

# Rola energetyki jądrowej w wytwarzaniu energii elektrycznej



[18.12.2008 r.]

OPRACOWANIE:

mgr inż. Ewelina Różycka

## ENERGIA JĄDROWA – TROCĘ WIADOMOŚCI PODSTAWOWYCH

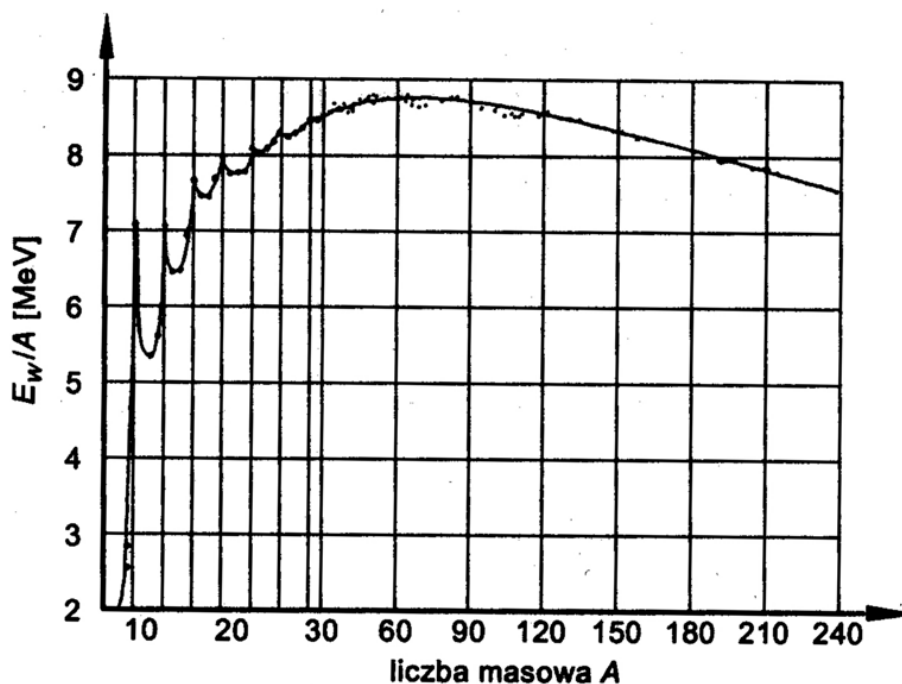
Temat mojego opracowania ściśle wiąże się z pojęciem energii jądrowej, dlatego postaram się sprecyzować definicję energii jądrowej:

Można tu mówić o dwóch procesach:

- naturalnych rozpadów promieniotwórczych, w których emitowane są cząstki (alfa, beta, neutrony, ...) lub fotony (promieniowanie gamma)
- oraz o procesach, w których doprowadzamy do reakcji jądrowej, w wyniku której wyzwolona zostaje energia.

Do pierwszej grupy zaliczymy np. spontaniczne rozszczepienie jądra uranu. To jednak następuje rzadko, natomiast możemy względnie łatwo spowodować rozszczepienie tego jądra (przede wszystkim izotopu  $^{235}\text{U}$ ) przez neutron o niewielkiej energii. Również w wypadku syntezy (fuzji) jąder wydziela się energia.

Wszystko to bierze swój początek w zależności *energii wiązania* przypadającej na nukleon, od *liczby masowej  $A$*  ( rys.1.).



Rys.1. Energia wiązania na nukleon w funkcji liczby masowej – „najważniejszy wykres Wszechświata” wg A. Hryniewicza.

Interpretując wykres widzimy, że energia wiązania przypadająca na nukleon jest średnią energią, jaką należy dostarczyć do jądra, by uwolnić z niego jeden nukleon. Podobnie, jeśli nukleony wiążą się ze sobą w jedno jądro, wydziela się energia równa sumie energii wiązania nukleonów w tym jądrze. Z rys.1. wynika, że energia wiązania dla  $A = 4$ , (a więc dla helu-4 ( ${}^4\text{He}$ )) wynosi ponad 7 MeV/nukleon 4, podczas gdy dla  ${}^3\text{He}$  wynosi ona ok. 2,5 MeV. Synteza jąder wodoru w jądro helu (reakcja zachodząca często na Słońcu), powoduje wydzielenie energii 26,1 MeV. Łatwo możemy zauważyć, że energia wiązania nukleonu zmniejsza się dla ciężkich jąder, a co za tym idzie - rozpad ciężkiego jądra daje zysk energetyczny.

Przedstawiony na rys.1 wykres wyjaśnia z jednej strony źródło energii gwiazd, a z drugiej możliwość uzyskiwania energii z rozpadów, a w szczególności z rozszczepienia jąder ciężkich, jak np. uran. Takie właśnie zjawisko wykorzystywane jest w elektrowniach jądrowych.

Nie bez powodu A. Hryniewicz nazwał go „najważniejszym wykresem Wszechświata”.

## KRÓTKI ZARYS HISTORII

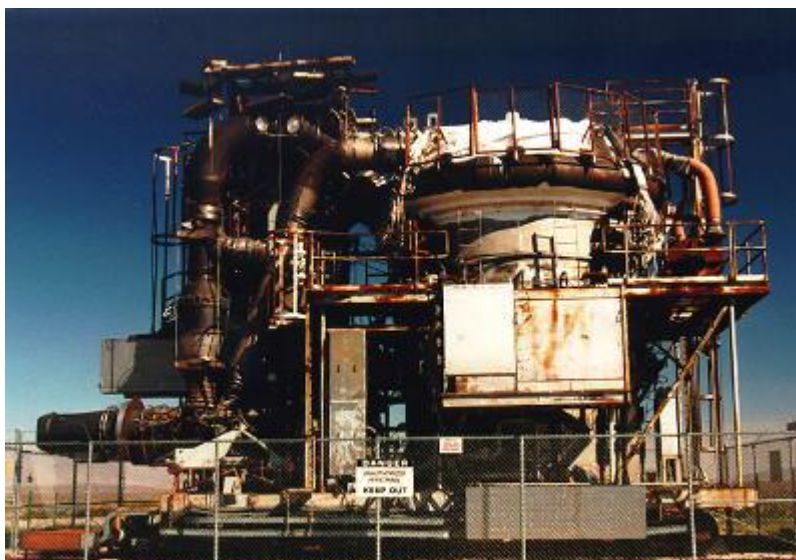
W roku 1932 James Chadwick odkrył neutrony. Rok później Cockroft i Walton stwierdzili istnienie promieniotwórczości produktów reakcji z przyspieszonymi w akceleratorze protonami. Kolejny krok nastąpił gdy Enrico Fermi wykazał, że użycie neutronów pozwala na wyprodukowanie znacznie większej liczby izotopów promieniotwórczych niż przy użyciu protonów. W roku 1939 Otto Hahn i Fritz Strassman odkryli zjawisko rozszczepienia, choć interpretację ich eksperymentu należy zawdzięczać Lise Meitner i Jej siostrzeńcowi Otto Frischowi, którzy pracowali w tym czasie na wygnaniu pod okiem Nielsa Bohra.

Fizycy szybko zdali sobie sprawę z ogromnej energii wyzwalanej w procesie rozszczepienia jąder uranu. Doceniając nowe możliwości stwarzane przez energię wyzwalaną w takiej reakcji, w Związku Radzieckim utworzono w roku 1940 specjalny Komitet ds Problemu Uranu. Prace naukowe tego Komitetu zostały przerwane w związku z napaścią Niemiec na ZSRR.

W trakcie trwania intensywnego, wojennego wyścigu zbrojeń Peierls i Frisch wystosowali do rządu brytyjskiego dokument znany pod nazwą Memorandum Peierlsa-Frischa, w którym wykazywali, że z 5 kg  ${}^{235}\text{U}$  można stworzyć bardzo skuteczną bombę, której detonacja

będzie równoważna kilku tysiącom ton dynamitu. Wskazali oni również na znaczenie izotopu  $^{235}\text{U}$ . Memorandum spowodowało silne zainteresowanie wielu brytyjskich uniwersytetów rozszczepieniem uranu. Uczni ci utworzyli tzw. Komitet MAUD (od imienia niani jednego z członków). Już w roku 1940 wykazano na Uniwersytecie w Cambridge, że przy użyciu powolnych neutronów można otrzymać samopodtrzymującą się reakcję w mieszaninie tlenku uranu i ciężkiej wody. Wkrótce też odkryto możliwość przekształcenia  $^{238}\text{U}$  w rozszczepialny  $^{239}\text{Pu}$ . W wyniku dalszych prac grupa MAUD przedstawiła raport wykazujący, że kontrolowana reakcja łańcuchowa może zostać wykorzystana do produkcji ciepła lub energii elektrycznej.

