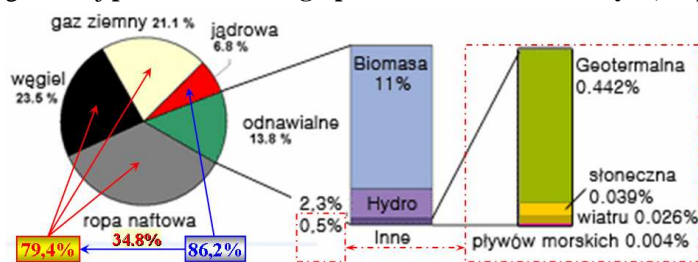


## GLOBALNE ZASOBY ENERGII PIERWOTNEJ A KRYZYS ENERGETYCZNY

Marek BARTOSIK<sup>1</sup>

### I. SYTUACJA ENERGETYCZNA ŚWIATA

Nasza kultura i styl życia, cała nasza cywilizacja techniczna, obracają się wokół rozprowadzania i konsumowania energii. Jest nas ~6,75 mld (2009), liczebność ludzkiej populacji wzrasta obecnie o ~80 mln/r. Potrzeby energetyczne wzrastają, bo energia jest niezbędna do zaspokojenie naszych podstawowych potrzeb materialnych i niematerialnych: bezpiecznego schronienia, ciepła, produkcji i dostaw żywienia i wody, transportu, wytwarzania i dystrybucji wyrobów przemysłowych, edukacji, nauki, kultury, rozrywki... W skali globalnej **ponad 86% energii pochodzi z nieodnawialnych, kopalnych źródeł energii pierwotnej** (rys. 1).



**Rys. 1.** Udział poszczególnych źródeł energii pierwotnej w światowej produkcji energii (2000 r) [4].

Przytłaczające jest nasze uzależnienie energetyczne od kopalni (86,2%). Dominuje ropa naftowa (34,8%). Pomimo gromkiej działalności publicystycznej na ten temat, nader skromny jest udział odnawialnych

źródeł energii (13,8%).

Perspektywa wyczerpywania się na Ziemi naturalnych surowców, zwłaszcza energetycznych, przebiła się po raz pierwszy do opinii publicznej w latach 1972 ÷ 76 poprzez 3 kolejne raporty dla Klubu Rzymskiego (1968), wywołując szeroką dyskusję w świecie i dzieląc specjalistów na dwie zasadnicze grupy: mniejszą – zwolenników i większą oraz głośniejszą – przeciwników tezy o możliwości globalnego kryzysu energetycznego. Nie spowodowało to dotychczas głębszej refleksji i podjęcia strategicznych działań antykryzysowych przez tzw. społeczność międzynarodową, przez co należy rozumieć wysoce prominentne kręgi decydentów politycznych. Taki stan w zasadzie bez zmian trwa do dziś, choć od pierwszego raportu dla KR upłynęło przeszło 35 lat.

Wielu ekspertów oraz instytucji naukowych i gospodarczych dostrzega, że systematyczny i szybki wzrost zapotrzebowania na wszystkie rodzaje energii, w tym szczególnie na energię elektryczną, powoduje przyspieszone wyczerpywanie się nieodnawialnych źródeł surowców energetycznych. Dane statystyczne są powszechnie dostępne. Wymowa faktów jest brutalna, a pierwsze symptomy nadchodzącego kryzysu już widoczne, szczególnie w odniesieniu do najwcześniej dostrzeżonego problemu ropy naftowej (rys. 5 i 6).

Coraz liczniejsze sygnały ostrzegawcze ze strony specjalistów i różnych instytucji śledzących problem wystarczalności źródeł energii pierwotnej są z reguły zagłuszane jako nieuzasadnione przepowiednie katastrofistów, a koronnym argumentem są gołosłowne stwierdzenia, że „od przeszło 30 lat nas straszą i nic się nie stało”, „będą nowe odkrycia”, „podniesie się poziom technologiczny”, a „surowców energetycznych wystarczy na setki (ew. tysiące) lat” etc. W przypadku Polski jesteśmy uświadamiani, że „Polska na węglu stoi”, a np. podczas minionego kryzysu gazowego liczne i hałaśliwe głosy polityków i dziennikarzy nawoływały do zwiększenia w Polsce wydobycia gazu i ropy (zazwyczaj na koszt Unii Europejskiej) dla wspomoczenia biednych, pokrzywdzonych sąsiadów (sic!).

Trudno o większe pustostowie w świetle dostępnych danych (rys. 9, tab. 1, 3 i 6). Zazwyczaj autorzy takich tekstów nawet nie próbują rzeczowej argumentacji, popartej faktami, wynikami badań lub symulacji. Ich wiara w nierealność zagrożeń zastępuje wiedzę, co zawsze jest niebezpieczne. Szczególnie groźna jest naiwna wiara w niewyczerpywalność ziemskich zasobów kopalni będących dotychczas źródłami energii pierwotnej, a także lekceważenie ograniczeń technicznych i ekonomicznych ich eksploatacji.

