

## ELEKTROWNIA JĄDROWA, TO NIE BOMBA

Jerzy Kubowski

Elektrownię jądrową z bombą atomową łączy tylko jedno: ich działania są oparte na wykorzystaniu tego samego zjawiska, jakim jest rozszczepienie jądra atomu uranu. Reakcja tego rodzaju zachodzi wskutek zderzenia neutronu z jądrem atomu uranu – 235. Efektem jest rozpad jądra na kilka części i emisja dwóch lub trzech neutronów. Powstałe neutrony z kolei dokonują rozszczepień innych jąder atomów uranu, i proces się powtarza; w ten sposób reakcja przybiera charakter lawinowy. Chociaż przebiegające w tych obiektach reakcje jądrowe są tożsame, to wszakże pod względem konstrukcyjnym i procesów wyzwalań energii cieplnej istnieją między nimi zasadnicze różnice. Daje się je dostrzec już w stosowanych kompozycjach materiałów rozszczepialnych, co wyeksponowane zostało za pomocą diagramu 1. O ile do wytwarzania energii w elektrowni jądrowej (EJ) wystarczy względnie niewielka procentowa zawartość rozszczepialnego izotopu uranu – 235 (3 – 5%), o tyle w przypadku bomby atomowej (BA) udział tego izotopu jest nieporównywalnie większy: sięga do ponad 90%. W celu otrzymania uranu wzbogaconego w izotop uranu – 235, uran naturalny poddaje się tzw. procesowi przetwarzania, w trakcie którego za pomocą różnych metod (m.in. szeroko stosowanego centryfugowania) odseparowuje się od niego nierozszczepialny izotop uranu – 238.