Koniec wojny zwrócił także uwagę na możliwości pokojowego wykorzystania energii jądrowej choćby do produkcji elektryczności. Pierwszym zbudowanym reaktorem i to typu reaktora powielającego był reaktor EBR-1 (od ang. *Experimental Breeder*) w Idaho w USA, rys. 2. Uruchomiono go w grudniu 1951 r. Równolegle w USA i ZSRR prowadzono prace nad konstrukcją reaktorów różnych typów – nastąpiła era energetyki jądrowej, której zadanie jednak nie zawsze miało jedynie pokojowy charakter. Wystarczy choćby wspomnieć o budowie statków wojennych, w tym okrętów podwodnych, napędzanych energią jądrową. Pierwszym takim okrętem podwodnym był USS Nautilus zwodowany w 1954 roku. Pierwsze okręty pojawiły się w obu konkurujących krajach w roku 1959. Na lądzie zaś budowano reaktory do produkcji plutonu, pozwalające usuwać z rdzenia pluton w chwili gdy zawartość izotopu nadającego się do bomby atomowej była w nim największa. Reaktory te powstawały w ośrodkach militarnych i ich bezpieczeństwo było znacznie niższe niż bezpieczeństwo elektrowni jądrowych. Utrzymywano je jednak w ruchu, gdyż uzyskiwany w ten sposób pluton nadawał się doskonale do bomb atomowych.



Rys. 2. Pierwszy reaktor powielający EBR-1 w Idaho, USA

### NASZE POTRZEBY ENERGETYCZNE

Bardzo ważne jest, by poruszyć temat potrzeb energetycznych w Polsce. Energia, podobnie jak powietrze i woda, jest absolutnie niezbędna do życia człowieka.

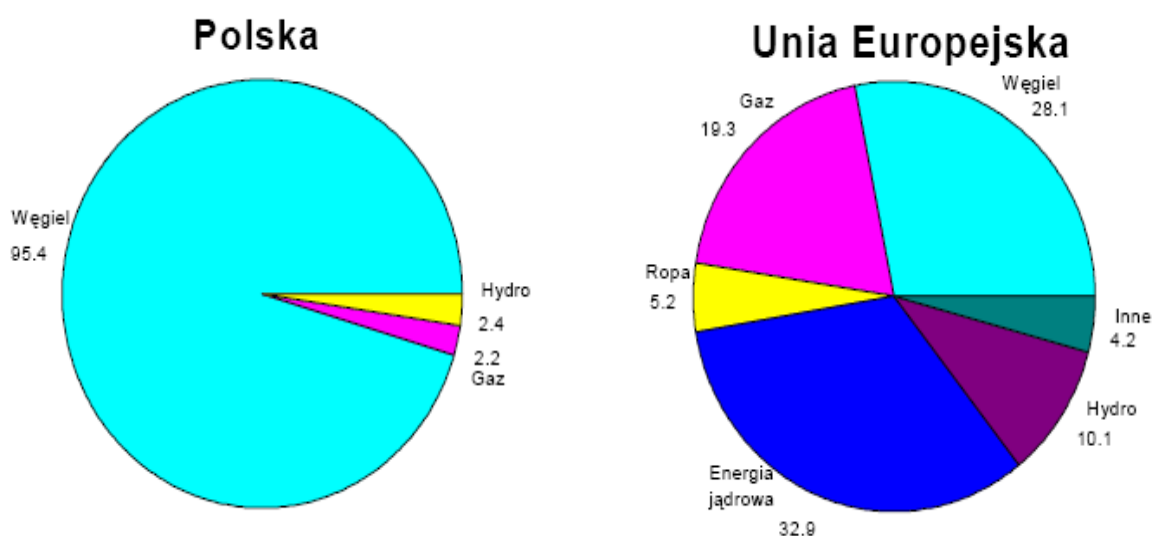
Z dostępnych materiałów wynika, że w Polsce zapotrzebowanie na energię rośnie wraz z rozwojem gospodarczym kraju.

Dane dostępne za lata 1960 – 2000 oraz szacunki na okres powyżej 2000 roku przedstawione w tabeli poniżej, wskazują jednoznacznie na ciągły wzrost zapotrzebowania na energię na całym świecie. (wg G. Jeziński „Energia jądrowa wczoraj i dziś”)

ROK	1960	1980	2000	2020	2050
Ludność świata	3 mld <b>odniesienie</b>	4,4 mld x 1,5	6 mld x 2	7,5 mld x 2,5	8-10 mld x 2,7-3
Energia całkowita (ciepło, elektryczność i transport)	100%	210%	320%	450%	Ponad 600%
Elektryczność	100% (=2000 TWh)	400%	700% (=15000 TWh)	1000%	2000% (=42000 TWh)

W Polsce ponad 94% energii elektrycznej uzyskuje się z elektrowni spalających węgiel kamienny lub brunatny. Natomiast w Unii Europejskiej dominującym źródłem energii elektrycznej jest energetyka jądrowa, która w 2004 roku pokrywała niemal 32% ogólnego zapotrzebowania.

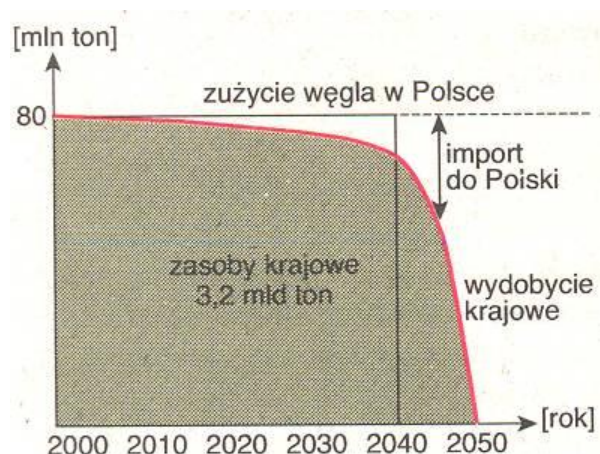
Węgiel był w UE źródłem 29,7% energii elektrycznej, a gaz ziemny 18%.



Rys. 3. Struktura zasobów energetycznych w Polsce i w Unii Europejskiej  
(wg „Energia jądrowa i jej wykorzystanie” - Dobrzyński, Strupczewski)

Jak widać na powyższych diagramach obecnie w Polsce prawie 95% energii elektrycznej wytwarza się z krajowych zasobów węgla. – Polska „węglem stoi”. Ilość węgla, który przy obecnym poziomie kosztów oplaca się wydobywać wynosi 3,2 mld ton. Obecne wydobycie jest na poziomie 80 mln ton rocznie– co pokazano na kolejnym rysunku 4.

Istotny problem w zapotrzebowaniu na energię odgrywa dostępność rodzimych paliw w Polsce. Jak się ocenia, zasoby węgla w dotychczas pracujących kopalniach zaczną się wyczerpywać w połowie lat 40., a budowa nowych kopalni by eksploatować złoża położone na większych głębokościach i trudniejsze do wydobycia, będzie znacznie bardziej kosztowna.



Rys. 4. Prognoza podaży krajowego węgla w Polsce

(wg Dryżewski J. Rubczyński A. Możliwości poprawy efektywności energetycznej Polski. Rzeczpospolita 11. września 2006 r – [www.GEOLAND.PL](http://www.GEOLAND.PL))

Warto wcześniej zastanowić się, co się stanie, gdy nastąpi całkowite wyczerpanie naszych zasobów węgla. Czy istnieją rozbudowane systemy, które są w stanie nam zapewnić wystarczającą ilość energii? Jaka jest alternatywa?

**Węgiel kamienny.** Zasoby operatywne istniejących kopalń w Polsce wystarczą na ok. 38 - 40 lat, a w przypadku budowy nowych kopalń – na ok. 100 lat, jednak o znacznie wyższych kosztach wydobycia. Zasoby światowe wystarczą na ok. 200 lat.

**Węgiel brunatny.** Zasoby w istniejących kopalniach wystarczą na ok. 30 lat. Możliwe jest pozyskanie nowych złóż węgla brunatnego, budowa nowych kopalń odkrywkowych, co pozwoli na wydłużenie okresu eksploatacji do ok. 100 lat. Nowe kopalnie odkrywkowe, to wzrost cen paliwa oraz widoczna degradacja środowiska naturalnego.

**Gaz ziemny.** Zasoby krajowe gazu nie wystarczają na pokrycie dotychczasowego zapotrzebowania - te mają znaczenie jedynie dla krótkoterminowego bezpieczeństwa dostaw.

Na rynku światowym przy obecnym poziomie dostaw gazu wystarczy na około 67 lat.

Z uwagi na wysokie ceny, niskie krajowe wydobycie i bezpieczeństwo energetyczne dla energetyki nie jest to przyszłościowe rozwiązanie. Obecnie jedynie 3% energii elektrycznej wytwarzane jest z gazu ziemnego – zużywany jest głównie w procesach przemysłowych i ogrzewaniu budownictwa rozproszonego. Spalanie gazu ziemnego bez prowadzenia procesu kogeneracji jest marnotrawstwem energii pierwotnej.

