

Wypadki radiacyjne i dozymetria awaryjna

Anna Mrozik

Promieniowanie jonizujące

Promieniowanie naturalne

- promieniowanie kosmiczne
- promieniowanie z gleby i skał
- promieniowanie pochodzące z pierwiastków obecnych w produktach spożywczych
- pierwiastki promieniotwórcze znajdują się w nas

Promieniowanie sztuczne

- nauka
- medycyna (zarówno w diagnostyce jak i terapii)
- przemysł

Wypadki radiacyjne

Wypadki radiacyjne na małą skalę Small-scale accidents

- Zwykle związany z niewielkim wpływem źródeł promieniowania oraz udziałem niewielkiej ilości osób
- Często odkryte przypadkowo po konsultacji i obserwacji lekarzy podstawowej opieki zdrowotnej

Wypadki radiacyjne na dużą skalę Large-scale accidents

- Zwykle związany z istotnym wpływem źródeł promieniowania oraz udziałem dużej ilości osób
- Konieczne jest specjalistyczne leczenie osób poszkodowanych
 - Szeroko zakrojone działania w celu łagodzenia skutków skażenia

Rodzaje zdarzeń radiacyjnych

Awaryjne uwolnienie materiałów radioaktywnych

- **Katastrofa w Czarnobylu (1986)** – jedna z najpoważniejszych awarii jądrowych w historii, gdzie doszło do eksplozji reaktora i rozprzestrzenienia się ogromnych ilości radioaktywnego materiału.
- **Katastrofa w Fukushima (2011)** – w wyniku trzęsienia ziemi i tsunami doszło do uszkodzenia systemu chłodzenia w elektrowni, co spowodowało stopienie rdzeni reaktorów i emisję substancji promieniotwórczych.



<https://fotowoltaika.expert/jak-dziala-elektrownia-atomowa-zasada-jej-dzialania-i-produkcji-energii>



<https://www.wnp.pl/energetyka/projekt-pierwszej-polskiej-elektrowni-atomowej-jest-coraz-blizej,753520.html>

Rodzaje zdarzeń radiacyjnych

Skutki uwolnienia materiałów radioaktywnych

- Krótkoterminowe
- Długoterminowe

Środki zapobiegawcze i zarządzanie kryzysowe

- Monitoring radiacyjny, systemy bezpieczeństwa w zakładach jądrowych, opracowanie planów awaryjnych
- Organizacje takie jak Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) promują standardy bezpieczeństwa

Rodzaje zdarzeń radiacyjnych

- **Użycie broni jądrowej**

Rodzaje zdarzeń radiacyjnych

Ataki terrorystyczne z użyciem materiałów radioaktywnych (brudna bomba)

- **Brudna bomba** (ang. **dirty bomb**)
- Nie należy tego mylić z bronią jądrową – brudna bomba nie wywołuje reakcji jądrowej, lecz wykorzystuje konwencjonalny materiał wybuchowy do rozsiania substancji radioaktywnych

Potencjalne zagrożenia

- Zastosowanie brudnej bomby może prowadzić do skażenia dużego obszaru, paniki wśród ludności oraz długoterminowych skutków zdrowotnych
- Skażenie może objąć całe miasto lub jego część, prowadząc do konieczności ewakuacji, kosztownej dekontaminacji oraz ograniczeń w dostępie do danego obszaru na długie lata.

Rodzaje zdarzeń radiacyjnych

Wypadki transportowe z udziałem materiałów promieniotwórczych

Przewóz materiałów promieniotwórczych

- Materiały radioaktywne są regularnie transportowane
- Materiały radioaktywne są odpowiednio zabezpieczone
- Każdy transport podlega ścisłym regulacjom międzynarodowym



<https://nukleo.pl/rozdzial/jak-transportujemy-odpady-promieniotworcze/>

Wypadki radiacyjne

1944 – 2006 na całym świecie wystąpiło ponad **400 wypadków radiacyjnych**

Wypadki radiacyjne na dużą skalę

➤ Zakłady Mayak

29 września 1957 roku doszło do awarii systemu chłodzenia zbiornika zawierającego dziesiątki tysięcy ton rozpuszczonych odpadów jądrowych. Awaria skutkowałą eksplozją (niemającą charakteru jądrowego) a w konsekwencji pokrycie obszaru 39 000 km² skażeniem promieniotwórczym