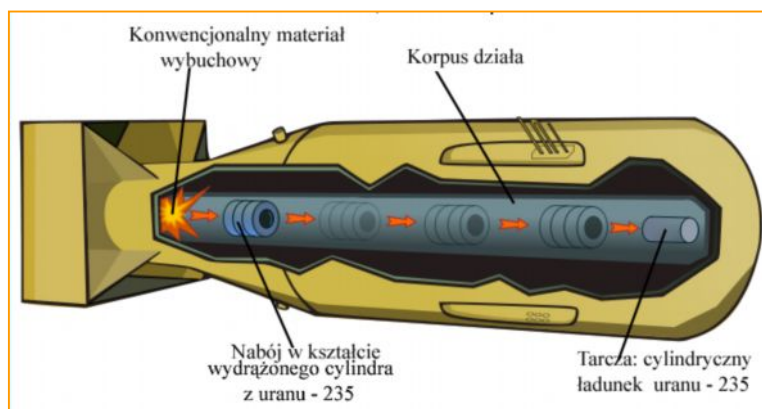
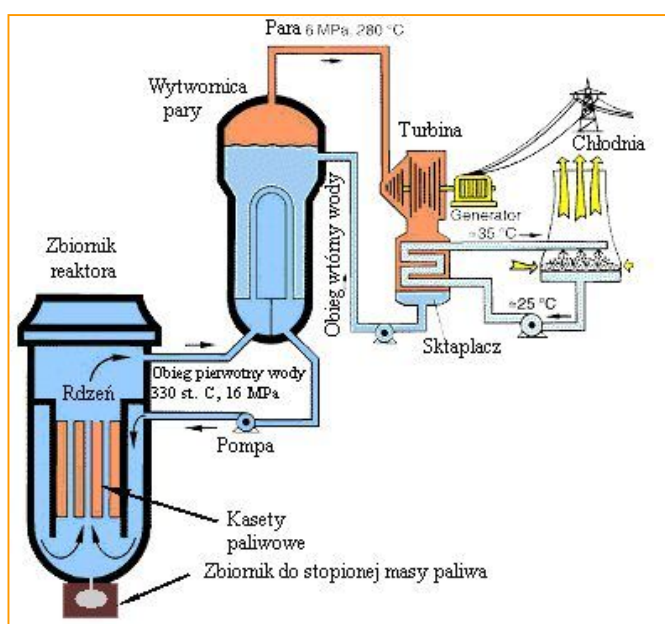
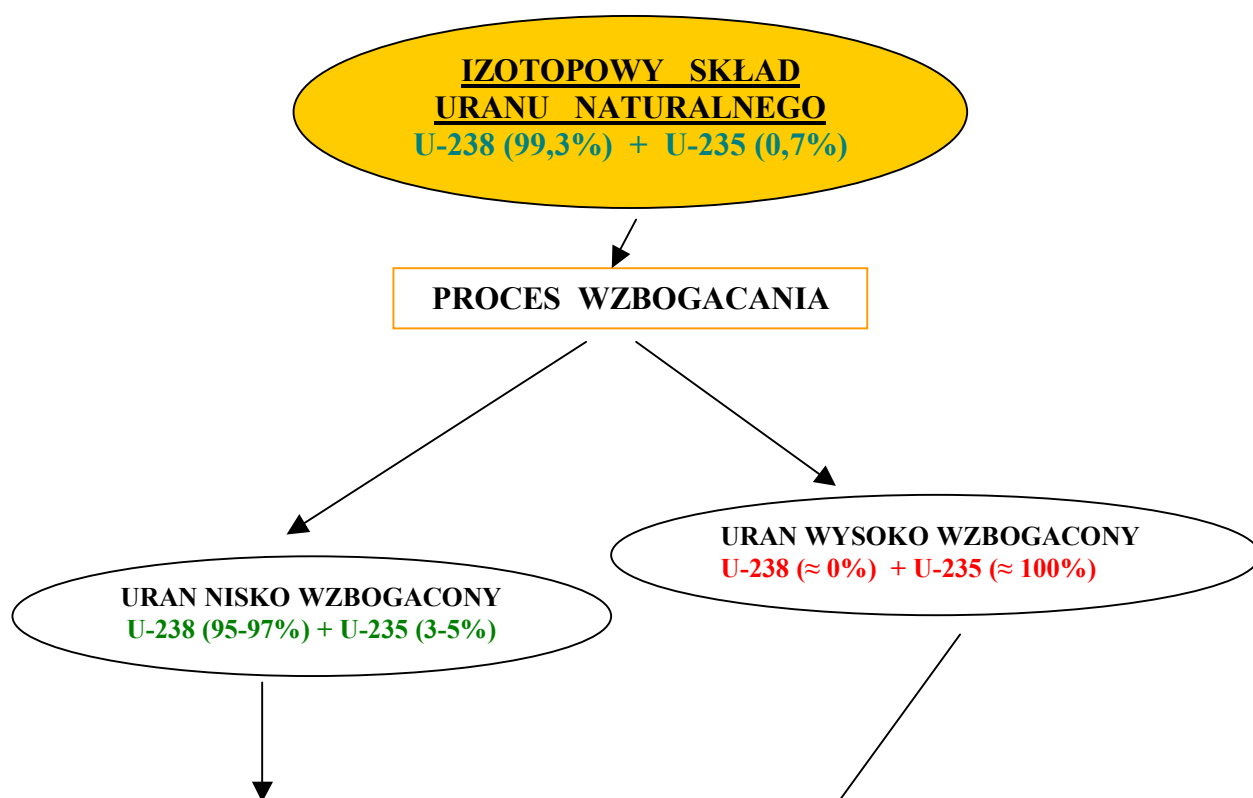
Konstrukcje EJ i BA (rys. 1 i 2) są do siebie zupełnie niepodobne między innymi dlatego, że masy stosowanego materiału jądrowego w jednym i drugim przypadkach różnią się o kilka rzędów wielkości: w EJ masa uranu (w postaci dwutlenku uranu) wynosi 100 – 130 t, a w bombie (w zależności od konstrukcji) – od kilkunastu do kilkudziesięciu kilogramów. Odmienność konstrukcji, którą pokazują rysunki 1 i 2 wynika także z przeznaczenia obu obiektów: w EJ – podobnie jak w konwencjonalnej elektrowni – chodzi o generowanie energii w sposób kontrolowany, w BA zaś – o jej gwałtowne, wybuchowe wyzwolenie.