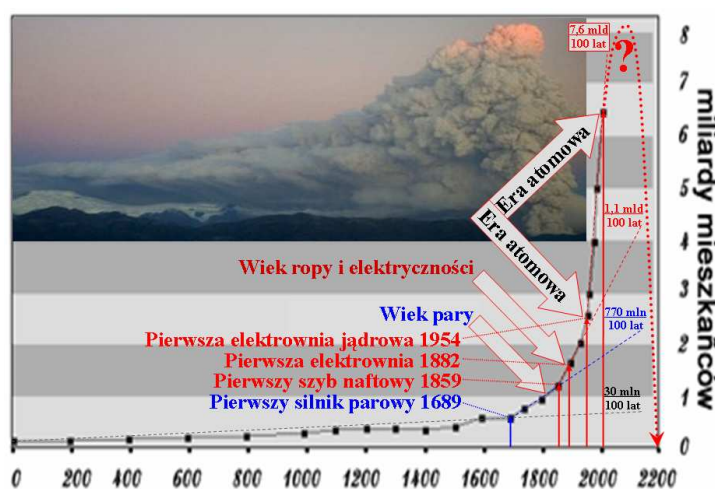
Powody niedostrzegania rzeczywistych zagrożeń są jednak bardziej złożone. Wadą dostępnych opracowań dotyczących problemu surowcowo – energetycznego jest ich rozproszenie merytoryczne. Są to zazwyczaj specjalistyczne raporty trudno zrozumiałe dla typowego czytelnika, brak ujęć publicystycznych. Zazwyczaj odrębnie i regionalnie są analizowane problemy wystarczalności poszczególnych źródeł i nośników energii pierwotnej, a lokalne ich niedostatki uważa się za możliwe do uzupełniania z nieokreślonych zasobów zewnętrznych. Istnieją także bariery mentalne, wynikające z różnej skali czasu dla jednostki ludzkiej i dla

<sup>1</sup> Wiceprezes Akademii Inżynierskiej w Polsce  
Kierownik Katedry Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej

globalnego procesu cywilizacyjnego. W skali życia człowieka strategię rozwoju określa się na  $10 \div 20$  lat, a w skali globalnej na  $10 \div 20$  dekad. Pogląd, iż matka Ziemia jest niczym niewzruszoną opoką ludzkości, jest od stuleci zakodowany w świadomości i podświadomości człowieka. Pozytywne w swej istocie działania gatunku ludzkiego, dążącego do maksymalnego wykorzystania zasobów i sił przyrody dla swego rozwoju, dają jednak destrukcyjny efekt uboczny burzący pozorną niewzruszoność naszego globu. Dlatego jest to trudno akceptowalne dla większości ludzi. Dodatkowo presja tzw. środowisk proekologicznych powoduje zafałszowanie realnych możliwości technicznych i ekonomicznych wykorzystywania odnawialnych źródeł energii oraz blokuje rozwój energetyki jądrowej (EJ). Na to nakładają się jeszcze ideologiczne sprzeczności tzw. obrońców życia, traktujących podejmowanie tej problematyki jako zamach na prawa człowieka, tj. na swobodę i nieograniczoność ludzkiej prokreacji. Cały ten trudny problem jest zatem niezwykle niedogodny dla elit politycznych, kierujących się nie poczuciem odpowiedzialności za problemy i perspektywy rozwoju ludzkości, a doraźnym interesem własnym i partyjnym. Ponieważ problem nie ma szybkiego rozwiązania pozytywnego, nie da się politycznie sprzedać elektoratowi i bezpieczniej go nie podejmować.

Odpowiedź na podstawowe pytanie o wyczerpywalność ziemskich zasobów kopalin energetycznych daje logika elementarna. W ludzkiej skali czasu glob ziemski jest układem zamkniętym o skończonych rozmiarach  $\rightarrow$  zawiera m. in. z różne zasoby nieodnawialnych kopalin  $\rightarrow$  ilości poszczególnych zasobów są skończone  $\rightarrow$  eksploatacja kopalin wyczerpuje ich rezerwy (proporcjonalne do szybkości zużycia).