- 300 osób zmarło w wyniku choroby popromiennej
- Ok 8000 osób zostało narażonych na wysokie dawki promieniowania
- Ponad 10000 osób ewakuowanych z terenów skażonych

➤ Three Mile Island

28 marca 1979 r
częściowe stopienie rdzenia w drugim reaktorze
Wypadek został spowodowany serią błędów technicznych i ludzkich, które doprowadziły do awarii systemu chłodzenia reaktora. Zła komunikacja i błędne odczyty wskaźników sprawiły, że operatorzy nie zareagowali prawidłowo

- Nie było bezpośrednich ofiar śmiertelnych
- Nie zarządzono masowej ewakuacji
- ok. 140 000 osób, opuściło okolicę dobrowolnie

➤ Czarnobyl

25 na 26 kwietnia 1986r -żle zaprojektowany i przeprowadzony eksperyment - w jednym z 4 bloków energetycznych doszło do stopienia rdzenia, wybuchu, a następnie pożaru

IAEA i WHO:

- Ofiary bezpośrednie: 31 osób
- Długoterminowe zgony: około 4 000 w najbardziej narażonych grupach.
- Nowotwory tarczycy: ponad 20 000 przypadków, z bardzo niską śmiertelnością.
- Likwidatorzy: większość otrzymała dawki promieniowania poniżej progu skutków zdrowotnych.

➤ Fukushima

2011 rok - awarie reaktorów jądrowych nr 1, 2 i 3 – stopinone rdzenie; połączone z emisją substancji promieniotwórczych do środowiska, związaną m.in. z przedostaniem się do środowiska skażonej wody morskiej stosowanej do chłodzenia reaktorów

- Bezpośrednie ofiary promieniowania: 0
- Zgony związane z ewakuacją: około 1 600
- Długoterminowe skutki zdrowotne: Brak dowodów na znaczący wzrost liczby nowotworów w populacji

**Co-funded by
the European Union**



Wypadki radiacyjne

Wypadki radiacyjne na małą skalę

- **Goiania, Brazylia, 1987 rok**
źródło radioterapii ^{137}Cs zostało skradzione (liczba osób z widocznymi objawami klinicznymi: 50, liczba ofiar z silnymi objawami napromieniowania: 14, liczba zgonów: 4)
- **Cochabamba, Boliwia, 2002 rok**
wypadek ze źródłem ^{192}Ir – przewożenie uszkodzonego źródła w luku bagażowym podczas 8 godzinnej podróży (liczba osób z narażonych: 55)
- **Lilo, Gruzja, 1996 -1997**
poligon wojskowy – znaleziono źródła ^{137}Cs (liczba osób z widocznymi objawami klinicznymi: 11, liczba ofiar z silnymi objawami napromieniowania: 11, liczba zgonów: 0)
- **Stambuł, Turcja, 1998 rok**
nielegalne przetrzymywanie źródła i późniejsze zniszczenie osłony źródła ^{60}Co (liczba osób z widocznymi objawami klinicznymi: 10, liczba ofiar z silnymi objawami napromieniowania: 10, liczba zgonów: 0)

Wypadki radiacyjne

- **Wypadki z udziałem samolotów transportujących broń jądrową – nie doszło do eksplozji jądrowej**
 - 1966 roku bombowiec US Air Force B-52G - pożar
 - 1968 roku bombowca B-52 – zderzenie z tankowcem
- **Katastrofy sztucznych satelitów zasilanych bateriami lub reaktorami jądrowymi**
 - 1964 – na skutek zniszczenia amerykańskiego satelity telekomunikacyjnego z zasilaczem radioizotopowym SNAP-9A na pokładzie - nad kanałem Mozambickim (Ocean Indyjski) – satelita spłonął w atmosferze
 - 1978 - radziecki satelita Kosmos 954 wyposażony w reaktor jądrowy po ponownym wejściu do atmosfery uległ spaleni, a jego pozostałości rozbiły się na terytoriach północno-zachodniej Kanady

Wypadki radiacyjne

- **Katastrofy łodzi podwodnych zasilanych energią jądrową**

Wiadomo o 2 rosyjskich i 6 amerykańskich uszkodzonych okrętach podwodnych, które spoczywają na dnie mórz i oceanów.

