieniowaniem spowodowanym wchłonięciem promieniotwórczego jodu.

Tarczycy może wchłonąć tylko ograniczoną ilość jodu. Jeśli tabletkę jodową podamy szybko po wypadku jądrowym, to tarczycy wchłonie stabilny (niepromienio- twórczy) jod zanim dotrze do niej jod promieniotwórczy. Jod nie jest kumulowany w żadnym innym narządzie. Dlatego promieniotwórczy jod, zostanie szybko wydany z organizmu nie powodując istotnych skutków dla zdrowia.

Monitorowanie opadu promieniotwórczego

Jest bardzo ważne, aby po wystąpieniu opadu promieniotwórczego zmierzyć poziom promieniowania za pomocą ręcznego radiometru. Aby pomiary można było porównać z pomiarami wykonanymi przez inne osoby w innych miejscach, należy wykonywać je na otwartej przestrzeni na wysokości około 1 metra nad ziemią.

Pomiarów nie przeprowadza się przy ścianie domu ani pod dachem czy pod drzewami, ponieważ wtedy wartości te będą zbyt niskie, ani bezpośrednio przy gruncie lub wodzie stojącej, ponieważ będą one zbyt wysokie. Wykonane pomiary mogą potwierdzić, czy wcześniej podjęte decyzje, takie jak: pozostanie w pomieszczeniach, ograniczenia w spożyciu produktów żywnościowych, podanie tabletek jodowych lub ewakuacja powinny być podtrzymane lub zmienione.

Mierzenie opadu promieniotwórczego – co oznaczają wskazania radiometru?*
0,0001 mSv/h (0,1 mikroSv/h) Wskazanie normalne. Tło promieniowania zazwyczaj wynosi 0,0001 do 0,0002 mSv/h (lub 0,1 do 0,2 mikroSv/h).
0,001 mSv/h (1 mikroSv/h) Poziom promieniowania na zewnątrz wyraźnie wzrósł, sytuacja odbiega od normy. Kontrola radiologiczna kraju będzie wzmożona.
0,01 mSv/h (10 mikroSv/h) Poważny wzrost poziomu promieniowania wskazuje, że dzieje się coś złego. Wartość odczytu wskazuje na duży opad promieniotwórczy.
0,1 mSv/h (100 mikroSv/h) Uwaga! Możliwość wystąpienia zagrożenia promieniowaniem. Władze będą musiały ostrzec ludność. Praktycznie ludność informuje się przy znacznie mniejszych wartościach.
1,0 mSv/h (1000 mikroSv/h) Sytuacja awaryjna! Należy niezwłocznie podjąć działania w celu ochrony ludności. Przede wszystkim każdy powinien pozostać w pomieszczeniu.
<small>*Wskazania radiometru na wysokości 1 m na otwartej przestrzeni.</small>

Wypadek czy incydent jądrowy?

Aby dać laikom bliższe rzeczywistości wyobrażenie o potencjalnych zagrożeniach związanych ze zdarzeniami jądrowymi, wprowadzono Międzynarodową Skalę Zdarzeń Jądrowych (ang. International Nuclear Event Scale - INES).

Skala INES

Skala jest stosowana do wszystkich instalacji jądrowych, np. zakładów przetwarzania paliwa jądrowego, magazynów paliwa oraz niektórych instalacji wojskowych, jak również elektrowni jądrowych. Pod pewnymi względami skala INES przypomina skalę Richtera stosowaną podczas trzęsień ziemi.

Istnieją ważne powody, by każdy, zwłaszcza osoby pracujące z promieniowaniem, przestudiowały skalę INES, zrozumiały jej znaczenie i stosowały prawidłową terminologię. Nazywane czasami wielką awarią zdarzenie w elektrowni jądrowej odległej o wiele kilometrów, może być tylko uszkodzeniem generatora sklasyfikowanym jako poziom 1 w skali INES. W tych okolicznościach nie ma potrzeby nazywać tego zdarzenia awarią, wpadać w panikę i siać niepokój.

