Astronomiczna Zimowa Szkoła EAAE – Gorlice 30.01-2.02.2026

Zagrożenia spowodowane wykorzystaniem energii jądrowej w wojnie hybrydowej

Stanisław Bednarek

Uniwersytet Łódzki
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Zakład Systemów Mobilnych
i Inżynierii Oprogramowania
ul. Pomorska 149/153
90-236 Łódź

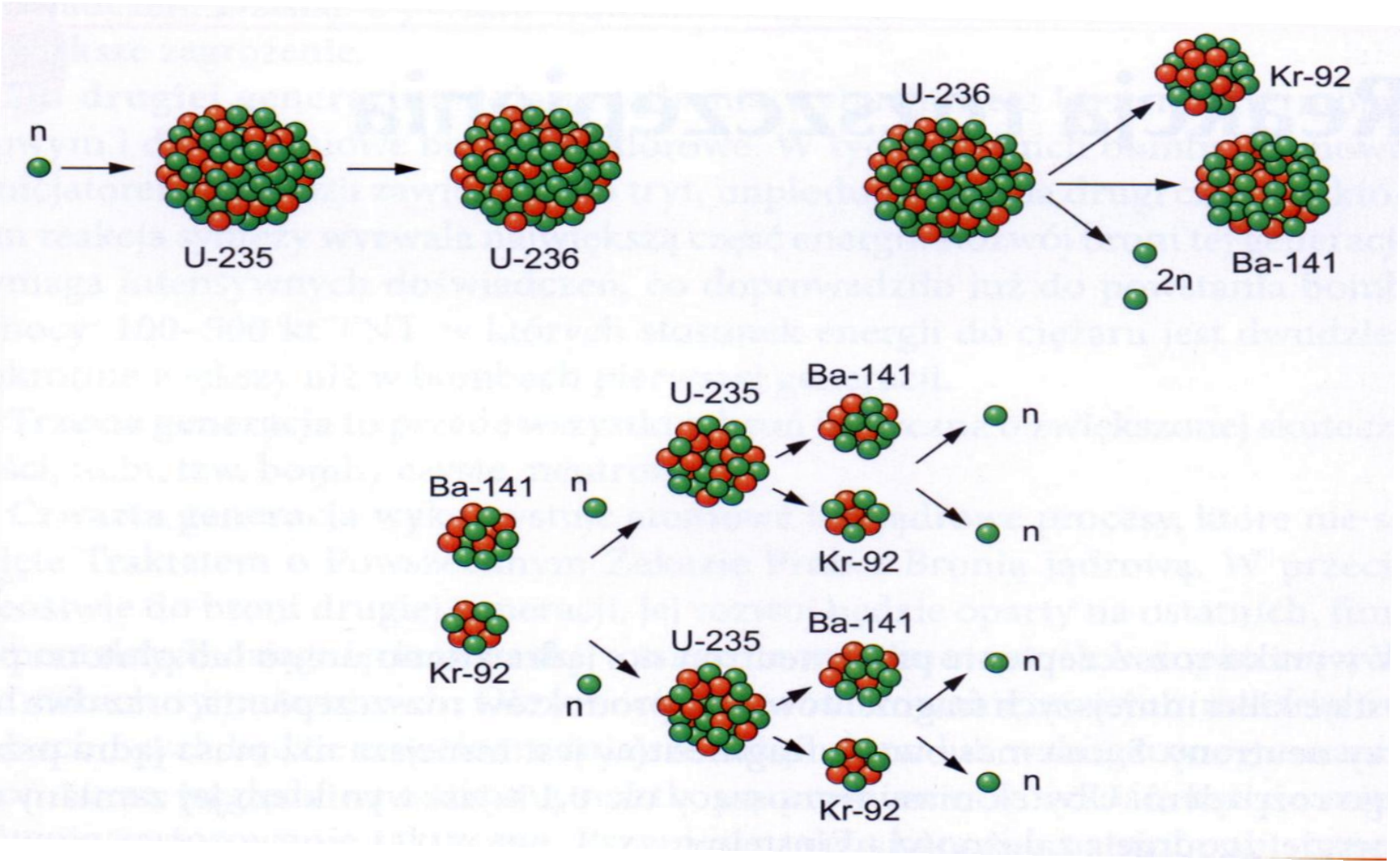
Plan referatu

1. Wstęp – czym jest i jakie właściwości ma energia jądrowa?
2. "Klasyczne" możliwości wykorzystania energii jądrowej

Możliwości wykorzystania energii jądrowej w wojnie hybrydowej ("innowacyjne")

3. Ataki fizyczne lub cyberataki na obiekty jądrowe
4. Ingerencja w środowisku z wykorzystaniem energii jądrowej
5. Wykorzystanie radiotoksycznych właściwości izotopów
6. Posumowanie i wnioski

Schematyczne przedstawienie reakcji łańcuchowej



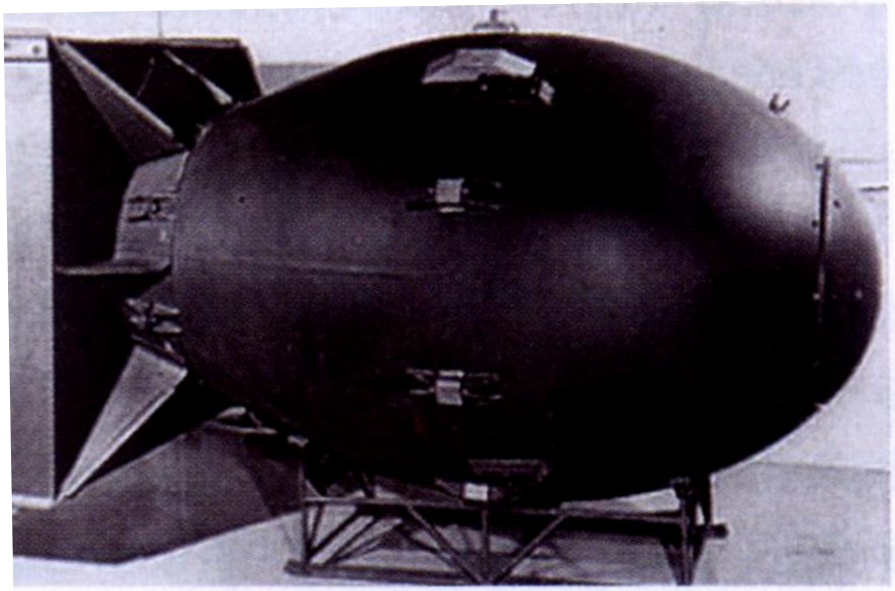
Porównanie gęstości objętościowej energii jądrowej i konwencjonalnej