- W 1989 roku w morzu Barentsa ok 1500 m pod wodą zidentyfikowano łódź podwodną „Komsomolec”, zawierającą w transportowanych głowicach jądrowych Pu oraz radioizotopy Cs-137 i Sr-90
 - W 2000 roku również w morzu Barentsa zatonął nuklearny okręt podwodny Kursk
 - W latach 60. Morze Barentsa oraz Morze Karskie były wykorzystane, jako składowiska odpadów radioaktywnych. Zatopiono tam co najmniej 16 reaktorów jądrowych
- Część źródeł promieniotwórczych do tej pory nie została



Jakie szkody w organizmie może wywołać promieniowanie?

- Promieniowanie oddziałuje na komórki organizmu, uszkodzając je lub całkowicie niszcząc. Komórki mogą zostać naprawione, dzięki czemu uszkodzenia zostają zaleczone, ale gdy dawka promieniowania jest duża, organizm nie zdąży z naprawianiem komórek.
- **Uszkodzenia natychmiastowe** - Duża dawka promieniowania w krótkim czasie powoduje natychmiastowe uszkodzenie. Objawy uszkodzenia mogą wystąpić już po paru godzinach
- **Uszkodzenia w dłuższym okresie czasu** - Niskie dawki promieniowania mogą spowodować późniejsze choroby, jak choroba nowotworowa. Objawy mogą wystąpić wiele lat po napromieniowaniu.
- **Dawki promieniowania w przypadku awarii** Jak wynika z analiz możliwych awarii w elektrowniach jądrowych, przy założeniu, że działałyby urządzenia techniczne ograniczające emisję, zamieszkująca obszar wokół elektrowni ludność otrzymałaby dawkę promieniowania odpowiadającą kilku badaniom RTG.
- **Jak można się chronić przed promieniowaniem?**
 - przebywać możliwie krótko w miejscu, gdzie się jest narażonym na promieniowanie
 - unikać wdychania skażonego powietrza i spożywania skażonej żywności
 - znajdować się w możliwie dużej odległości od źródła promieniowania

Wypadki radiacyjne



*przypadkowe narażenia
na promieniowanie*



rekonstrukcja
dawki

Dozymetria retrospektywna vs Dozymetria awaryjna

DOZYMETRIA RETROSPEKTYWNA



Rekonstrukcja dawki po dłuższym czasie (tygodnie, lata) po ekspozycji na promieniowanie (określanie efektów stochastycznych oraz epidemiologia)

DOZYMETRIA AWARYJNA



Natychmiastowe określanie dawek z wypadków radiacyjnych (określanie efektów deterministycznych oraz szybka selekcja poszkodowanych)

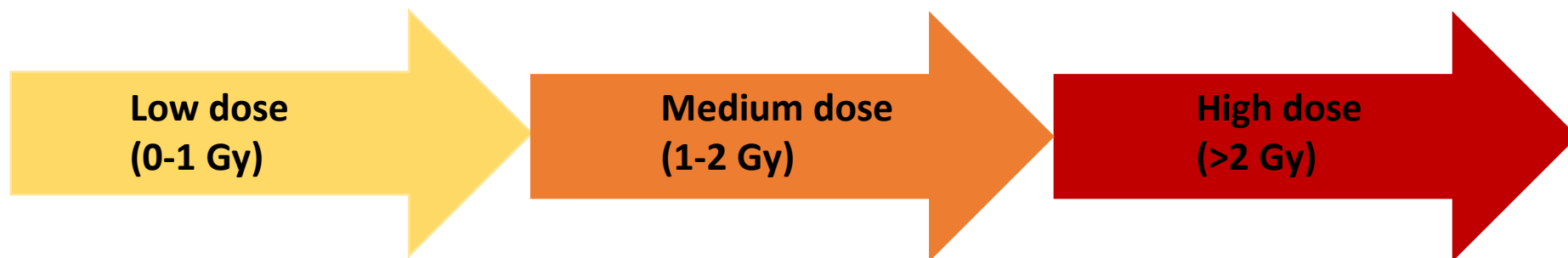
TRIAGE

Dozymetria awaryjna i retrospektywna są stosowane do oceny dawki podczas ekspozycji