**Ropa.** Zasoby ropy są ograniczone, w sposób ciągły wzrastają koszty jej wydobycia. Ponadto surowiec ten ma wiele innych zastosowań poza jej spalaniem. Jest zbyt cennym surowcem dla przemysłu chemicznego oraz podstawowym źródłem energii w komunikacji samochodowej czy lotniczej.

**Odnawialne źródła energii OZE.** Energia odnawialna jest droższa od węglowej i jądrowej. Aby producentom opłacało się rozwijać odnawialne źródła energii (OZE), trzeba im dopłacać, i to dużo.

Obecnie uzyskiwana energia z elektrowni wodnych a także ewentualnie z inwestycji w zakresie Małej Energetyki Wodnej (MEW) wynosi nieco mniej niż 4 TWh rocznie (wg R. Trechciński: OZE a energetyka jądrowa. Kryterium porównawcze, Warszawa, dnia 2006-11-07.)

W naszym systemie elektroenergetycznym można by zainstalować nawet około 5 GW w elektrowniach wiatrowych, np. 2000 wiatraków o mocy 2,5 MW. Oczywiście elektrownie te musiałyby mieć buforowe zasilanie (zapewniające dostawy energii do sieci, kiedy nie wieje wiatr. Budowa wiatraków oznacza więc duże obciążenie dla sieci i konieczność utrzymywania dużych mocy rezerwowych w postaci buforowego użytkowania elektrowni konwencjonalnych. Te buforowe elektrownie (tzw. gorąca rezerwa) dostarczają od 3 do 4 razy więcej energii niż wiatraki. Koszty wprowadzania energii odnawialnych pokrywane są przez odbiorców, czyli wszystkich obywateli.

W artykule R. Trechcińskiego podano proste przeliczenie obrazujące jak różnica kosztów wytwarzania np. pomiędzy 6 Euroc/kWh a 4 Euroc/kWh wpłynie na poziom życia obywateli. Obliczenie to jest bardzo proste: 200 TWh rocznie należy pomnożyć przez 2 Euroc/kWh. Rezultat to tracone 4 mld Euro rocznie. Jeżeli rozłożymy te dodatkowe koszty równo całą naszą populację, to łatwo można uzyskać wniosek końcowy, że każda czteroosobowa rodzina będzie rocznie obciążona kwotą około 1500 zł.

Korzystanie z biomasy możliwe jest w 2-ch wariantach. Pierwszy, to spalanie lub współ-spalanie drzewa pochodzącego głównie z oferty lasów państwowych. Z tego źródła energii można liczyć na około 2 TWh rocznie. Drugi wariant, to uprawy roślin energetycznych jak wierzba krzewiasta (wiklina), ślazowiec pensylwański, miskantus i inne. Przykładem takiej hodowli energetycznej może być ślazowiec pensylwański, który staje się coraz bardziej popularny wśród roślin energetycznych. Zapewnia on wydajność spalania  $100\ 000 \div 300\ 000\ \text{MJ ha}^{-1}$  i ciepło spalania  $11-18\ \text{MJ kg}^{-1}$ . Do spalania używa się sprasowanej masy lub zrębków, lub masy granulowanej w postaci brykietów czy peletów. Z

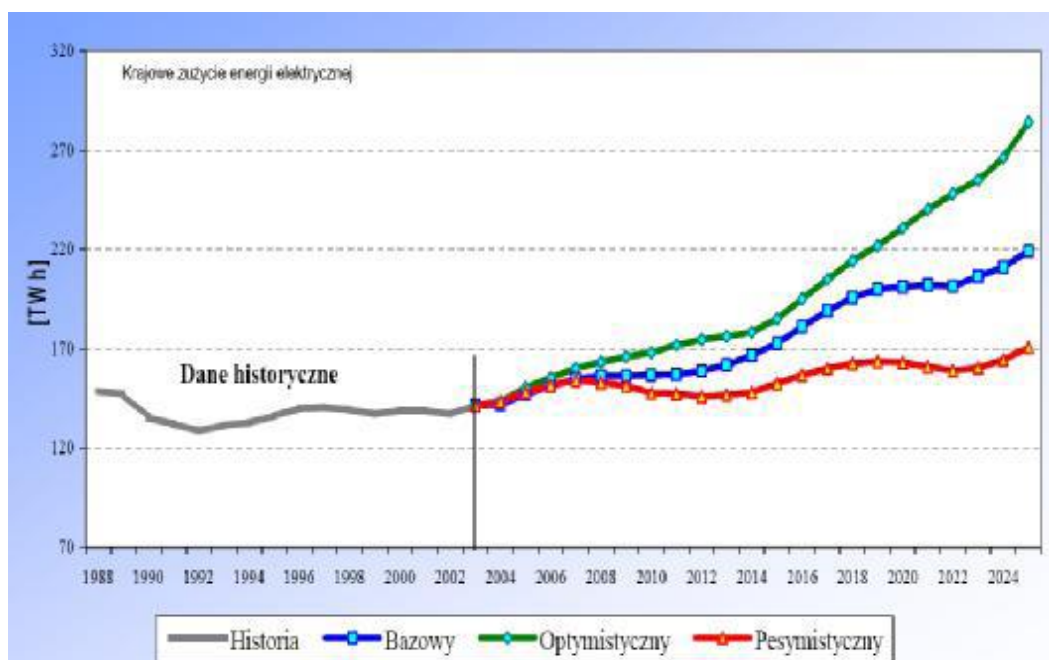


1-go kg ślázowca można uzyskać około 1,4 kWh. Dla uzyskania 2 TWh rocznie energii elektrycznej należy korzystać z około 140 000 ha.

Ilość energii, jaką można uzyskać w Polsce z upraw energetycznych, nie jest łatwa do ścisłego określenia, gdyż zależy od rodzaju gleby, kosztów transportu biomasy, który może być zróżnicowany w zależności od warunków lokalnych a także od możliwości przeznaczenia odpowiedniego arealu na uprawy energetyczne. Orientacyjnie jest to od 2 do 4 TWh rocznie (powyżej 2 TWh rocznie koszty wytwarzania byłyby już większe). Średnio 3 TWh rocznie. Razem z biomasą z lasów państwowych daje to około 5 TWh rocznie.

Inne rodzaje energii odnawialnej (geotermia, fotowoltaika) będą możliwe w szerszym zakresie po 2030 r. Tymczasem jak wynika z dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2025 r.”<sup>11</sup> już za 15 lat nasze zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie wynosić około 220 TWh rocznie. Jak widać, nawet przy maksymalnym wykorzystaniu naszych możliwości udział energii odnawialnej nie przekroczy 9 % rocznej produkcji energii elektrycznej w Polsce.

Nawet przy najbardziej optymistycznym wariacie pozyskania mocy ze wszystkich źródeł nie wystarczy ono do pokrycia zapotrzebowania elektryczności w Polsce, które w wariacie bazowym wyniesie 220 TWh w 2025 r. (rys. 5)



Rys. 5. Krajowe zużycie energii elektrycznej  
(studium BSiPE ENERGOPROJEKT Warszawa)

## EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH A ŚRODOWISKO

Zanieczyszczenia produkowane podczas wytwarzania energii są dużym problemem. Środowisko cierpi, a naukowcy ostrzegają przed ociepleniem klimatu wywołanym nadmierną emisją CO<sub>2</sub> do środowiska.

Energia uzyskiwana ze spalania paliw organicznych produkuje zanieczyszczenia, które wydzielane są bezpośrednio do powietrza i przybierają formę gazów cieplarnianych, takich jak np. dwutlenek węgla. Każdego roku w wyniku użycia tych paliw 25 bilionów ton dwutlenku węgla dostaje się do atmosfery, co równa się 70 mln ton dziennie lub 800 ton na sekundę. Mieszkańcy Ameryki Północnej emitują do atmosfery 54 kg dwutlenku węgla dziennie na osobę, w Europie i Japonii wielkość ta wynosi więcej niż 24 kg. Jak się obecnie uważa, gazy cieplarniane są przyczyną efektu cieplarnianego polegającego na tym, iż Ziemia magazynuje coraz więcej energii promieniowania słonecznego, powodując tym samym podnoszenie się poziomu mórz czy występowanie susz i in. Aby ustabilizować koncentrację gazów cieplarnianych w atmosferze, konieczne jest zmniejszenie światowej emisji tych gazów o 50%. To wyzwanie wydaje się jeszcze trudniejsze, biorąc pod uwagę to, że istnieje ogromna potrzeba podniesienia poziomu życia w biedniejszych krajach. Przy zwiększonej emisji gazów i z tych krajów, dzisiejsze kraje uprzemysłowione miałyby zredukować emisję swoich gazów o 75 %.