Zasada budowy BA polega na tworzeniu **nadkrytycznej masy** uranu, co – w najprostszym rozwiązaniu - oznacza złączenie dwóch **podkrytycznych ładunków z wysoko wzbogaconego metalicznego uranu**. Paliwo jądrowe w postaci ceramiki tlenkowej ( $UO_2$ ), stosowane w EJ, do budowy BA się nie nadaje. Trzeba podkreślić, iż **samopodtrzymująca się reakcja rozszczepienia w podkrytycznej masie uranu nie zachodzi**. Do jej wytworzenia potrzebna jest **masa krytyczna**. Różnica między **masą krytyczną a nadkrytyczną**<sup>1</sup> polega na tym, że w **masie krytycznej samopodtrzymująca się reakcja rozszczepienia przebiega ze stałą intensywnością, natomiast - w nadkrytycznej jej rozwój charakteryzuje się ciągłym wzrostem**. W reaktorze jądrowym wzrost jest regulowany (hamowany lub wzmacniany) za pomocą układu sterowania, w bombie zaś jest nieograniczony, aż do momentu zniszczenia.

---

<sup>1</sup> Masa krytyczna: minimalna ilość materiału rozszczepialnego, w którym zachodzi samopodtrzymująca się reakcja rozszczepienia. Masa nadkrytyczna uranu – 235 w BA jest ok. trzykrotnie większa niż masa krytyczna tego materiału.

## DIAGRAM 1.



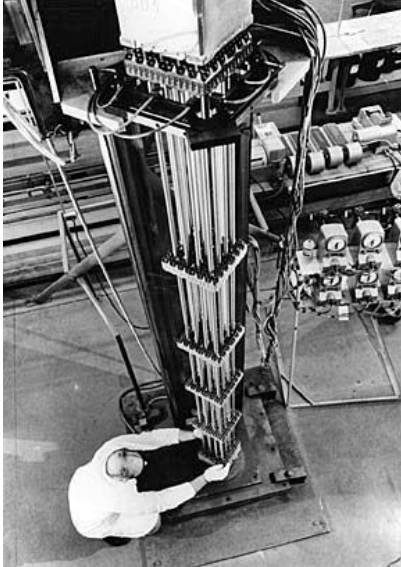
Rys. 2. Najprostsza konstrukcja bomby atomowej typu artyleryjskie działo<sup>1</sup> (masa uranu w naboju: ok. 26 kg, masa uranu w tarczy: ok. 38 kg)

Rys.1. Schemat pracy elektrowni jądrowej<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Źródło: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gun-type\\_fission\\_weapon\\_en-labels\\_thin\\_lines.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gun-type_fission_weapon_en-labels_thin_lines.svg)

<sup>2</sup> Źródło: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gun-type\\_fission\\_weapon\\_en-labels\\_thin\\_lines.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gun-type_fission_weapon_en-labels_thin_lines.svg)

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat technologiczny elektrowni jądrowej z najbardziej rozpowszechnionym reaktorem typu PWR (Pressurized Water Reactor – reaktor wodny ciśnieniowy). Paliwo jądrowe w postaci pęków elementów paliwowych – kaset (rys. 3) jest umieszczone w zbiorniku reaktora, a generowane ciepło odprowadza się za pomocą obiegu wody pod ciśnieniem



**Rys. 3.** Montaż kasyety paliwowej: elementy paliwowe są w postaci cienkich prętów<sup>1</sup>

Warunkiem koniecznym wywołania reakcji rozszczepienia, w której wyniku następuje wybuchowe wyzwolenie energii, jest szybkie złączenie podkrytycznych, metalicznych mas. Jeśli szybkość będzie niedostateczna, to generujące się ciepło - wskutek przedwcześnie rozwijającej się reakcji rozszczepienia - może doprowadzić do stopienia się uranowego ładunku, lub do jego fragmentacji. Oczywiście, iż w takim przypadku do eksplozji nie dojdzie. Do szybkiego tworzenia nadkrytycznej masy (tylko i wyłącznie w tym celu) zawsze wykorzystuje się konwencjonalny (chemiczny) materiał wybuchowy. Dotyczy to zarówno budowy bardzo prostej bomby pokazanej na rys. 2, jak również wysoce zaawansowanych, nowoczesnych konstrukcji. Powstająca fala detonacyjna, działając na nabój powoduje złączenie podkrytycznych ładunków zazwyczaj w przedziale czasu:  $10^{-7}$ s –  $10^{-8}$ s. W pierwszej bombie tego typu, zrzuconej 6 sierpnia 1945 r. na Hiroszimę, czas był względnie długi – wynosił ponad 1 ms. W przypadku bomby typu artyleryjskie działo, pod wpływem wybuchu materiału chemicznego (ok. 40 kg trotylu – TNT), wydrażony cylindryczny nabój z metalicznego uranu – 235, posuwając się w lufie, łączy się z cylindryczną tarczą z takiego samego uranu, tworząc w efekcie masę nadkrytyczną.