Zawsze najważniejsze jest, aby tam gdzie faktycznie wystąpiło zagrożenie, każde ostrzeżenie zostało potraktowane poważnie bez narażania ludzi na niepotrzebne ryzyko.

Skala INES	
Poziom 0 – Odstępstwo	Bez znaczenia dla bezpieczeństwa.
Poziom 1 – Anomalia	Anomalia naruszająca zatwierdzone warunki eksploatacyjne.
Poziom 2 – Incydent	Znaczne skażenie wewnątrz obiektu i / lub nadmierne narażenie pracownika.
Poziom 3 – Poważny incydent	Poważne skażenie i / lub ostre skutki zdrowotne u pracownika. Bardzo małe uwolnienie substancji promieniotwórczych do środowiska.
Poziom 4 – Awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem	Znaczne uszkodzenie rdzenia reaktora i / lub radiologicznych barier; napromieniowanie pracownika dawką śmiertelną.
Poziom 5 – Awaria z zagrożeniem poza obiektem	Poważne uszkodzenie rdzenia reaktora i / lub radiologicznych barier. Ograniczone uwolnienie; prawdopodobnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie planowanych przeciwdziałań.
Poziom 6 – Poważna awaria	Znaczne uwolnienie; prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie planowanych przeciwdziałań.
Poziom 7 – Wielka awaria	Wielkie uwolnienie; rozległe skutki zdrowotne i w środowisku.

Czarnobyl: studium przypadku

26 kwietnia 1986 roku w elektrowni jądrowej w Czarnobylu miała miejsce katastrofa, która odmieniła życie tysięcy ludzi.

Analiza przebiegu wypadku nie jest celem niniejszego rozdziału. Nie jest nim też ocena aspektów bezpieczeństwa typu reaktora, wiedzy, umiejętności czy działań pracowników, decyzji podjętych przez władze, czy skutków prawnych. Nie podejmuje się tu próby przeanalizowania społecznych, ekonomicznych czy politycznych reperkusji wypadku.

Celem tego rozdziału jest pokazanie rzeczywistych skutków uwolnienia substancji promieniotwórczych dla zdrowia oraz skomentowanie wielu stwierdzeń i opinii, które wypowiedziano na temat skutków promieniowania dla miejscowej ludności i osób mieszkających na odległych terenach.

Wypadek w Czarnobylu zdarzył się na skutek przegrzania paliwa jądrowego, co spowodowało pożar grafitu w rdzeniu reaktora. Niemożliwe jest ugaszenie tysięcy ton płonącego grafitu, więc pożar trwał 10 dni, mimo że zrobiono wszystko, by go ugasić. Pożar zniszczył znaczną część paliwa, a promieniotwórcze produkty rozszczepienia zostały wyniesione wraz z ulatniającymi się gazami na wysokość ponad 1000 m. Tam się rozproszyły i spadły na ziemię w postaci suchego bądź mokrego opadu. W wyniku dwóch chemicznych eksplozji, substancje promieniotwórcze zostały również wyrzucone na dachy budynków elektrowni i do środowiska.

Ofiary wypadku

Dwie osoby zginęły w czasie wybuchu i pożaru, trzecia - zmarła prawdopodobnie z powodu zatoru tętnicy wieńcowej. Na skutek ostrej choroby popromiennej w ciągu trzech miesięcy od wypadku zmarło również 28 strażaków. Ogółem 31 osób straciło życie w pierwszej fazie katastrofy, otrzymując dawki od 4000 do 16 000 mSv.

W czasie pożaru wiele osób zostało napromieniowanych dużymi dawkami lub odniosło obrażenia. Poza przypadkami wspomnianymi powyżej 237 osób trafiło do szpitala. Później u 134 osób wykryto ostrą chorobę popromienną. Wszyscy zostali wyleczeni i opuścili szpital w ciągu kilku tygodni lub miesięcy.