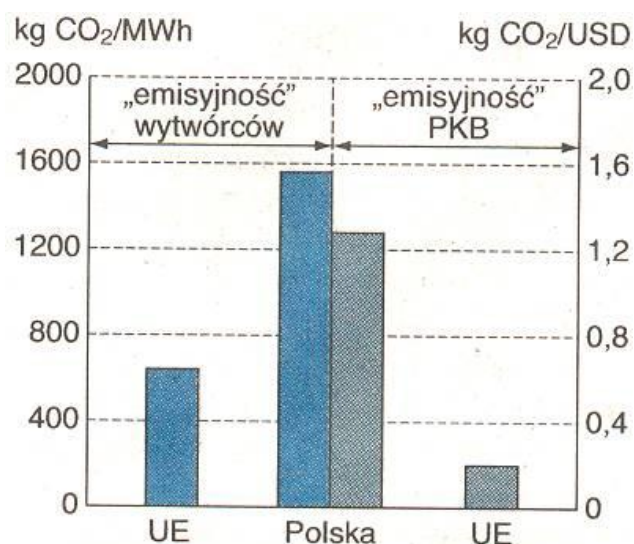
Energia elektryczna wytwarzana jest głównie z paliw kopalnych: węgla, ropy, gazu ziemnego. Wszystkie one podczas spalania emitują CO<sub>2</sub> – najwięcej węgiel. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych można zatem osiągnąć przez wyeliminowanie, lub ograniczenie spalania paliw kopalnych, ewentualnie stosując technologię wychwytu emitowanego z elektrowni węglowych dwutlenku węgla. Elektrownie opalane węglem nie tylko emitują szkodliwe związki chemiczne w postaci gazów lub trujących cząstek (tlenki siarki i azotu – składniki kwaśnego deszczu i smogu), ale również są istotnym światowym źródłem wprowadzania substancji promieniotwórczych do środowiska. Podczas spalania węgla dochodzi bowiem do uwolnienia uranu oraz toru, a podczas jego wydobycia – promieniotwórczego gazu, jakim jest radon, który powstaje w czasie rozpadu uranu znajdującego się w skorupie ziemskiej i normalnie pozostaje pod ziemią.

W ramach protokołu podpisanego w 1997 roku w Kioto, 39 krajów uprzemysłowionych zobowiązało się zmniejszyć emisję 6 gazów cieplarnianych o 5,2% poniżej poziomu w 1990 roku w okresie 2008-2012 r. Unia Europejska jest zdecydowana realizować postanowienia

traktatu z Kioto i gra wiodącą rolę we wprowadzaniu ograniczeń emisji gazów cieplarnianych.

"W związku z tym, że Polska ma znaczące nadwyżki w związku z realizacją Protokołu z Kioto, dysponujemy uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub> i zamierzamy przekazać stosowną część tych uprawnień na rzecz Funduszu Adaptacyjnego, który jest przecież jednym z priorytetów w czasie konferencji. Poza tym, na terenie Polski zamierzamy podjąć działania neutralizujące emisję w postaci sadzenia lasu - las pochłania CO<sub>2</sub>, oraz wymiany żarówek na energooszczędne" – podała Polska Agencja Prasowa po konferencji klimatycznej w Poznaniu 2008 roku.

Problemem jest wielkość limitowanej w UE emisji gazów cieplarnianych i pyłów (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Prawie 100% udział węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej w Polsce, czy wielkość emisyjności PKB, jest wyjątkiem w UE – powoduje, że jesteśmy w czołówce tego procesu w UE. (rys.6)



Rys.6. Porównanie emisyjności CO<sub>2</sub> wytworzenia MWh energii elektrycznej oraz PKB w USD w UE i Polsce

Natomiast warto w tym momencie podkreślić, że istnieje alternatywa dająca możliwość produkcji ogromnej ilości czystej elektryczności na światową skalę bez emisji dwutlenku węgla czy innych gazów cieplarnianych. Alternatywą tą jest oczywiście elektrownia jądrowa.

## ELEKTROWNIE JĄDROWE A BEZPIECZEŃSTWO

Budowa elektrowni jądrowych spędza nam sen z powiek, gdyż boimy się kolejnego Czarnobyla. Warto jest po krótko opisać trzy podstawowe zagrożenia, jakie możemy napotkać, a są to:

- zagrożenie podczas pracy reaktora jądrowego,
- zagrożenie podczas awarii,
- zagrożenie wynikające z likwidacji elektrowni jądrowych.

**Zagrożenia podczas pracy reaktora jądrowego.** Działania przeciwwaryjne w energetyce jądrowej obejmują właściwe projektowanie, wytwarzanie materiałów, budowę i montaż urządzeń oraz właściwą eksploatację. W związku z rozwojem energetyki jądrowej powstały normy dotyczące zapewnienia odpowiedniej jakości oraz objęły inne dziedziny działalności człowieka. Niezależnie od działań dotyczących zapobiegania awarii przewiduje się dodatkowe zabezpieczenia dla zminimalizowania jakiegokolwiek narażenia ludności mające na celu łagodzenie skutków awarii:

- Separacja przestrzenna układów pełniących te same funkcje
- Zwielokrotnianie układów (redundancja) – układy istotne dla bezpieczeństwa obiektu projektuje się w postaci dwóch lub trzech równoległych analogicznych grup technologicznych
- Zróznicowanie obiektów (dywersyfikacja) – układy projektowane są na różnej zasadzie działania
- Automatyzacja procesów ważnych dla bezpieczeństwa obiektu jądrowego.

**Zagrożenia podczas awarii.** Awarie jądrowe mogą powodować uwalnianie się promieniotwórczych izotopów z rdzenia reaktora. Jednak prawdopodobieństwo takich awarii jest bardzo małe, tym bardziej mniejsze jest prawdopodobieństwo uwolnień poza obudowę bezpieczeństwa. W wyniku silnie rozbudowanych systemów bezpieczeństwa reaktorów PWR i BWR poważniejsza awaria jest prawie niemożliwa. Oczywiście absolutne bezpieczeństwo jest technicznie nieosiągalne, nie tylko w energetyce jądrowej, lecz również w każdej innej dziedzinie.

W ciągu ponad 40 lat pracy reaktorów wodnych (PWR i BWR), które stanowią ok. 80% wszystkich reaktorów energetycznych pracujących na świecie, nie wydarzył się ani

jeden śmiertelny wypadek spowodowany napromieniowaniem w wyniku awarii. Na podstawie doświadczeń zebranych z ponad 10 tys. wypracowanych reaktorolat w ok. 400 reaktorach można stwierdzić, że nie ma innej, równie bezpiecznej dziedziny przemysłu.

Już od samego początku istnienia elektrowni jądrowych zdawano sobie sprawę z potencjalnych zagrożeń i podejmowano działania dla ochrony personelu i społeczeństwa przed skutkami możliwych awarii. Jako podstawowe założenie przyjęto, że ryzyko związane z energetyką jądrową powinno być mniejsze niż ryzyko związane z innymi metodami wytwarzania energii elektrycznej. Odstępstwo od tej zasady zdarzyło się, gdy w Związku Radzieckim zbudowano elektrownie jądrowe typu RBMK, bazowane na reaktorach przeznaczonych do celów wojskowych i charakteryzujące się wrodzonymi sprzężeniami zwrotnymi prowadzącymi do wzrostu ich mocy w sytuacjach awaryjnych. Twórcy tych elektrowni przerzucili na operatora odpowiedzialność za ich bezpieczeństwo, ale awaria w Czarnobylu udowodniła, że rozwiązanie takie jest nie do przyjęcia. Jediną możliwą drogą dalszego rozwoju elektrowni jądrowych jest przyjęcie zasad filozofii bezpieczeństwa jądrowego, zapoczątkowanej w USA przed 50 laty i stale doskonalonej w krajach zachodnich budujących energetykę jądrową. (Zasady Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej MAEA) Nie będę omawiać szczegółowo przyjętych zasad, ponieważ temat ten nieco odbiega od bieżącego wątku.

**Likwidacja elektrowni jądrowej.** Likwidacja elektrowni jądrowej, podobnie jak jej budowa, wymaga czasu i pieniędzy. Konieczne jest przygotowanie projektu technicznego, zakup specjalistycznego sprzętu oraz zatrudnienie personelu o odpowiednich kwalifikacjach. Środki niezbędne na realizację tego zadania elektrownie gromadzą z odpisu zysku ze sprzedaży energii elektrycznej, czyli koszt likwidacji elektrowni jądrowej powinien być uwzględniony w cenie sprzedaży energii elektrycznej.

Instalacje jądrowe, w tym także reaktory energetyczne, tak jak każde urządzenia techniczne starzeją się i są sukcesywnie wycofywane z eksploatacji. Obecnie na świecie wiele reaktorów zostało wycofanych z eksploatacji. Obiekty te wywierają wpływ na środowisko i stanowi to problem, z którym trzeba się uporać. Mimo, że projekty przewidywały 30-40 lat eksploatacji, wiele jednostek zbudowanych we wczesnych latach 60-tych zakończyło swoją działalność (ze względu na przestarzałą technologię, coraz ostrzejsze rozporządzenia czy ze względu na zmianę gospodarki). Obecnie obserwuje się tendencje wydłużania nominalnego czasu pracy reaktorów energetycznych z 40 do 60 lat. ( W USA do 2002 roku 16 bloków jądrowych przedłużyło do 60 lat czas swej eksploatacji).