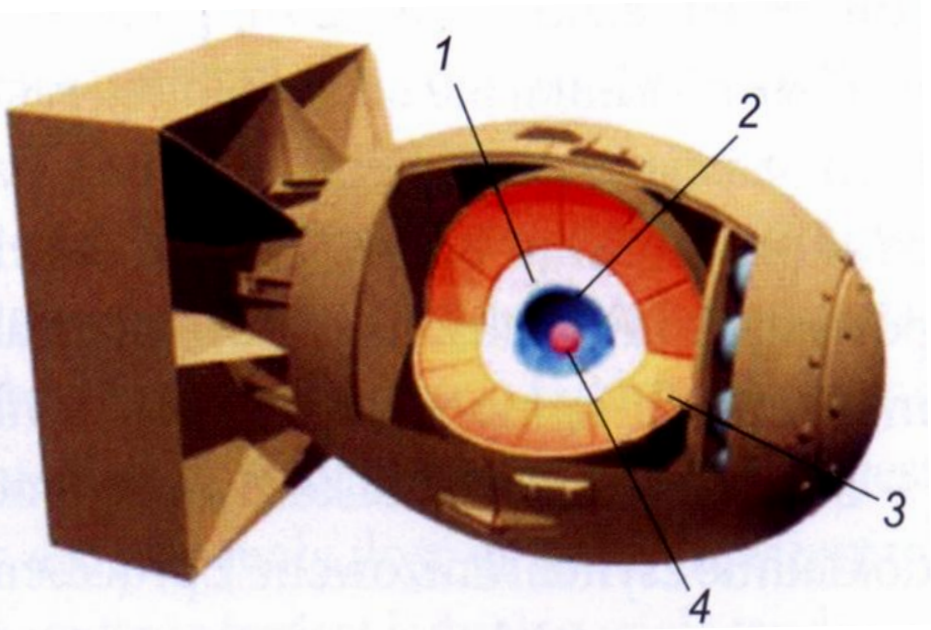
Widok standardowej pastylki dwutlenku uranu UO_2 o masie ok. 7 g. Z tego na uran przypada ok. 6 g, w którym od 3 do 5% stanowi uran rozszczepialny U-235. Przy całkowitym rozszczepieniu wszystkich jąder atomów zawartych w 1 g uranu U-235 wydziela się energia równoważna 3 t węgla lub ok. 0,25 t ropy

Wygląd zewnętrzny i schematyczny przekrój jednej z pierwszych bomb jądrowych

1 – uran, 2 – kula z plutonu, 3 – chemiczne ładunki wybuchowe,

4 – inicjujące źródło neutronów.

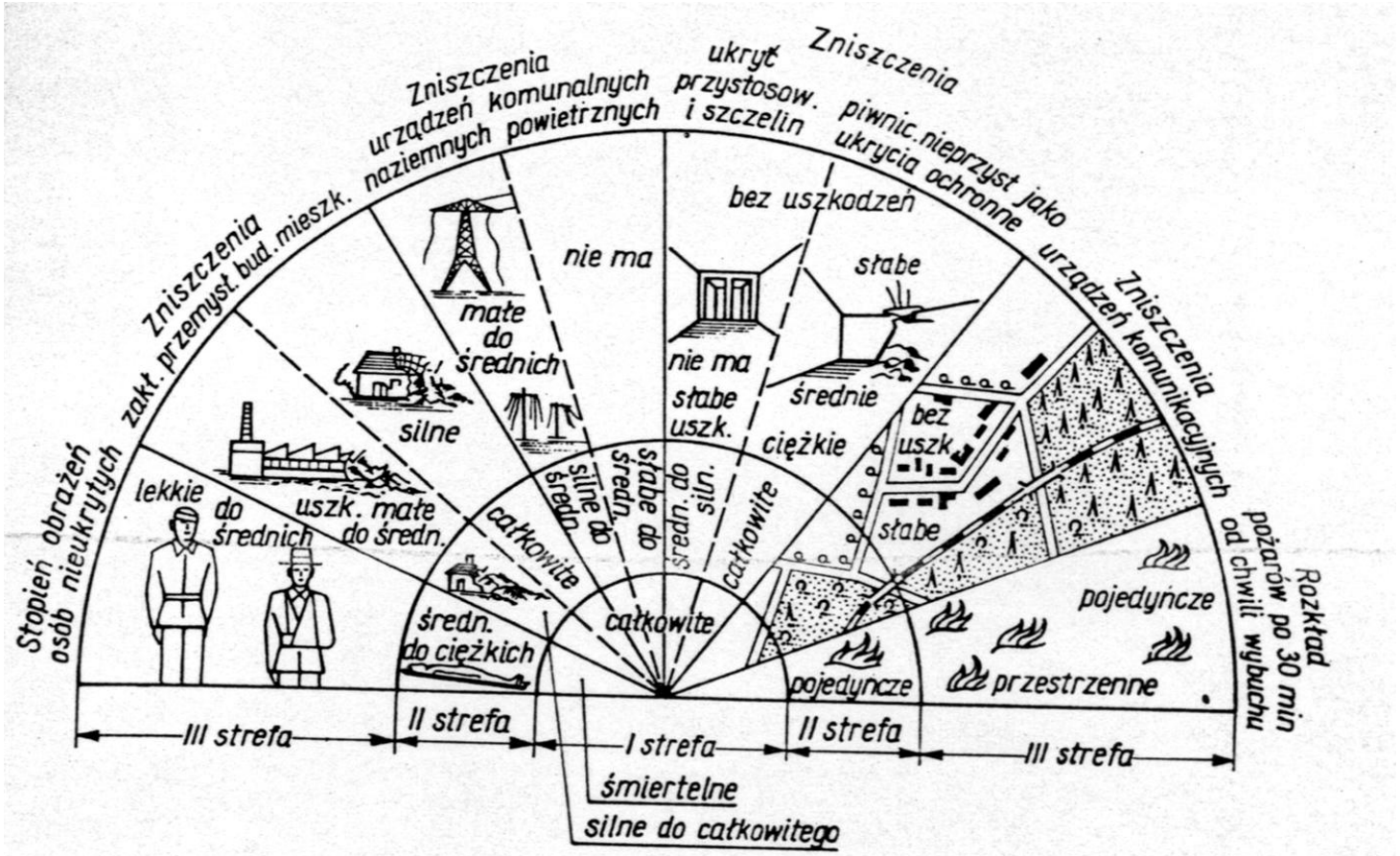




Czynniki rażenia w wyniku wybuchu bomby jądrowej i ich skutki

- Promieniowanie świetlne (błysk) – utrata wzroku
- Promieniowanie przenikliwe (jądrowe) – choroba popromienna
- Fala uderzeniowa – zburzenie budowli, śmierć siły żywej
  Promieniowanie cieplne – masowe pożary, oparzenia
- Opad radioaktywny – promieniotwórcze skażenie terenu, choroba popromienna, choroby genetyczne
- Burza elektromagnetyczna – zakłócenie łączności radiowej, zniszczenie urządzeń elektronicznych i technologii informacyjnej
- Wstrząs tektoniczny – zburzenie budowli, śmierć siły żywej
- Zanieczyszczenie atmosfery – zmiany klimatu, "zima atomowa"
- Tsunami (opcjonalnie) – powódź, zburzenie budowli, śmierć siły żywej
- Krater (opcjonalnie) – zburzenie budowli, śmierć siły żywej