TRIAGE – segregacja osób poszkodowanych

Poziomy triage dla wypadków radiacyjnych:

- Dawki (0-1 Gy) Low dose
- Dawki (1-2 Gy) Medium dose
- Dawki (> 2 Gy) High dose



Monitorowanie osób narażonych

- **Dozymetria wewnętrzna**

- In vivo – wykrywanie promieniowania gamma emitowane przez radioaktywne izotopy w organizmach ludzi
- In vitro - analizuje się próbki, np. mocz lub krew, w celu wykrycia obecności izotopów

- **Dozymetria zewnętrzna**

urządzenie noszone przez osobę, które mierzy dawkę promieniowania, jakie ta osoba otrzymuje

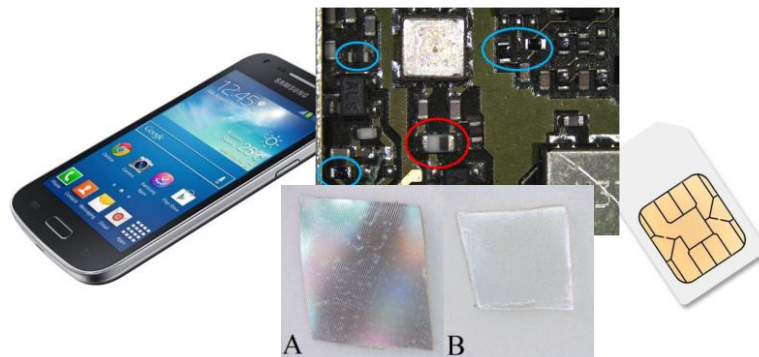
- Dozymetria pasywna
- Dozymetria aktywna
- Dozymetria awaryjna

Materiały wykorzystywane do oceny dawek z wypadku radiacyjnego

- Cegły, materiały budowlane



- Elementy telefonów komórkowych



- Szklivo zębów, włosy, paznokcie



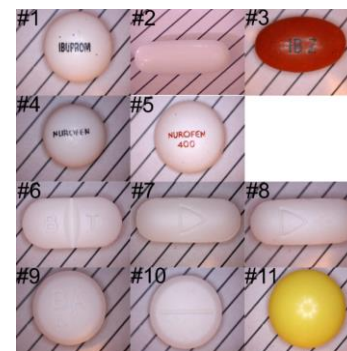
- Sól kuchenna



- Banknoty



- Farmaceutyki



- Próbkki krwi



Techniki i materiały wykorzystywane do oceny dawek z wypadku radiacyjnego

Metody luminescencyjne

- Termoluminescencja (TL)
- Optycznie stymulowana luminescencja (OSL)

Materiały budowlane
Chemia domowa

Przedmioty osobiste

Inne metody fizyczne

- Elektronowy Rezonans Paramagnetyczny

Szklivo zębów
i wypełnienia dentystyczne,
włosy, paznokcie

Metody biologiczne

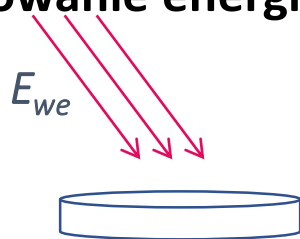
- Metoda chromosomów dicentrycznych
- Metoda mikrojąder