Obecnie ok. 130 reaktorów energetycznych, 256 reaktorów badawczych i ok. 100 zakładów jądrowych czeka na likwidację. Większość z tych jednostek działa jako przechowalnia, oczekując na rozwiązania prawno-polityczne lub źródła finansowania w celu dalszej likwidacji. We Francji wybudowano specjalny zakład utylizacji stalowych elementów pochodzących z rozbiórki elektrowni jądrowych. Metal taki może zawierać pewne ilości produktów aktywacji, niemniej jednak może zostać ponownie wykorzystany w innych elektrowniach jądrowych.

Jednakże stanowi to ważny problem wymagający mądrych i przemyślanych decyzji. Być może przepisy i regulacje prawne zostaną dopracowane w erze końca krajowych zasobów węgla. Pamiętajmy również, by rozsądnie i rozważnie korzystać ze środowiska naturalnego, nie zaśmiecając go budynkami elektrowni jądrowej czekającymi na likwidację.

## **ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE JAKO ODPAD WTÓRNY**

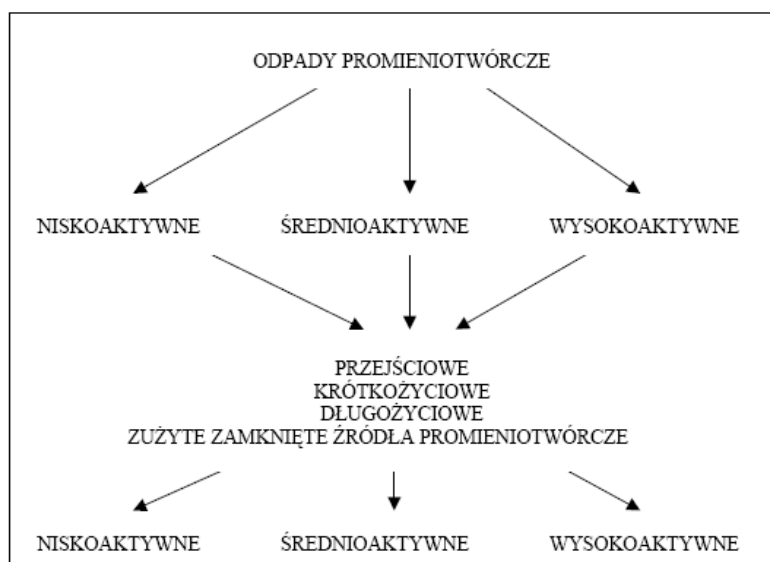
Wszystkie odpady promieniotwórcze – gazowe, ciekłe oraz stałe podlegają na terenie elektrowni specjalnym procesom przetwarzania. Wymaga to znacznego rozbudowania różnych procesów technologicznych, jak i wielu dodatkowych obiektów. Wydobywające się z reaktora lotne substancje promieniotwórcze (wskutek rzeczywistych nieszczelności) są wychwytywane przez system filtrów. Pomimo tego część substancji promieniotwórczych przedostaje się do otoczenia poprzez wysoki komin, w sposób ściśle kontrolowany. Są to przede wszystkim substancje lotne, które trudno wychwycić i związać chemicznie, np. gazy szlachetne. Oczywiście ilość i rodzaj substancji przenikających do atmosfery zależy od rodzaju reaktora jądrowego.

W czasie eksploatacji elektrowni jądrowej powstają także odpady ciekłe (ścieki promieniotwórcze), głównie w wyniku upustów, zrzutów i przecieków (dopuszczalnych) z obiegu chłodzenia reaktora.

Odpady stałe to przede wszystkim zużyte jonity (wkłady filtrów jonitowych) o znacznej aktywności, odpady stałe palne (szmaty, papier, elementy drewniane i in.) i niepalne (elementy wyposażenia elektrowni, np. zużyte kanały i pręty sterujące, skażone narzędzia), a przede wszystkim wypalone paliwo jądrowe.

W nomenklaturze anglosaskiej przyjęło się klasyfikować odpady wg następujących kategorii:

- odpady wysokoaktywne HLW (od *High-Level Waste*), do których zaliczamy przerobione wypalone paliwo z reaktorów jądrowych i niektórych procedur podczas produkcji broni jądrowej. Odpady tego rodzaju zawierają silnie promieniotwórcze, krótkożyciowe fragmenty rozszczepienia, niebezpieczne związki chemiczne i toksyczne metale ciężkie. Niektóre z tych odpadów mogą mieć postać ciekłą, jak w wypadku przerobu wypalonego paliwa.
- Odpady niskoaktywne LLW (od *Low-Level Waste*), powstające w większości wymienionych wyżej procesów, a także w wyniku korzystania ze źródeł promieniotwórczych przez naukę, przemysł i medycynę
- Odpady transuranowe TRU (od *TRansUranium*), których dostarczają fabryki przerobu paliwa oraz nuklearny przemysł zbrojeniowy
- Stosowane jest także pojęcie odpadów o pośredniej aktywności ILW (od *Intermediate Level Waste*), jednak definicja tego pojęcia jest dość niekonkretna. W Wielkiej Brytanii za takie odpady uważa się materiały o aktywności właściwej  $\beta$  i  $\gamma$  większej od  $1,2 \cdot 10^7$  Bq/kg oraz aktywności  $\alpha$  ponad  $4 \cdot 10^6$  Bq/kg.
- W Wielkiej Brytanii funkcjonuje także pojęcie odpadów o bardzo niskiej aktywności VLLW (od *Very Low Level Waste*), do których zalicza się odpady o aktywności właściwej  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  mniejszej od 400 Bq/kg



Rys.7. Podział odpadów promieniotwórczych w Polsce  
(wg „Energia jądrowa i jej wykorzystanie” Dobrzyński, Strupczewski)

W tym miejscu należy zauważyć, iż energetyka jądrowa jest źródłem nie tylko odpadów związanych z jej eksploatacją (odpady eksploatacyjne i wypalone paliwo), ale również odpadów pochodzących z produkcji świeżego paliwa oraz likwidacji obiektów techniki jądrowej (nie tylko elektrowni jądrowej). Ponadto należy podkreślić, co jest bardzo istotne, iż wszystkie odpady promieniotwórcze rozpadają się po pewnym czasie. Także ich szkodliwość z czasem maleje, czego nie można powiedzieć o odpadach pochodzących z przemysłu, takich jak rtęć, kadm i in., których toksyczność nie ulega zmianie z upływem czasu.

### **WPŁYW ELEKTROWNI JĄDROWYCH NA OTOCZENIE**

Odpady promieniotwórcze w Polsce są składowane na terenie działającego od 1961 r. Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych – KSOP - w Różanie nad Narwią. Składowisko to, zajmujące obszar 3,2 ha, znajduje się w jednym z dawnych fortów wojskowych, wybudowanych przez władze rosyjskie w latach 1905-1908. Największą zaletą samych fortów są ich grube (1,2 ÷ 1,5 m) ściany i stropy betonowe. Zapewniają one pełną osłonność biologiczną ulokowanym w nich odpadom. Wokół zachodniej i południowej granicy Składowiska biegnie sucha fosa o głębokości (2÷6) m, której fragment przedstawiony jest poniżej na rys. 8.

Wody gruntowe znajdują się pod warstwą gliny o bardzo małej przepuszczalności i warstwą gleby o właściwościach sorpcyjnych na głębokości kilkunastu metrów poniżej składowiska. Skład podłoża przeciwdziała skutecznie migracji odpadów, które mogłyby na skutek nieszczęśliwych wydarzeń przeniknąć do gleby i rozprzestrzeniać się dalej przez wody gruntowe.





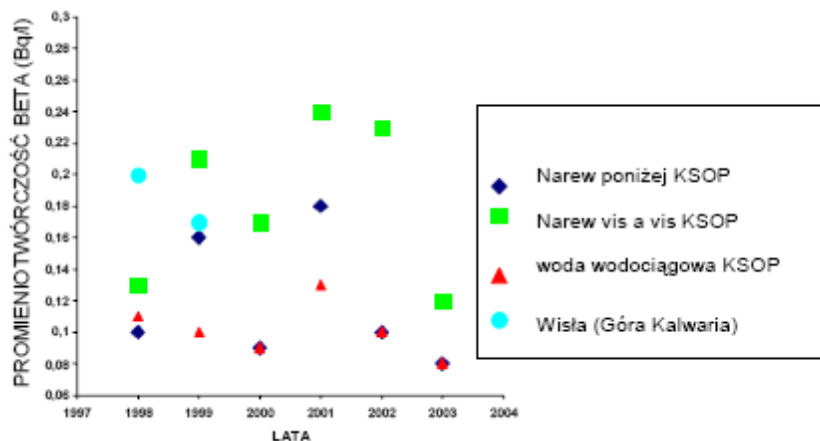
Rys. 8. Fragment fosy w Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w Różanie. Część fosy jest już wypełniona i zamknięta pionową ścianą betonową.