W dobie walki z terroryzmem może się pojawić pytanie: czy istnieje możliwość takiego uszkodzenia EJ pod wpływem działania zewnętrznych sił (w postaci np. rakiet, samolotów, zdetonowania pojazdu z materiałem wybuchowym itp.), które byłyby w stanie doprowadzić do wybuchu jądrowego? Najpierw trzeba odpowiedzieć na pytanie: co to jest wybuch jądrowy? Jest nim taka eksplozja materiału rozszczepialnego (np. uranu – 235), podczas której występują następujące zjawiska:

<sup>1</sup> Źródło: [http://blogs.princeton.edu/chm333/f2006/nuclear/05\\_fuel\\_fabrication/01\\_types\\_of\\_fuel/](http://blogs.princeton.edu/chm333/f2006/nuclear/05_fuel_fabrication/01_types_of_fuel/)

- fala uderzeniowa (wywołuje ją nagła zmiana ciśnienia, powstająca pod wpływem różnicy temperatur w ognistej kuli, jaka się formuje podczas wybuchu),
- promieniowanie ciepłe o szerokim widmie elektromagnetycznym (w tym światło widzialne i promieniowanie podczerwone),
- promieniowanie jonizujące (w tym głównie promieniowanie gamma i neutronowe, emitowane w ciągu pierwszej minuty po eksplozji),
- emisja energii w postaci impulsu elektromagnetycznego,
- w momencie wybuchu temperatura materiałów konstrukcyjnych bomby osiąga dziesiątki milionów stopni,

Z powyższego wynika, że przy tak niskim wzbogaceniu uranu, jakiego się używa w EJ, powstanie wybuchu jądrowego - skutek uszkodzenia jakichkolwiek jej elementów pod działaniem sił zewnętrznych, a nawet w przypadku opanowania obiektu przez terrorystów - jest niemożliwe.

To wszakże nie oznacza, iż w EJ nie może dojść tak szybkiego awaryjnego wzrostu mocy, którego efektem stanie się stopienie paliwa, lub wybuch parowy. Zdarzenia takie mogą powstać w wyniku uszkodzenia systemu bezpieczeństwa, lub odbioru ciepła. Są to wprawdzie sytuacje hipotetyczne, jednakże licząc się z taką ewentualnością, wszystkie reaktory typu PWR w nowoczesnych elektrowniach są wyposażone w zbiorniki do akumulacji stopionej masy paliwa, której temperatura sięga ok. 2800 °C.

Dla zobrazowania złożoności takiego urządzenia, na poniższych fotografiach<sup>1</sup> pokazano konstrukcję zbiornika w budowanej obecnie elektrowni jądrowej (LAES – 2) w obwodzie leningradzkim (pod St. Petersburgiem): dwa bloki o mocy elektrycznej 1198 MW każdy, z reaktorami WWER (rosyjskie reaktory typu PWR). Charakterystyczną cechą tego urządzenia jest to, że zapobiega ono ewentualnemu oddziaływaniu stopionej masy paliwa na płytę fundamentową reaktora i nie dopuszcza do wydostawania się substancji promieniotwórczych na zewnątrz zbiornika. Chłodzenie zbiornika odbywa się na zasadzie biernego układu odbioru ciepła. Ponadto wewnętrzna konstrukcja uniemożliwia powstawanie stanu krytycznego. O trudnościach zabudowania zbiornika w szybie reaktora świadczy fakt, iż do montażu trzeba było zakupić w USA specjalistyczny dźwig i przeszkolić tam brygadę operatorów.