Strefy zniszczeń po wybuchu jądrowym



Charakterystyka I, II i III strefy zniszczeń przy naziemnym wybuchu jądrowym

Podstawowe wielkości i jednostki w dozymetrii promieniowania jądrowego

1. Dawka pochłonięta – energia promieniowania *E* na jednostkę masy absorbera *m*

$$D = \frac{E}{m}$$ jednostka grej = J/kg, Gy

2. Dawka równoważna – dawka pochłonięta pomnożona przez współczynnik wagowy dawki > 1 (jakości promieniowania), np. dla rtg., gamma 1, neutrony 10

3. Dawka skuteczna – dawka równoważna pomnożona przez współczynnik wagowy narządu < 1 (wrażliwości narządu), np. dla gonad 0,25, tarczycy 0,03, cały organizm 1

4. Moc dawki – dawka pochłonięta przez czas

$$P = \frac{D}{t}$$ jednostka siwert = J/(kg h), Sv

5. Dawki graniczne na całe ciało: 1 mSv/rok narażenie ogółu ludności, 5 mSv/rok narażenie zawodowe

6. Skutki deterministyczne – powyżej dawki progowej, skutki stochastyczne – brak dawki progowej, wrażliwość osobnicza

7. Radiofobia

8. Zasada ALARA

Zależność przebiegu choroby popromiennej od dawki

Ostra choroba popromienna

(skutki bezpośrednio po napromieniowaniu)

Postać subkliniczna,

pochłonięta dawka 0,5–2 Gy, 0% zgonów

Postać hematologiczna

pochłonięta dawka: 2–4 Gy, 25% zgonów

Postać jelitowa

pochłonięta dawka 4–8 Gy, 50–100% zgonów

Postać mózgowa

pochłonięta dawka 8–50 Gy, 100% zgonów w kilka dni

Postać enzymatyczna

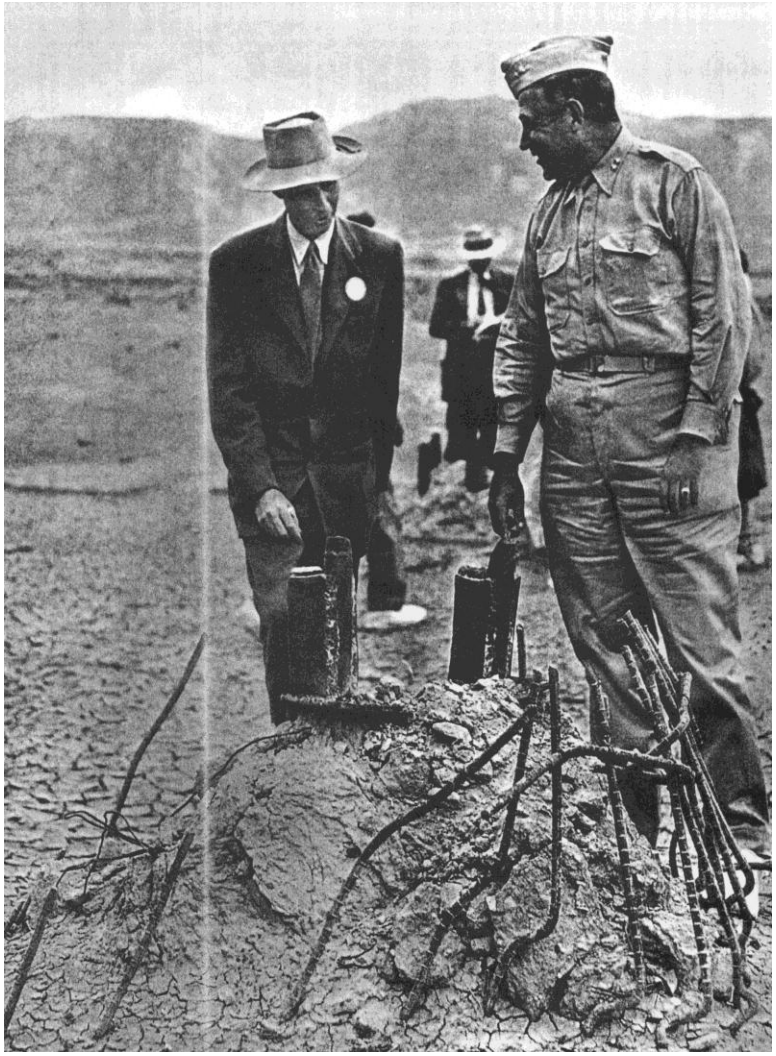
pochłonięta dawka powyżej 50 Gy 100% zgonów w kilkadziesiąt godz.

Przewlekła choroba popromienna

(skutki odległe po kilku latach)

białaczki, chłoniaki, glejaki, inne nowotwory złośliwe, bezpłodność, wady genetyczne, zaćma, zaburzenia hormonalne, przyspieszone starzenie

Pozostałości wieży, na której umieszczono pierwszą bombę po jej wybuchu, z lewej dr Robert Oppenheimer z prawej gen. Lesile Groves