Odpady składowane są w budowach betonowych, bunkrach oraz fosie. W tej ostatniej przechowuje się jedynie odpady nie zawierające długożyciowych nuklidów alfa-promieniotwórczych. Dno i zbocza fosy pokryte są 20 cm warstwą betonu.

Długożyciowe odpady alfa-promieniotwórcze składowane są w betonowych budowach fortu, komora po komorze, aż do całkowitego ich wypełnienia. Wypełnioną komorę zamyka się szczelnie lub zamurkuje. Odpady te, przed ostatecznym zamknięciem składowiska w Różanie, będą przeniesione do składowiska docelowego, tzw. składowiska głębokiego.

Gleba, trawa i zboża z otoczenia składowiska, woda gruntowa z odwiertów kontrolnych (piezometrów) umieszczonych na terenie i w otoczeniu składowiska, woda z Narwi, powietrze atmosferyczne (przy dwóch obiektach mierzone jest stężenie radonu), wreszcie poziom promieniowania gamma na terenie i w otoczeniu składowiska, podlegają regularnej kontroli radiologicznej.

Dla przykładu, rys. 9. pokazuje wyniki pomiarów promieniotwórczości beta wód na terenie i w otoczeniu Składowiska w latach 1998-2003 oraz w Górze Kalwarii, gdzie nie ma obiektów stosujących źródła promieniotwórcze.



Rys. 9. Wyniki badania promieniotwórczości beta wody w latach 1997 – 2004  
(wg „Energia jądrowa i jej wykorzystanie” Dobrzyński, Strupczewski)

Wyniki pomiarów wskazują jednoznacznie, że istnienie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych nie ma niekorzystnego wpływu na środowisko gminy Różan. Z innych danych wynika ponadto, że gmina ta szczyci się jednym z najniższych wskaźników zapadalności na choroby nowotworowe. Pojemność i warunki radiologiczne Składowiska pozwalają na bezpieczne zapełnianie go odpadami jeszcze przez ok. 15-20 lat, co jednak już teraz wymusza konieczność szukania nowego miejsca na Składowisko. A to rodzi kolejne problemy i wątpliwości społeczeństwa.

## OPINIA SPOŁECZNA – BŁĘDNY OBRAZ ELEKTROWNI JĄDROWYCH

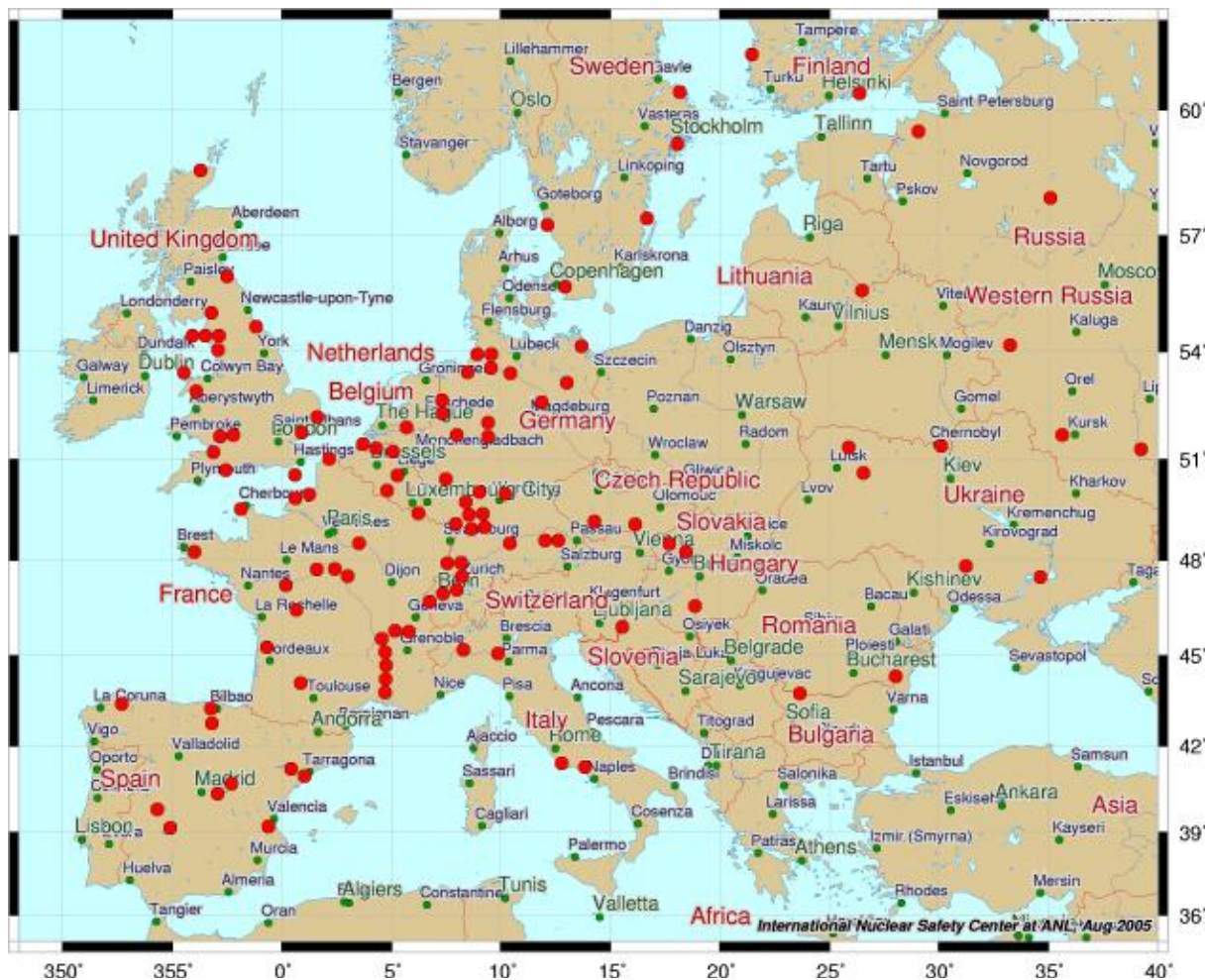
Niestety chyba wszyscy słyszeliśmy o wybuchu w Czarnobylu. Katastrofa ta, a przede wszystkim jej konsekwencje budzą społeczny strach przed obecnością elektrowni jądrowej w Polsce.

Brak podstawowych informacji o energii jądrowej i jej wykorzystaniu zniekształca obraz energetyki jądrowej w świecie i celowość jej stosowania w Polsce. Rządy krajów, które intensywnie rozwijają energetykę jądrową, nie szczędzą sił i środków na informowanie społeczeństwa o energii jądrowej w szerokim tego słowa znaczeniu. Okazuje się bowiem, że nawet we Francji, w której energetyka jądrowa ma duże znaczenie dla gospodarki kraju, tylko połowa społeczeństwa popiera jej rozwój. Ludzie boją się energii jądrowej z powodu groźby promieniowania jonizującego, zapominają jednak o tym, że w codziennym życiu też są narażeni na jego wpływ.

Wzrost poziomu promieniowania powodowany przez normalną pracę elektrowni jądrowej jest około setki razy mniejszy niż tło naturalne, czyli promieniowanie z gleby, kosmosu, spożywczych pokarmów itp. Dzięki stosowaniu silnie rozbudowanych systemów bezpieczeństwa tworzących podwójne i potrójne zabezpieczenia, poważniejsza awaria reaktora jądrowego typu PWR czy BWR jest prawie niemożliwa. Należy podkreślić, że absolutne bezpieczeństwo jest technicznie nieosiągalne i to nie tylko w energetyce jądrowej, ale również w każdej innej dziedzinie. Należy to otwarcie mówić.

Intensywna popularyzacja zagadnień dotyczących energetyki jądrowej musi zostać przeprowadzona na całym świecie, a szczególnie w Polsce. Nie może to być zagadnienie dostępne tylko dla wybranych specjalistów. Należy wyjaśniać społeczeństwu złożoność problematyki, gdyż powszechna świadomość o energii jądrowej oznacza większe bezpieczeństwo. W krajach zachodnich popularna jest polityka „otwartych drzwi” dla wszystkich, którzy chcą przyjść i zobaczyć elektrownię jądrową. W tym celu buduje się w pobliżu elektrowni jądrowych lub zakładów związanych z energetyką jądrową specjalne centra informacyjne, w których za pomocą filmów, prezentacji, makiet, plansz, modeli i pogadanek tłumaczy się zasady działania elektrowni jądrowych, a przede wszystkim przedstawia wpływ energetyki jądrowej na środowisko naturalne.