Próbki krwi

Zjawisko stymulowanej luminescencji

RISØ TL/OSL

- absorpcja promieniowania i magazynowanie energii



E_{we} – energia dostarczona do detektora w czasie napromieniania

- stymulacja i emisja światła

optyczna stymulacja

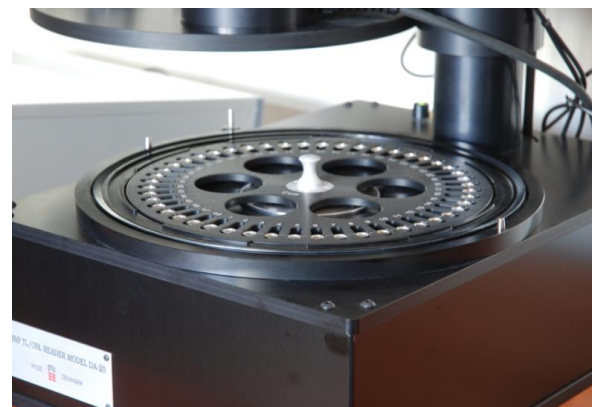


E_{wy}

termiczna stymulacja



E_{wy} – energia wyemitowana z detektora w czasie odczytu



Ciekawostki na temat promieniowania

Euforia na temat promieniotwórczości – po odkryciu radu przez Marię Skłodowską Curie =>
kuracja radowa => promieniowanie radioaktywne zwiększa ochronę zębów, działąsła zasilane są życiową energią,
destrukcyjne działanie bakterii jest zahamowane, wzmacnia szkliwo, przywraca połysk – promienny uśmiech gwarantowany

Ciekawostki na temat promieniowania

Euforia na temat promieniotwórczości – po odkryciu radu przez Marię Skłodowską Curie => kuracja radowa => promieniowanie radioaktywne zwiększa ochronę zębów, działąsła zasilane są życiową energią, destrukcyjne działanie bakterii jest zahamowane, wzmacnia szkliwo, przywraca połysk – promienny uśmiech gwarantowany

pracownicy fabryki U.S. Radium Corporation, gdzie produkowano tarcze zegarków, codziennie oblizywali pędzle radioaktywnej farby “Radium Girls”

Ciekawostki na temat promieniowania

Euforia na temat promieniotwórczości – po odkryciu radu przez Marię Skłodowską Curie => kuracja radowa => promieniowanie radioaktywne zwiększa ochronę zębów, działąsła zasilane są życiową energią, destrukcyjne działanie bakterii jest zahamowane, wzmacnia szkliwo, przywraca połysk – promienny uśmiech gwarantowany

pracownicy fabryki U.S. Radium Corporation, gdzie produkowano tarcze zegarków, codziennie oblizywali pędzle radioaktywnej farby “Radium Girls”

radu używano w sanatoriach w łaźniach

Ciekawostki na temat promieniowania

Euforia na temat promieniotwórczości – po odkryciu radu przez Marię Skłodowską Curie => kuracja radowa => promieniowanie radioaktywne zwiększa ochronę zębów, działąsła zasilane są życiową energią, destrukcyjne działanie bakterii jest zahamowane, wzmacnia szkliwo, przywraca połysk – promienny uśmiech gwarantowany

pracownicy fabryki U.S. Radium Corporation, gdzie produkowano tarcze zegarków, codziennie oblizywali pędzle radioaktywnej farby “Radium Girls”

radu używano w sanatoriach w łaźniach

Marię Skłodowską-Curie trzeba było pochować w ołowianej trumnie

Ciekawostki na temat promieniowania

Euforia na temat promieniotwórczości – po odkryciu radu przez Marię Skłodowską Curie => kuracja radowa => promieniowanie radioaktywne zwiększa ochronę zębów, działąsła zasilane są życiową energią, destrukcyjne działanie bakterii jest zahamowane, wzmacnia szkliwo, przywraca połysk – promienny uśmiech gwarantowany

pracownicy fabryki U.S. Radium Corporation, gdzie produkowano tarcze zegarków, codziennie oblizywali pędzle radioaktywnej farby “Radium Girls”

radu używano w sanatoriach w łaźniach

Marię Skłodowską-Curie trzeba było pochować w ołowianej trumnie

Saletra potasowa – sól używana do produkcji mięsa zawiera radioaktywny potas
Banany zawierają radioaktywny potas