Wszystkie fakty i liczby podane tutaj zostały przedstawione na międzynarodowej konferencji zwołanej przez Światową Organizację Zdrowia (WHO), MAEA i Unię Europejską w Wiedniu w 1996 r., w celu przedyskutowania zdrowotnych aspektów wypadku.

Procedury awaryjne

Wkrótce po wypadku podjęto decyzję o ewakuacji wszystkich osób mieszkających w promieniu 30 kilometrów od elektrowni. Około 116 tysięcy osób opuściło swoje domy.

Chociaż sytuacja ta była tragedią dla dotkniętych nią rodzin, nie była ona niczym wyjątkowym, bowiem podobne ruchy ludności są wymuszane przez zjawiska naturalne, takie jak powódzie i trzęsienia ziemi. Od tego czasu wiele osób powróciło na tereny z których byli ewakuowani.

Po wypadku bardzo dużo ludzi zatrudniono lub skierowano do usuwania materiału promieniotwórczego, który na skutek dwóch wybuchów został rozrzucony na terenie elektrowni i poza nią. Budynki wokół zniszczonego reaktora również trzeba było „oczyścić”, a glebę zrekultywować. Do tej pracy zaangażowano około 650 000 do 800 000 osób. Informacje dotyczące liczby zatrudnionych różnią się w zależności od zdefiniowania zadań i dokumentacji, ale wiadomo, że w latach 1986-87 około 200 000 „likwidatorów” otrzymało przeciętnie dawkę 100 mSv.

Poziomy dawek

W stosunku do osób zaangażowanych w akcję ratowniczą w Czarnobylu przyjęto międzynarodowe limity dawek określone dla ratowników. Ponieważ dopuszczalne dawki promieniowania w przypadku akcji ratowniczych są wyższe niż w warunkach normalnych, zalecenia ICRP przewidywały, że indywidualna dawka nie powinna przekroczyć 500 mSv. To zapewniłoby, że promieniowanie nie spowoduje żadnych natychmiastowych skutków zdrowotnych, a wkalkulowane ryzyko skutków długoterminowych nie przekroczy akceptowalnych limitów.

Na podstawie dostępnych wyników pomiarów, średnia dawka otrzymana przez rosyjskich likwidatorów wynosiła 120 mSv, podczas gdy dawka osób, które brały udział w tych pracach w pierwszym roku wyniosła 165 mSv. Od 1988 roku było możliwe utrzymywanie dawek większości likwidatorów poniżej normalnego rocznego limitu dawki wynoszącego 50 mSv.

Skutki zdrowotne

Czasami mówi się, że zmarły dziesiątki tysięcy ludzi z obszarów wokół Czarnobyla. Jeśli weźmie się pod uwagę jakąkolwiek, tej samej wielkości grupę dorosłych osób, to kilka tysięcy spośród z nich umrze co roku z przyczyn naturalnych, a dziesiątki tysięcy umrą w ciągu 10 lat.

Podana liczba zgonów nie różni się od oczekiwanych wskaźników.

W długim okresie 150 000 czyli około 20% likwidatorów zachoruje na raka. Jedyne przyszłość pokaże, czy zachorowalność na raka wśród likwidatorów będzie wyższa niż w porównywalnej grupie osób z ogółu ludności. Według niektórych ekspertów, statystyka nie ujawni niczego wyjątkowego we wskaźnikach ich zachorowalności czy umieralności. Według innych, wystąpią dodatkowe przypadki białaczki: do 200 w grupie 200 000 likwidatorów zatrudnionych przy usuwaniu skażeń w latach 1986-87.

Trzeba mocno podkreślić, że dawka promieniowania, jaką otrzymali likwidatorzy nie spowoduje żadnego niebezpieczeństwa lub zagrożenia zdrowia ich rodzin lub osób, które się z nimi stykały. Dawka promieniowania nie może przenosić się z jednej osoby na drugą. Poza tym dawki były na tyle małe, że nie oczekuje się, by mogły spowodować skutki dziedziczne u ich potomstwa.