Jak powszechnie wiadomo w Polsce nie pracuje żadna elektrownia jądrowa, ale w odległości do 300 km od naszych granic jest zlokalizowanych 27 czynnych bloków jądrowych o łącznej mocy zainstalowanej 17 tys. MW<sub>e</sub>, a 5 dalszych jest w budowie. (rys.10)



Rys. 10. Rozmieszczenie elektrowni jądrowych w Europie.

fot. International Nuclear Center z USA

W świadomości społeczeństwa jedynym skojarzeniem z elektrownią jądrową jest reaktor w Czarnobylu. Obecnie Czarnobyl to miejsce znane głównie z awarii reaktora atomowego. W tamtejszej elektrowni 26 kwietnia 1986 nastąpiła największa katastrofa w dziejach elektrowni jądrowych. Dwie osoby zginęły w czasie wybuchu i pożaru, trzecia prawdopodobnie zmarła z powodu zatoru tętnicy wieńcowej. Do 7 maja ewakuowano ogółem 116 tys. osób. Jako kryterium przyjęto przekroczenie dawki życiowej 350 mSv.

Do atmosfery przedostało się wg szacunków  $10^{19}$  Bq (276 MCi) materiałów promieniotwórczych, z czego większość w ciągu 4s po wybuchu. Pożar trwał 10 dni. Dziennie spalało się blisko 20 t grafitu, wydzielając moc termiczną ok. 8 MW. Wskutek panujących warunków atmosferycznych 70% opadów rozdzieliła się między Ukrainę, Rosję oraz resztę obszarów półkuli północnej. W sumie na terytoriach Ukrainy i Białorusi było ok. 5

milionów osób narażonych na podwyższone dawki promieniowania jonizującego pochodzącego z opadów atmosferycznych.

Choć awaria reaktora w Czarnobylu nie jest tematem mego opracowania, wydarzenie to wymagało wspomnienia, ponieważ awaria reaktora była największą katastrofą psychologiczną na świecie i stanowiła punkt zwrotny w poglądach społecznych na energetykę jądrową.

Wówczas zwrócono uwagę na 3 podstawowe problemy:

- Skutki zdrowotne i środowiskowe awarii jądrowych, które nie respektują granic państwowych,
- Konieczne jest stałe inwestowanie w strukturę bezpieczeństwa i zaawansowane technologie jądrowe,
- Rzetelna informacja przekazywana społeczeństwu.

Na podstawie dotychczasowej historii rozwoju energetyki jądrowej na świecie należy jednoznacznie stwierdzić, że dalsza przyszłość energetyki jądrowej zależy od opinii publicznej, odpowiedzialności przywódców politycznych za przyszłość oraz działalność organizacji pozarządowych.

## **TENDENCJE ROZWOJOWE W ENERGETYCE JĄDROWEJ**

Wydaje się, że Polska produkuje wystarczającą ilość energii elektrycznej. Nie odczuwamy jej braku, a nawet eksportujemy jej nadmiar: 8,4 TWh w 1999 r., co stanowiło ponad 5% krajowej produkcji. Tymczasem produkcja i zużycie energii elektrycznej na jednego mieszkańca Polski są bardzo niskie w porównaniu z innymi krajami Europy. Ilustruje to tabela poniżej (wg A. Hryniewicz Zjazd Fizyków Polskich „Co dalej z energią jądrową w Polsce?”) :

Roczna produkcja energii elektrycznej na jednego mieszkańca wybranych krajów Europy w 1997 r. [kWh]	
Norwegia	25 300
Szwecja	15 700
Finlandia	14 800

Francja	8700
Niemcy	6600
Wlk. Brytania	5900
Czechy	5900
Rosja	5700
Bułgaria	5300
Słowacja	4600
...	...
<b>Polska</b>	3700

Poziom jaki reprezentujemy kwalifikuje nas blisko końca listy krajów europejskich. Wśród europejskich krajów OECD w gorszej sytuacji są tylko Grecy, ale Grecje tłumaczy ciepła strefa klimatyczna, a więc mniejsze zużycie energii na ogrzewanie.

A przecież nie odczuwamy na co dzień braku energii elektrycznej. Czemu tak jest? Odpowiedź jest prosta. Przyczyną jest dyktat węgla w naszej energetyce i związana z tym kuriozalna struktura energii finalnej, a więc bezpośrednio dostarczanej użytkownikom.

Energia elektryczna jest najcenniejszą postacią energii finalnej. Jej wykorzystanie nie zanieczyszcza środowiska, łatwo ją przesyłać, a jej przetwarzanie na energię użyteczną (ciepło, światło i energię mechaniczną) jest bardzo wydajne. Choć w krajach rozwiniętych dzięki restrukturyzacji przemysłu i wprowadzeniu energooszczędnych technologii całkowite zużycie energii stabilizuje się, a nawet spada, to zużycie energii elektrycznej stale się zwiększa. Moc zainstalowana w elektrowniach wzrasta i to na ogół w coraz szybszym tempie. Średnie zużycie energii elektrycznej rocznie na jednego mieszkańca Świata wynosi 2300 kWh. Zużywają ją oczywiście mieszkańcy krajów rozwiniętych, bo 1/3 ludności Ziemi w ogóle nie ma dostępu do energii elektrycznej.

W 1996 roku węgiel stanowił około 34% energii dostarczanej odbiorcom. Był to udział prawie 5-krotnie wyższy niż w krajach rozwiniętych. Oznacza to, że ogromne ilości węgla zużywane są w różnych gałęziach przemysłu; węgiel spalamy jako paliwo pierwotne w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych oraz w ponad milionie małych, rozproszonych kotłowni i w 15-stu milionach indywidualnych pieców i kuchni węglowych. W przypadku tych ostatnich redukcja emisji szkodliwych substancji praktycznie nie jest możliwa, a tymczasem źródła te odpowiedzialne są za 25% emisji SO<sub>2</sub>. Natomiast w

elektrowniach i elektrociepłowniach przy wysokich nakładach finansowych można ograniczyć emisję do atmosfery pyłów, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> (ale nie CO<sub>2</sub>).

W 1999 r. w przemyśle paliwowo-energetycznym redukcja emisji szkodliwych gazów wyniosła tylko kilkanaście procent, a globalna redukcja w przemyśle nie przekroczyła 40%. Natomiast zwalczyć tę tzw. „niską emisję”, rozprzestrzeniającą się lokalnie, przede wszystkim w miastach, a więc najbardziej szkodliwą, można jedynie przez zmianę struktury energii finalnej – przez zastąpienie węgla energią elektryczną i gazem ziemnym. (Zastąpienie elektrowni węglowych elektrowniami parowo-gazowymi obniża emisję dwutlenku węgla niemal dwukrotnie, emisje NO<sub>x</sub> czterokrotnie, a emisje SO<sub>2</sub> i pyłów ok. 500 razy). Moc zainstalowana w elektrowniach zawodowych w Polsce wynosiła w 1999 r. 31,4 GW(e), w tym moc elektrowni węglowych stanowiła 93,3%, a wodnych zaledwie 6,7%. Oparcie produkcji energii elektrycznej na spalaniu węgla i olbrzymi udział węgla w energii finalnej powoduje, że Polska jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych krajów świata. W 1987 r. emisja 4200 tys. ton SO<sub>2</sub> sytuowała nas na drugim po ZSRR miejscu na liście krajów europejskich. Obecnie zmalała do 1900 tys. ton, ale przyczyną tego jest przede wszystkim spadek zapotrzebowania na energię, a w znacznie mniejszym stopniu budowa instalacji oczyszczających gazy odlotowe.

Produkcja energii elektrycznej w Polsce powinna być podwojona do 2010 r. Widać, że tego nie da się zrobić, ale do 2020 r. zużycie energii elektrycznej w Polsce musi wzrosnąć co najmniej dwukrotnie, czyli przynajmniej do 7000 kWh rocznie na jednego mieszkańca. Nawet gdyby to się udało osiągnąć, to i tak będziemy się wlec w ogonie rozwiniętych krajów europejskich, których mieszkańcy będą wówczas zużywać średnio 2 razy więcej energii elektrycznej. Nadal będziemy mieć kłopoty z wywiązywaniem się z umów międzynarodowych, narzucających ograniczenie emisji substancji szkodliwych dla środowiska. Jeżeli przyjmiemy, że do 2020 r. trzeba podwoić zaopatrzenie kraju w energię elektryczną, to moc zainstalowana w polskich elektrowniach powinna wzrosnąć o 30 GW(e). Należy przy tym wziąć pod uwagę smutny fakt, że znaczna część naszych elektrowni węglowych pilnie wymaga kapitalnych remontów.