Próbka piasku z miejsca pierwszej próby jądrowej

Skutki działania fali uderzeniowej pod centrum wybuchu bomby w Hiroszimie

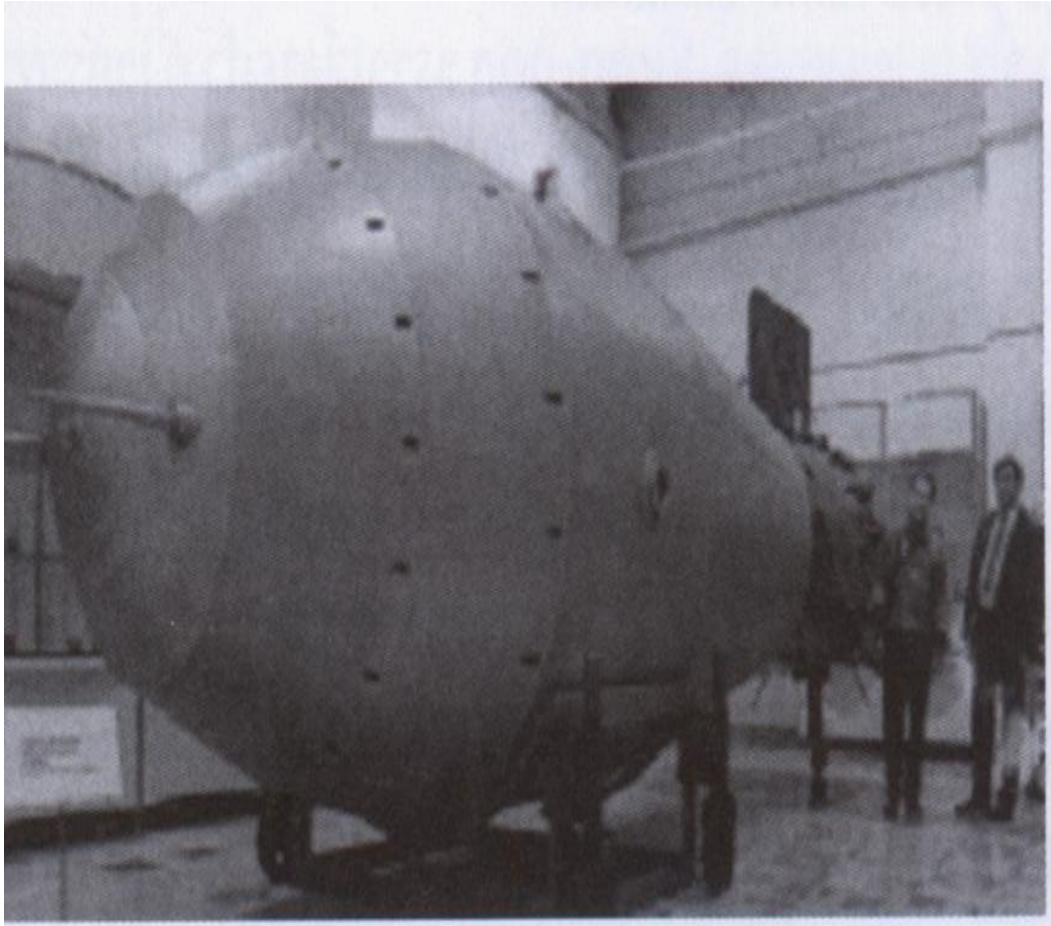
Skutki działania promieniowania cieplnego po wybuchu bomby w Hiroszimie

Skutki działania ciśnienia promieniowania po wybuchu bomby w Hiroszimie

Przykłady oparzeń po wybuchu bomby w Hiroszimie

Przykład początkowej fazy wybuchu termojądrowego

Największa bomba termojądrowa („Car Bomba”) produkcji radzieckiej, 58 Mt, wybuch 4000 m nad archipelagiem Nowa Ziemia 30 X 1961 r.



Makieta bomby zrzuconej na Hiroszimę z drukarki 3D

Współczesna satyra nawiązująca do roli Alberta Einsteina w zbudowaniu bomby jądrowej

ZAGORZAŁY PACYFISTA
Einstein przyznawał, że gdyby wiedział, że Niemcy nie są wcale blisko zbudowania bomby atomowej, nie wystosowałby do prezydenta Roosevelta swego słynnego osobistego apelu, który przyczynił się do podjęcia prac w ramach Projektu Manhattan.

Innowacyjne wykorzystanie energii jądrowej do celów militarnych przez ataki fizyczne i cyberataki na obiekty jądrowe

- Czynne elektrownie jądrowe
- Nieczynne reaktory elektrowni jądrowych po awarii (np. sarkofag w Czarnobylu)
- Zakłady wzbogacania lub przeróbki paliwa jądrowego
- Instytuty i laboratoria badań jądrowych
- Składowiska odpadów radioaktywnych
- Tereny skażone radioaktywnie (np. poligony jądrowe, „Czerwony Las”)
- Magazyny paliwa jądrowego
- Miejsca przechowywania broni jądrowej
- Zakłady produkcyjne, wykorzystujące radioizotopy
- Placówki medyczne, stosujące diagnostykę i terapię radioizotopową
- Duże obiekty hydrotechniczne (zapory, śluzy)
- Transporty materiałów jądrowych

Innowacyjne wykorzystanie energii jądrowej do celów militarnych przez spowodowanie zmian w środowisku

- Atak z użyciem broni jądrowej (bomb lub rakiet) na kalderę (zapadlisko po wybuchłym wulkanie), zwłaszcza Wielką Kalderę na terenie USA.
- Rozproszenie za pomocą dronów lub robotów silnie rozdrobnionych izotopów radioaktywnych (w postaci mikro- lub nanocząstek) w: powietrzu, wodzie lub gruncie, celem spowodowania skażenia.
- Rozproszenie za pomocą wybuchu chemicznego lub wybuchu jądrowego małej mocy materiałów radioaktywnych, np. radioaktywnego kobaltu 60 w miejscach i w celach wyszczególnionych w pkt. 2.
- Rozproszenie za pomocą rakiet wyposażonych w głowice jądrowe małej mocy lub przy użyciu satelitów cząstek materiałów radioaktywnych w górnych warstwach atmosfery (w stratosferze lub jonosferze.

Innowacyjne wykorzystanie energii jądrowej do celów militarnych przez bezpośrednie zastosowanie izotopów