Po wypadku, w Europie Zachodniej wykonano około 4000 aborcji z obawy przed deformacjami u potomstwa. Przy małej dawce, jaką otrzymano w tym przypadku, a więc małym teoretycznie ryzyku, faktyczne ryzyko wystąpienia wad wrodzonych częściej niż normalnie było bardzo małe. Aborcje były tragiczne, niepotrzebne i nieuzasadnione.

Konsekwencje psychologiczne

Według badań przeprowadzonych przez międzynarodowe zespoły naukowców na obszarach o największym narażeniu na promieniowanie w Rosji, Białorusi i Ukrainie, najpoważniejsze problemy nie były spowodowane bezpośrednio skutkami biologicznymi promieniowania, lecz lękiem, brakiem nadziei, depresją i niedostatecznym odżywianiem. Te właśnie przyczyny, a nie promieniowanie, były w wielu przypadkach bezpośrednim źródłem rzeczywistych dolegliwości fizycznych.

Rak

Światowa Organizacja Zdrowia stwierdziła, że w okolicach elektrowni w Czarnobylu, jedynym bezpośrednim skutkiem promieniowania dla zdrowia było upośledzenie funkcji tarczycy i rak tarczycy u dzieci.

Dziesięć lat po wypadku odnotowano 1000 zachorowań na raka tarczycy wśród dzieci poniżej 15 lat w dotkniętych katastrofą republikach. Rak tarczycy łatwiej poddaje się leczeniu niż inne rodzaje chorób nowotworowych i według WHO spowodował on mniej niż 10 zgonów. Każda śmierć jest tragiczna i nawet jeden zgon to o jeden zgon za dużo, ale było ich niewiele. Więcej przypadków chorób tarczycy może rozwinąć się u dzieci w tej grupie wiekowej, gdy wejdą one w wiek dojrzały.

Po pierwszych 10 latach od wypadku nie odnotowano wzrostu zachorowań na inne rodzaje raka. Możliwe, że niektóre przypadki raka były spowodowane wypadkiem, lecz nie da się tego potwierdzić ani wykluczyć. Nie występuje jednak nienormalny wzrost zachorowań na jakikolwiek rodzaj raka, poza rakiem tarczycy.

Rzekomy wyraźny wzrost zachorowań na białaczkę również nie został naukowo potwierdzony. Niektórzy pacjenci cierpiący na raka publicznie obwiniali Czarnobyl za spowodowanie ich choroby. Jednak faktem statystycznym jest to, że jedna osoba na pięć zachorowałaby na raka, nawet jeśli wypadek nigdy by się nie zdarzył.

Podsumowanie

Promieniowanie jest wszędzie. Można to łatwo stwierdzić posługując się radiometrem. Przyrządem takim można zmierzyć promieniowanie z ziemi, kamieni, budynków, a nawet przyjaciół - aby sprawdzić kiedy „trzasków” jest najwięcej, a kiedy najmniej. Dzięki takiemu urządzeniu można zorientować się, że promieniowanie jest mniej intensywne na poziomie morza niż w górach, a także porównać intensywność promieniowania w pomieszczeniu i na zewnątrz. Większość ludzi nie ma jednak własnego radiometru. Nie mniej, każdy z nas ma prawo wiedzieć, kiedy może czuć się bezpiecznie, a kiedy poziom promieniowania wymusza podjęcie określonych działań. Dopóki pozostajemy na zewnątrz, dopóty jesteśmy narażeni na normalną dawkę promieniowania. W zależności od tego gdzie mieszkamy,

promieniowanie naturalne (bez radonu) powoduje dawkę około 1-2 mSv rocznie, w wyjątkowych przypadkach do 10-20 mSv rocznie. Tej dawki nie możemy uniknąć.