Juz w najbliższych latach musimy wobec tego rozpocząć budowę nowych elektrowni, aby do 2020 r. osiągnąć zainstalowaną moc 60 GW(e). Musimy przede wszystkim przeprowadzić remonty i modernizacje pracujących elektrowni i elektrociepłowni węglowych przez instalacje w nich wydajnych systemów oczyszczania gazów odlotowych. Musimy

zaplanować możliwie szybkie wprowadzanie energetyki jądrowej. Należy prowadzić w tym zakresie intensywne prace badawczo-rozwojowe i pilnie szkolić kadre specjalistów.

Inne są perspektywy rozwoju energetyki jądrowej. Co prawda rozszczepialnego uranu-235, stosowanego obecnie w reaktorach energetycznych, wystarczyłoby na kilkadziesiąt lat, ale przyszłe, dalekosiężne formy wykorzystania energii jądrowej pozwala na zaspokojenie potrzeb świata na setki tysięcy lat. Już samo zastąpienie obecnych reaktorów przez reaktory powielające lub tzw. wzmacniacze energii, skojarzone z akceleratorami cząstek, pozwala na wykorzystywanie głównego izotopu uranu  $^{238}\text{U}$ , którego jest 140 razy więcej niż uranu-235, a także toru  $^{232}\text{Th}$ , którego zawartość w skorupie ziemskiej jest 3,5 razy większa od zawartości uranu. Warto w tym miejscu pozwolić sobie na krótką dygresję. Przeciętnie węgiel zawiera ok. dwóch części uranu (tj.  $2 \cdot 10^{-4}\%$ ) i pięć części toru (tj.  $5 \cdot 10^{-4}\%$ ) na milion. Otóż gdyby się komuś chciało i opłaciło te ilości uranu oraz toru wydzielić z węgla, a następnie zużyć w powielających reaktorach jądrowych, to otrzymałby kilkanaście razy więcej energii niż ze spalania całej masy węgla, w którym to paliwo jądrowe było zawarte. Trzecim etapem rozwoju energetyki jądrowej jest wykorzystanie wysokotemperaturowej syntezy lekkich jader. Są nimi izotopy wodoru (deuter i tryt) oraz hel-3. Olbrzymie trudności techniczne odsuwają w czasie wykorzystanie tej drogi pozyskiwania energii, ale jej opanowanie spowoduje, że przestaniemy się martwić brakiem energii. W wodzie, a więc w oceanach, jeden atom deuteru przypada na 6700 atomów zwykłego wodoru, wobec czego energia z syntezy termojądrowej deuteru zawartego w litrze wody odpowiada energii otrzymanej ze spalania 300 litrów benzyny. Trytu i helu-3 też nam nie zabraknie. Tryt można wytwarzać w reakcjach jądrowych z litu, którego jest pod dostatkiem w skorupie ziemskiej, a hel-3 powstaje z rozpadu promieniotwórczego trytu lub może być dostarczany z kopalni na Księżycu, gdzie – przyniesiony ze Słońca w wietrze słonecznym – jest wiązany przez tytan w powierzchniowej warstwie Srebrnego Globu.

### **PODSUMOWUJĄCA NOTKA**

To co na pewno nie podlega żadnej dyskusji to fakt, że energia jest na świecie niezbędna a zapotrzebowanie na nią wciąż rośnie. Wzrost tego zapotrzebowania związany jest z rozwojem gospodarczym całego świata. Jest więc procesem nie do powstrzymania.

Wiąże się to z potrzebą budowania wciąż nowych źródeł energii w postaci różnego rodzaju elektrowni. Nie podlega też wątpliwości, że tradycyjne paliwa służące do tworzenia tejsze



energii są na wyczerpaniu. Węgla, ropy naftowej, gazu ziemnego starczy nam na kilkadziesiąt lat. I tutaj dochodzimy do jednego z największych plusów elektrowni jądrowych. Paliwa jądrowego na ziemi starczy nam na tak długi okres, że ani my, ani nasze dzieci, ani nawet praprapra... wnukowie nie muszą się martwić o jego dostępność.

Do plusów energetyki jądrowej można zaliczyć zdecydowanie mniejszą ingerencję w środowisko naturalne. Emisja z takiej elektrowni nie wpływa na efekt cieplarniany ani na zanieczyszczenie środowiska. W przeciwieństwie do elektrowni np. węglowych do atmosfery nie przedostają się tlenki siarki czy azotów oraz najniebezpieczniejszy dwutlenek węgla. Dostają się za to nie reagujące gazy szlachetne takie jak krypton i ksenon. Problemem jest za to składowanie paliwa powstałego w wyniku reakcji zachodzącej w reaktorze. Jednak przy aktualnym rozwoju nauki i techniki jest to tylko kwestia przysłowiowej chwili, żeby wymyślono co zrobić z takimi pozostałościami. Z tego samego powodu elektrownie jądrowe są zdecydowanie bezpieczniejsze dla zdrowia, ekosystemu jak i ludzi mieszkających w okolicy.

Wadą elektrowni jądrowych jest wysoki koszt inwestycji w budowę. Jest on mniej więcej o 50% wyższy niż koszt wybudowania elektrowni tradycyjnej.

Największym minusem rozwiązania jest niechęć społeczna. Ludzie są przerażeni słysząc o energii jądrowej. Automatyczne skojarzenie z wybuchem 26 kwietnia 1986 roku w Czarnobylu paraliżuje większość ludzi. Niestety jest to element bardzo trudny do pominięcia. Energia jądrowa kojarzy się również z wybuchem bomb w Hiroszynie i Nagasaki. Edukacja ludzi jest bardzo istotnym elementem, na którym naukowcy jak i rządy wielu państw będą musiały skupić się w najbliższych dziesięcioleciach. W wyniku awarii elektrowni jądrowych zginęło dużo mniej ludzi niż w awariach elektrowni konwencjonalnych. Ingerencja w środowisko oraz promieniowanie są właściwie niezauważalne.

Na świecie jest bardzo dużo zwolenników pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Mówi się o elektrowniach wodnych, wiatrowych jak i wykorzystaniu energii słonecznej. Wszystkie te metody są bardzo dobre, niestety na razie mało wydajne. Nikt też nie mówi o negatywnych aspektach takiej energii, o olbrzymich powierzchniach potrzebnych na elektrownie wykorzystujące wiatr. O zniszczeniu fauny i flory wód potrzebnych do zdobywania energii.

Z pewnością należy informować społeczeństwo o zagrożeniach i zaletach energii jądrowej, żeby wybór podjęty przez nich (np. referendum) był przemyślany i w pełni zrozumiany.

Należy wyraźnie podkreślić, że najprostszym, najtańszym i najwydajniejszym sposobem zwiększania podaży energii jest jej oszczędzanie. Każda złotówka przeznaczona na zmniejszenie energochłonności przynosi kilkakrotnie więcej energii niż złotówka włożona w budowę nowej elektrowni. W latach 1973-1978 95% całkowitej dodatkowej podaży energii w Europie pochodziło z jej oszczędniejszego wykorzystania. Tym sposobem miliony zabiegów oszczędzających energię w skali indywidualnej przyczyniły się do uzyskania niemal 20 razy więcej energii, niż w tym czasie dały wszystkie nowe elektrownie europejskie razem wzięte, z elektrowniami jądrowymi łącznie.

Po analizie problemu wychodzi jednak, że nie da się wyobrazić sobie przyszłości bez energii atomowej. Tak więc powinniśmy się skupić na edukacji ludzi, i pokazywaniu, że energia atomu nie jest tak niebezpieczna i zabójcza jak większości się wydaje. Będzie to jednak bardzo trudny i długotrwały proces, ponieważ społeczeństwo jako ogół jest bardzo trudnym uczniem. Już dawno mówi się o recydingu, o segregacji śmieci, o oszczędzaniu wody i energii. Tak proste rzeczy nie docierają jednak do Polaków. A czy uda się przezwyciężyć strach i pozbyć negatywizmu wynikającego z niewiedzy....

## **I. Bibliografia**

1. Andrzej Hryniewicz – Materiały XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich, Toruń 2001, wykłady sekcyjne.
2. Ludwik Dobrzyński - Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet w Białymstoku, Instytut Problemów Jądrowych im. A.Sołtana, Świerk oraz Andrzej Strupczewski - Instytut Energii Atomowej, Świerk – Energia jądrowa i jej wykorzystanie, szkolenia. ( temat 1,8,9,19,20,21)
3. „Energia jądrowa wczoraj i dziś” Grzegorz Jezierski – fragmenty ( Rozdz. 17, 22, 23, 25)
4. Materiały wykładowe prof. dr hab. inż. Stanisława Mańkowskiego Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej
5. Polska Agencja Prasowa – Nauka w Polsce
6. Zasoby Internetu:  
[www.wikiedia.pl](http://www.wikiedia.pl)  
[http://fizyka.servis.pl/bezp\\_en.php](http://fizyka.servis.pl/bezp_en.php)  
<http://energetykajadrowa.cire.pl/>  
inne.
7. Własne spostrzeżenia