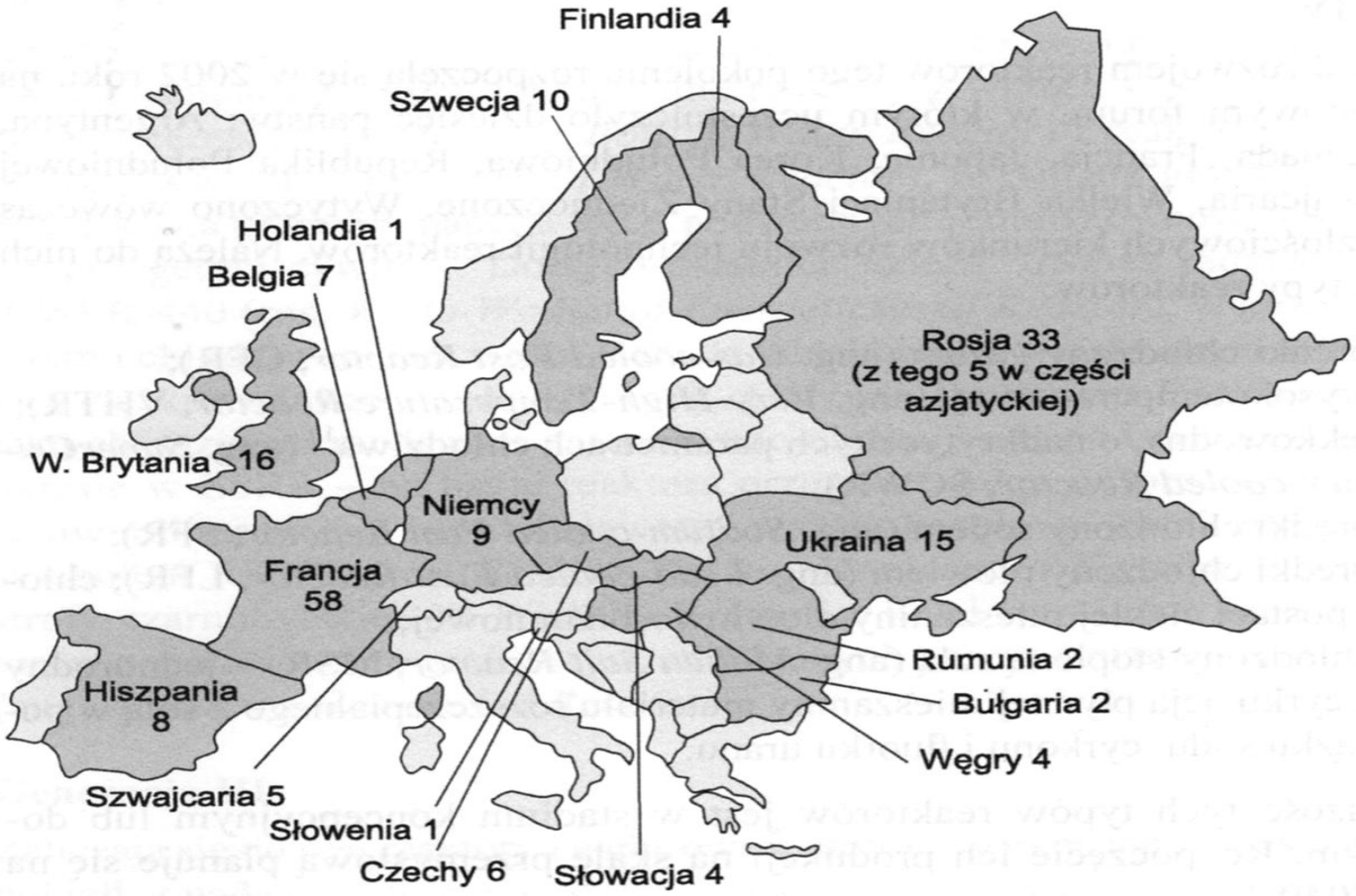
- Zamachy na życie wybranych osób – przykładem tego typu działań jest udany zamach na Aleksandra Litwinienkę, któremu podano radioaktywny izotop polonu.
- Zamachy na wybrane grupy osób, np. uczestników imprez masowych, pasażerów kolei, metra, samolotu.
- Skażenia lub zniszczenia organizmów żywych (upraw, hodowli).
- Skażenia i uczynienia nieprzydatnymi do konsumpcji produktów spożywczych (warzyw, owoców).

Skutki innowacyjnego użycia energii jądrowej w celach militarnych

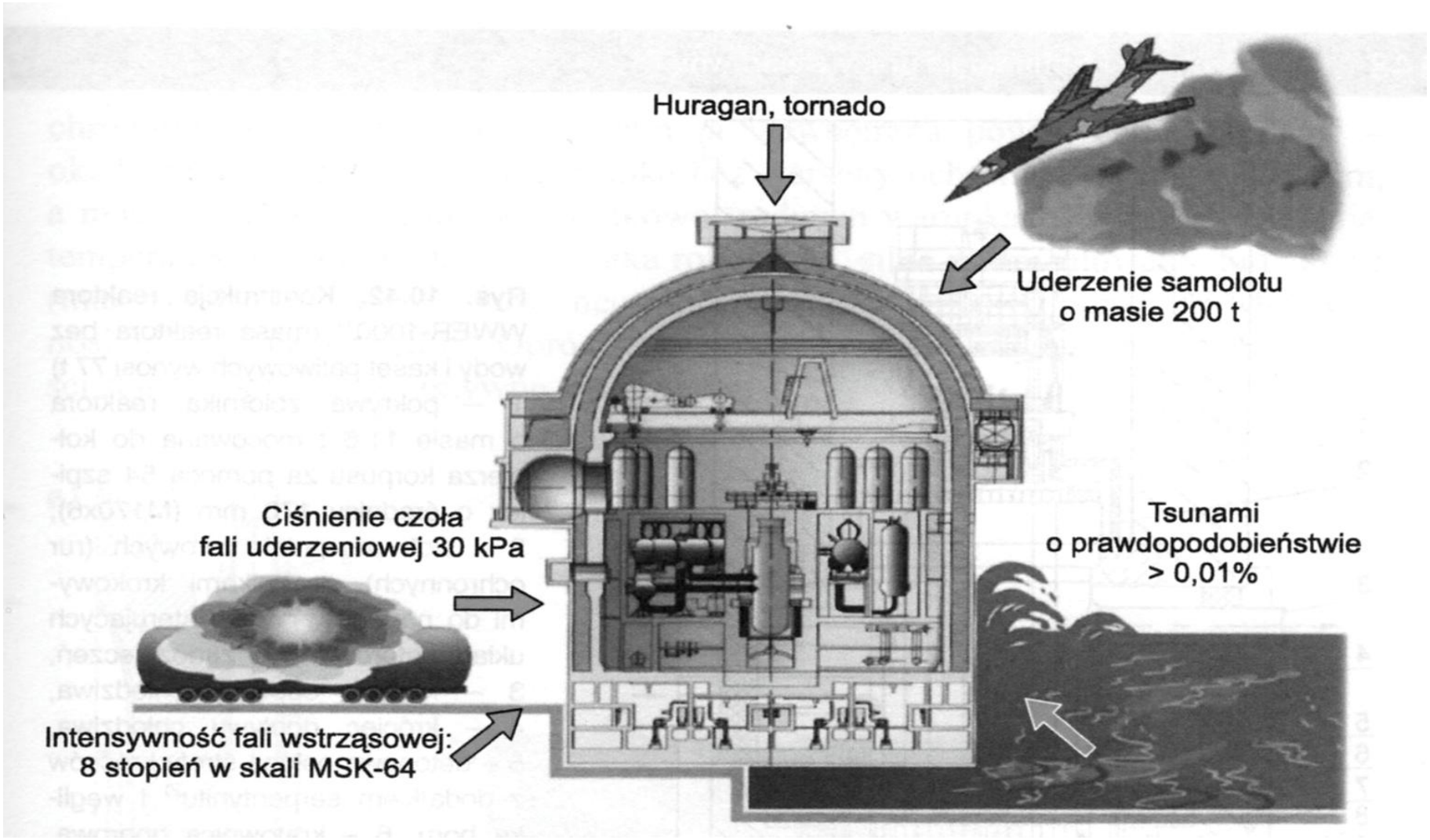
- Wywołanie paniki
- Migracja ludności na dużą skalę
- Zakłócenie pracy obiektów infrastruktury krytycznej
- Przerwy w dostawie ważnych mediów, zwłaszcza energii elektrycznej (blacout), wody, gazu
- Zakłócenie pracy systemów łączności i informacji
- Promieniotwórcze skażenie terenu
- Choroba popromienna
- Choroby genetyczne
- Wyłączenie terenów z działalności rolniczej i przemysłowej
- Przerwy w produkcji
- Zakłócenie transportu i dostaw towarów i usług
- Wymuszone zmiany w działaniu gospodarki i społeczeństwa
- ……..