Istnieją pewne teorie, lecz nie ma na to dowodów, dotyczące wpływu naturalnego tła promieniowania na nasze zdrowie. Niektórzy naukowcy są przekonani, że promieniowanie naturalne może mieć negatywne skutki dla zdrowia, inni mówią, że nie ma ono żadnego znaczenia, a niektórzy się upierają, że jest ono korzystne dla zdrowia. Brak jest jednoznacznych obserwacji, które potwierdziłyby którąkolwiek z tych teorii. Nie posiadamy wiedzy, możemy jedynie przyjąć pewne założenia.

Niewiele ponad sto lat temu występowało tylko promieniowanie naturalne. Wynalezienie lampy rentgenowskiej w roku 1895 wyznaczyło narodziny nowej epoki w medycynie. Pierwsze sztuczne substancje promieniotwórcze zostały wytworzone w 1934 roku, rozszczepienia jądra dokonano w 1938 roku, a pierwsza w historii bomba atomowa została użyta w 1945 roku. Historia energii jądrowej nie uniknęła zarzutów i krytyki, o czym może zaświadczyć wiele osób, które żyły w czasach zimnej wojny.

Jednak o ile promieniowanie okazało się złym panem, o tyle jest ono dobrym sługą. Nieuleczalne niedawno przypadki raka są teraz leczone odpowiednio dobranymi dawkami izotopów promieniotwórczych. Energetyka jądrowa, dostarczająca energię do wielu domów i fabryk na całym świecie jest tańszą i czystsza alternatywą dla energetyki węglowej, z której zanieczyszczenia niszczą atmosferę. W rolnictwie i produkcji przemysłowej kontrolowane stosowanie promieniowania pomaga zastępować przestarzałe, niebezpieczne i nieefektywne techniki rolnicze i procesy przemysłowe.

Skutki promieniowania są badane od ponad wieku. Fizyka jądrowa nie jest już młodą nauką, a niewiele czynników ryzyka zostało tak dobrze poznanych jak ryzyko związane z promieniowaniem. Spo- łącz ność międzynarodowa, za pośrednictwem takich organizacji, jak Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP), Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR) oraz Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA), ustaliła surowe normy dotyczące limitów dawek, zastosowań promieniowania, transportu i unieszkodliwiania odpadów jądrowych, jak również nadzoruje, czy energia jądrowa jest wykorzystywana tylko do celów pokojowych. Mniej niezawodne elektrownie jądrowe są wycofywane z eksploatacji i zamykane, a nowe obiekty mają znacznie podwyższony poziom bezpieczeństwa eksploatacyjnego.

Doświadczenia uzyskane na przestrzeni ponad stu lat pracy z promieniowaniem oraz badania setek tysięcy pracowników nie ujawniły zagrożeń dla zdrowia spowodowanych

normalnym narażeniem na promieniowanie ze źródeł naturalnych i sztucznych, jeśli jego poziom nie przekracza limitów zalecanych przez ICRP. Limity dawek dla ludności stanowią jedynie drobny ułamek limitów dawek ustalonych dla pracowników zawodowo narażonych na promieniowanie.

Chociaż wiele osób obawia się wypadku w obiektach jądrowych i ich skutków dla swojego zdrowia i zdrowia swoich potomków, to na zagrożenia związane z promieniowaniem trzeba patrzeć w szerszym kontekście.

Na skutek działalności ludzkiej w środowisku pojawiły się dodatkowe, sztuczne substancje promieniotwórcze. Jednak, gdy spojrzymy na to całościowo, to okaże się, że ich ilość jest dużo mniejsza niż większość ludzi sądzi; tak niewielka, że ich wpływ na zdrowie, można określić jako minimalny.

Źródło: Treść oraz grafiki pochodzą z opracowania: *Promieniowanie, zdrowie i społeczeństwo*, Dr Björn Wahlström, Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa 2005.