---

<sup>1</sup> Źródła: (<http://www.baltinfo.ru/tops/Unikalnaya-lovushka-zaschitit-LAES-2-ot-avarii-kotoroi-ne-mozhet-byt-121217/>); (<http://blogstroyka.rosatom.ru/2009/12/lovushka-prodolzhenie/>); (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2103>); ([http://www.energomash.ru/uploads/posts/2009-11/1257431648\\_razrez\\_ulr.jpg](http://www.energomash.ru/uploads/posts/2009-11/1257431648_razrez_ulr.jpg)); (<http://www.vertikalnet.ru/novosti/detail.php?ID=13327>)



**Rys. 4.** Korpus zbiornika o masie 160 t



**Rys. 5.** Zbiornik o masie ponad 800 t



**Rys. 6.** Transport korpusu i zbiornika



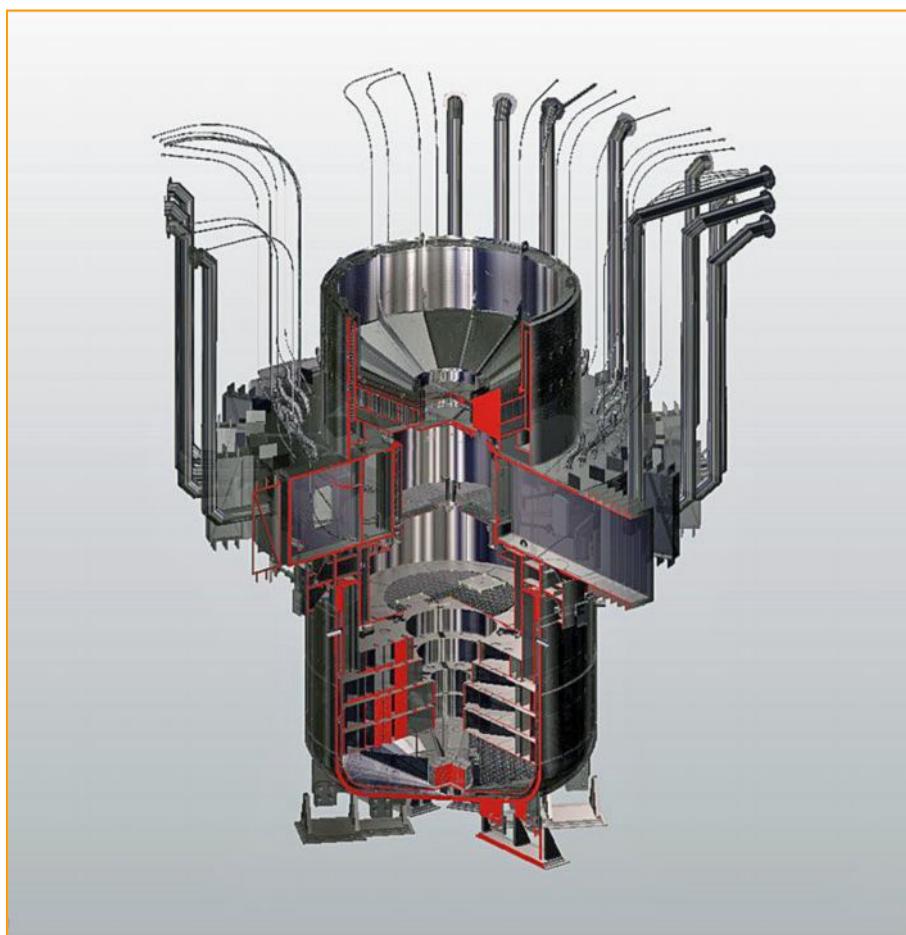
**Rys. 7.** Dźwig amerykańskiej firmy Manitowoc o udźwigu ponad 700 t i wysięgu ok. 70 m



**Rys. 8.** Ładowanie zbiornika do szybu reaktora



**Rys. 9.** Prace montażowe przy budowie



**Rys. 10.** Przekrój kompletnego urządzenia (korpus i zbiornik) do akumulacji roztopionej masy paliwa; w centralnej części zbiornika widać stożkowate (lejkowate) ujęcie; na zewnątrz – pręty stalowe przed zalaniem szybu betonem. Zbiornik ma dwie ścianki: grubość pierwszej wynosi 60 mm., drugiej – 30 mm. Przestrzeń między nimi jest wypełniona specjalnym materiałem złożonym z granulek tlenków żelaza i aluminium.