Rozmieszczenie energetycznych reaktorów jądrowych w Europie

Obecnie w Europie eksploatowanych jest 178 bloków elektrowni jądrowych (EJ) (bez 5 rosyjskich reaktorów w Azji) W większości z nich są zainstalowane reaktory typu PWR, tylko w 19 są zainstalowane reaktory typu BWR.



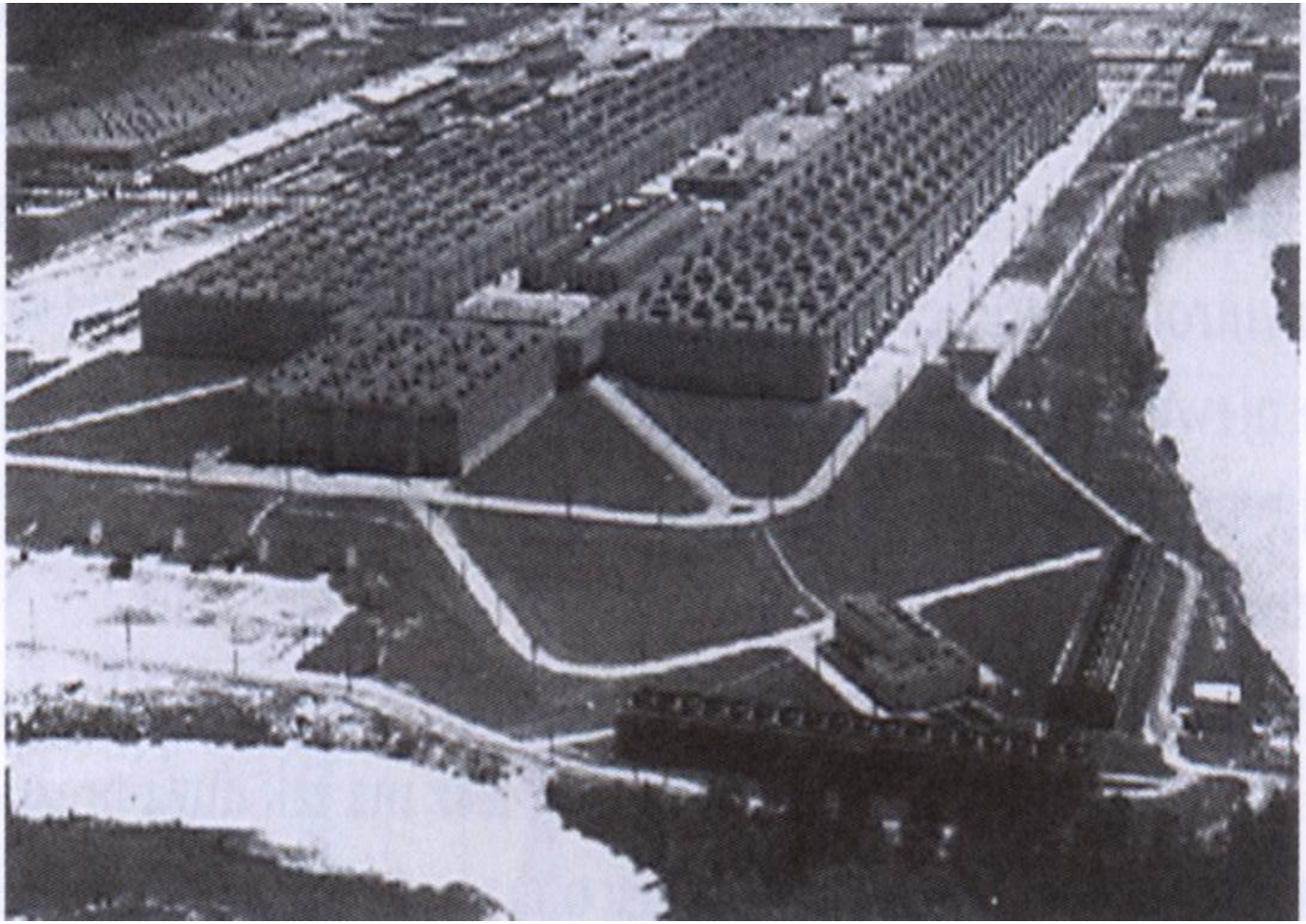
Mechaniczne zabezpieczenia reaktora elektrowni jądrowej



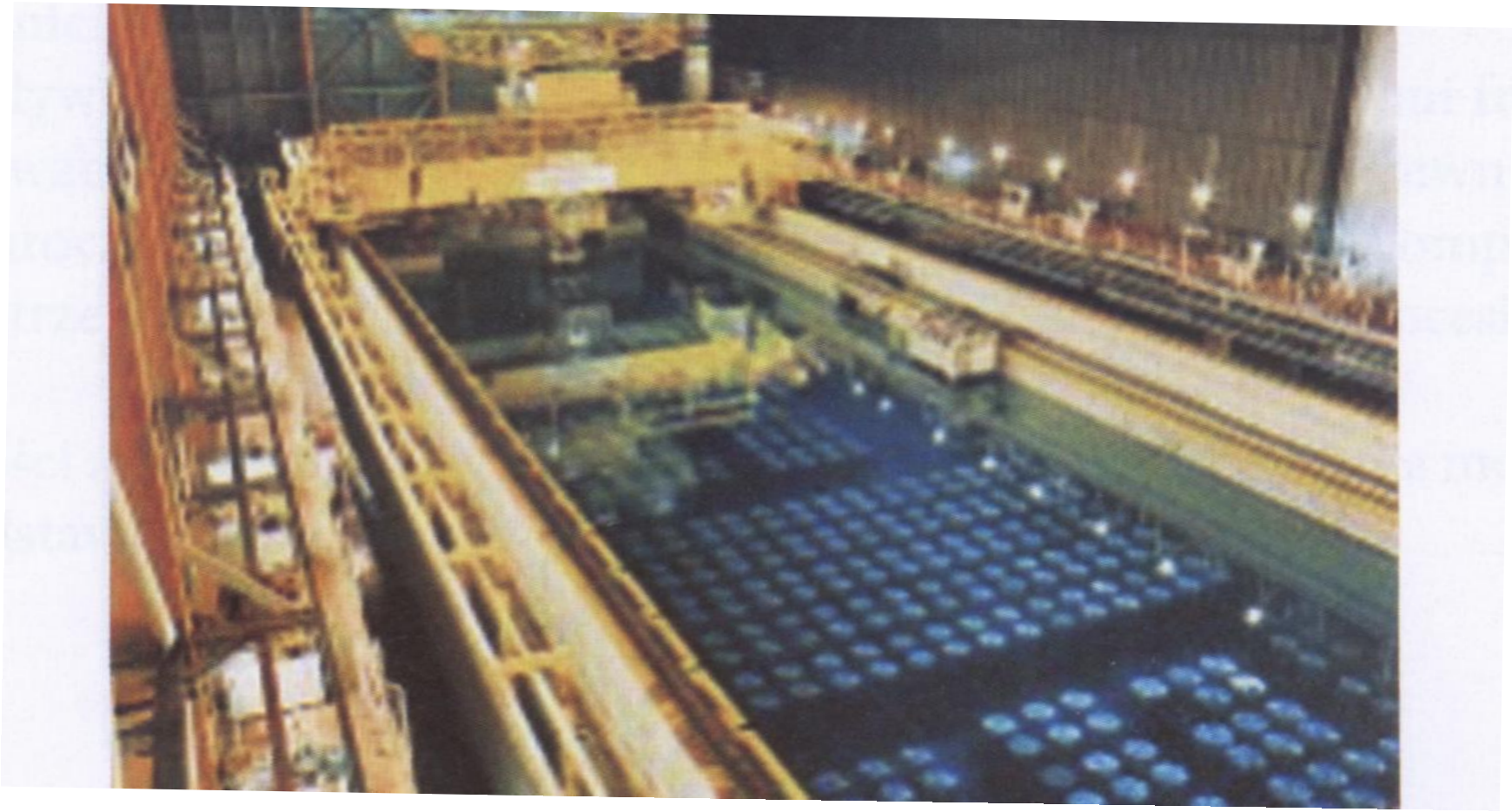
Załadunek prętów paliwowych do badawczego reaktora jądrowego

Makieta miniaturowej („walizkowej”) bomby jądrowej demonstrowana przez kongresmana Dana Burtona

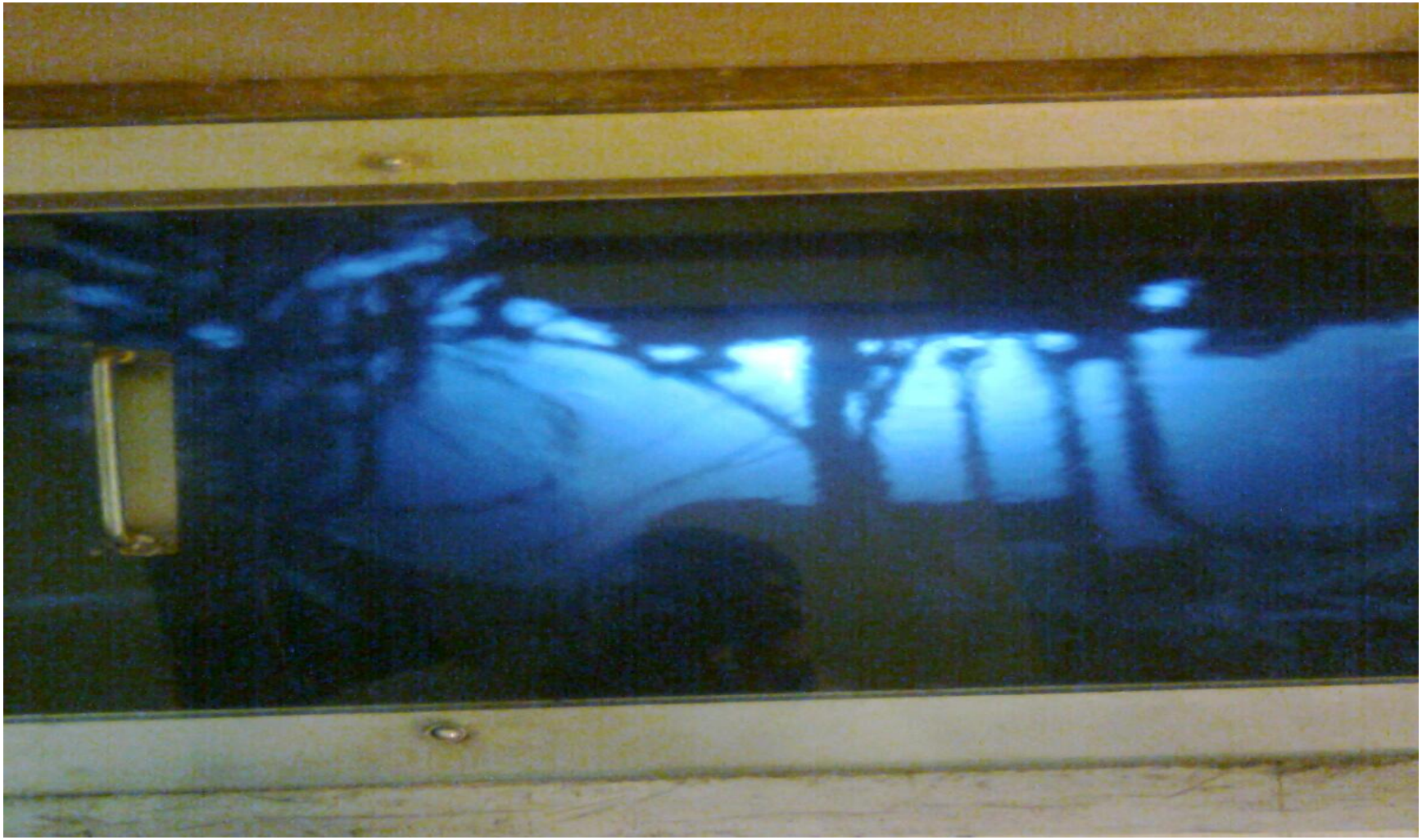
Fotografia lotnicza zakładów wzbogacania uranu w Oak Ridge (USA)



"Wypalone" paliwo jądrowe w przechowalniku (nadaje się m.in. do produkcji broni jądrowej)

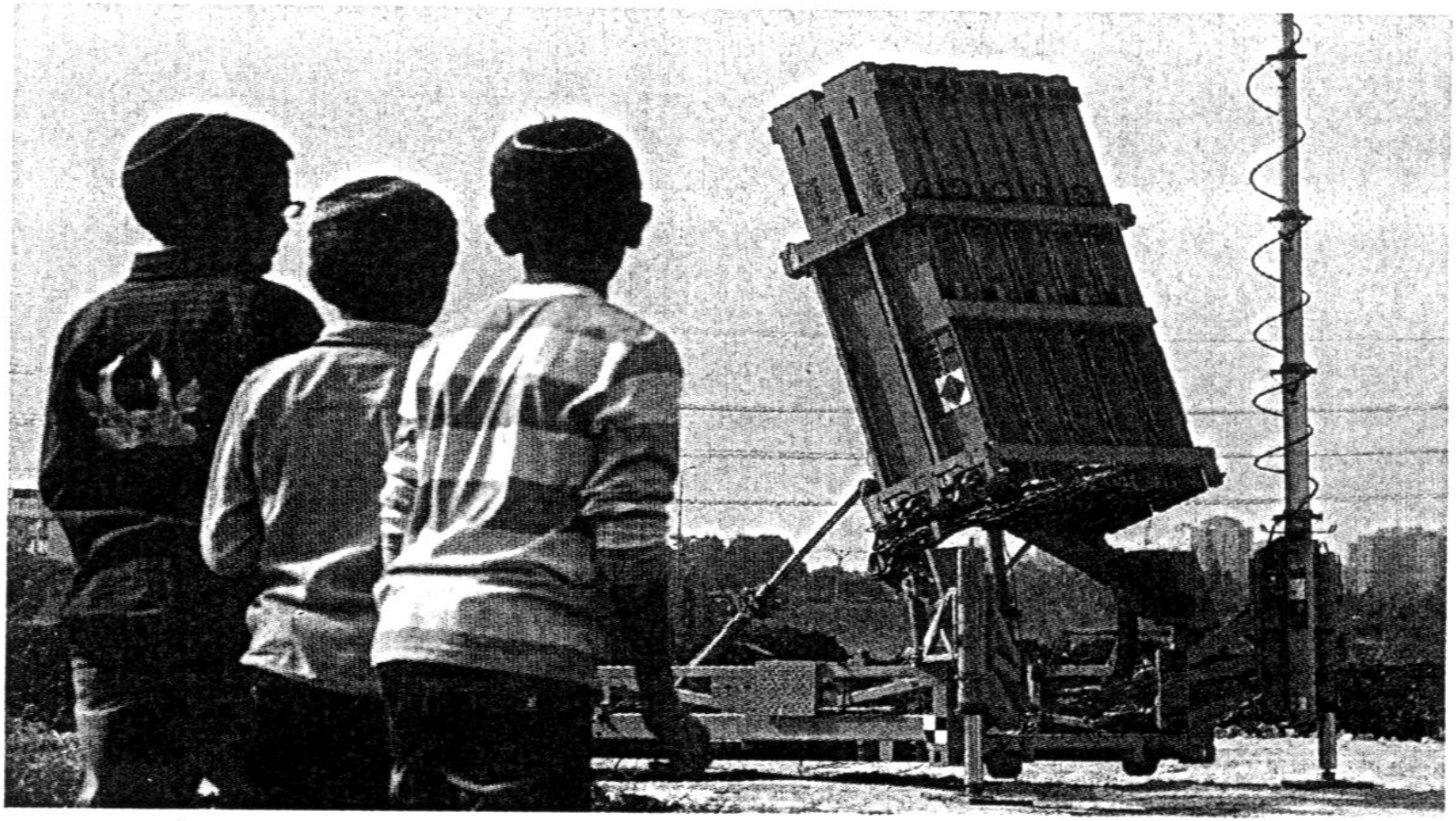


Świecenie wody nad rdzeniem badawczego reaktora jądrowego



Przykład materiału skażonego radioaktywnie

Przykład taktycznego systemu antyrakietowego



Przykład dozymetru z licznikiem Geigera-Mülera

Podsumowanie i wnioski

- Wybuch wojny z użyciem na dużą skalę broni jądrowej, przenoszonej przy użyciu tradycyjnych środków, takich jak samoloty i rakiety jest raczej mało prawdopodobny. Ten wariant konfliktu spowodowałby ogromne straty w ludziach oraz totalne zniszczenie środowiska, a jego rozwój może wymknąć się spod kontroli dowódców. Dlatego końcowy skutek takiej wojny jest trudny do przewidzenia. Podane uwarunkowania są czynnikiem zniechęcającym do tego wariantu konfliktu, a światowe arsenały broni jądrowej spełniają też rolę tzw. „środka odstraszania”.
- Bardziej prawdopodobne jest użycie energii jądrowej w ograniczonym zakresie i w innowacyjny sposób w celu osiągnięcia choćby krótkotrwałej przewagi nad nieprzyjacielem. Współczesne środki techniczne, m.in. drony, globalizacja, szerokie zastosowanie energii jądrowej w celach cywilnych i uzależnienie od technologii informacyjnych powodują, że niebezpieczeństwo takiego wariantu użycia jest bardziej realne.
- Żeby przeciwdziałać temu użyciu należałoby przygotować odpowiednie środki prewencyjne, m.in. obronę przed dronami ("mur antydronowy", system Skyctrl), kontrolę transportu materiałów jądrowych, ciągły monitoring stanu środowiska, zwłaszcza jego radioaktywności, zwiększyć ilość systemów zasilania awaryjnego, edukować społeczeństwo ...
- Referat nie wyczerpuje tematu, który ma charakter rozwojowy. To jest próba zwrócenia uwagi na ważny problem i potrzebę kontynuacji badań.

Bardzo dziękuję Państwu za uwagę