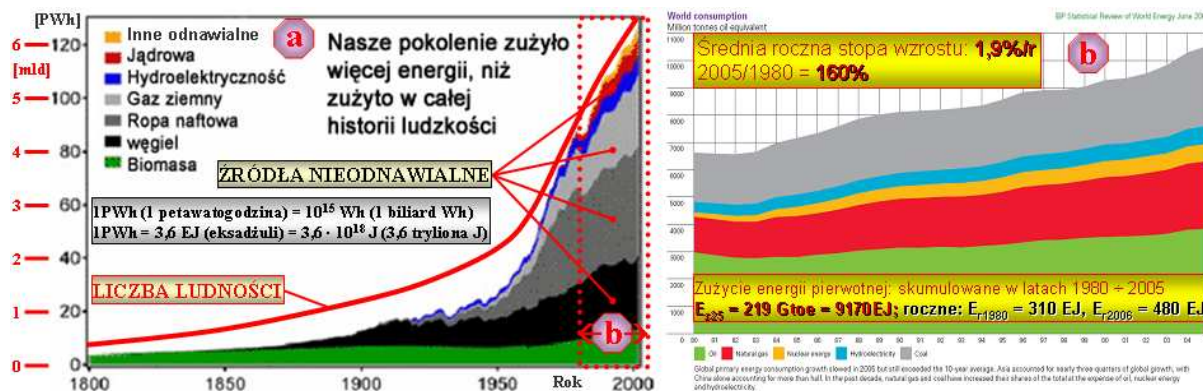
Nie ma sensu pytanie, czy zasoby kopalin energetycznych się wyczerpią. Jest pytanie **kiedy** to nastąpi.



Eksplozja demograficzna jest faktem, a jej związek z poziomem cywilizacyjnym wyraźny (rys. 2).

**Rys. 2.** Eksplozja demograficzna ludzkiej populacji i daty ważne dla energetyki.

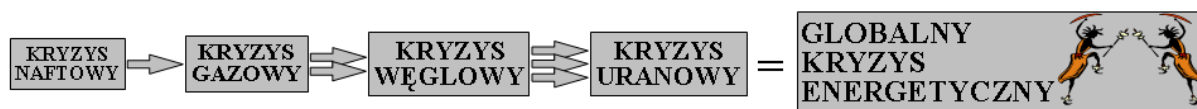
Przez tysiące lat nasza ludzkość rozwijała się względnie powoli, zaspakajając aż do XVII wieku niewielkie potrzeby energetyczne głównie poprzez spalanie biomasy. Tworzymy przez ok. 300 lat naszą obecną cywilizację techniczną na bazie nieodnawialnych kopalin stanowiących źródła energii pierwotnej (rys. 3).



**Rys. 3.** Potrzeby energetyczne ludzkości: a) globalne zużycie energii z poszczególnych źródeł energii pierwotnej [PWh] do 2004 r [26], z naniesioną krzywą wzrostu liczebności populacji ludzkiej [mld] wg rys. 2; b) skumulowane zużycie energii energii pierwotnej w latach 1980 – 2005 [3] oraz graniczne wartości rocznego zużycia energii [EJ].

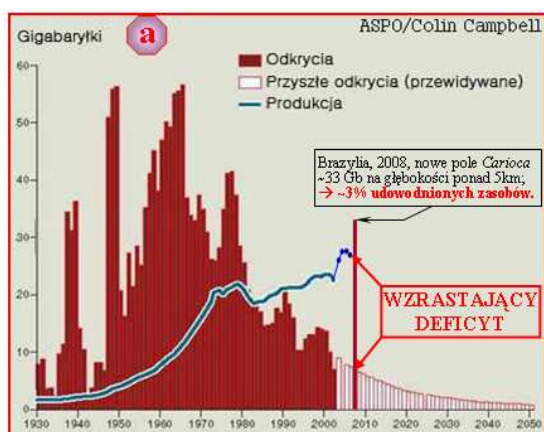
W drugiej połowie XX wieku nasze pokolenie zużyło więcej energii, niż wszystkie poprzednie pokolenia w całej poznanej dotychczas historii ludzkości. Kolejno wchodziły do eksploatacji na nieznaną dotychczas skalę węgiel, ropa, gaz, uran, czemu towarzyszył lawinowy wzrost liczebności populacji ludzkiej. Gigantyczny przyrost liczby ludności, w połączeniu ze wzrostem energochłonności rozwijającej się cywilizacji technicznej, gwałtownie przyspiesza zużywanie kopalin, a pozyskiwanie ropy naftowej, gazu, węgla i uranu staje się coraz droższe. Gdy stanie się ono nieopłacalne, nasza cywilizacja straci swój ekonomiczno – energetyczny napęd i jej rozwój może się gwałtownie załamać, **jeśli nie znajdziemy dostatecznie szybko nowego rozwiązania.**

Dla kompleksowej oceny zagrożenia globalnym kryzysem energetycznym niezbędne jest **łącznie** oszacowanie wystarczalności wszystkich podstawowych źródeł kopalnych energii pierwotnej pokazanych na rys. 3. Wyczerpywanie się jednego źródła energii pierwotnej będzie powodowało przenoszenie ciężaru podtrzymania energetycznego cywilizacji ludzkiej kolejno na pozostałe, aż do ich kompletnego wyczerpania wg. modelu pokazanego na rys. 4.



Rys. 4. Narastanie globalnego kryzysu energetycznego → powrót do natury?

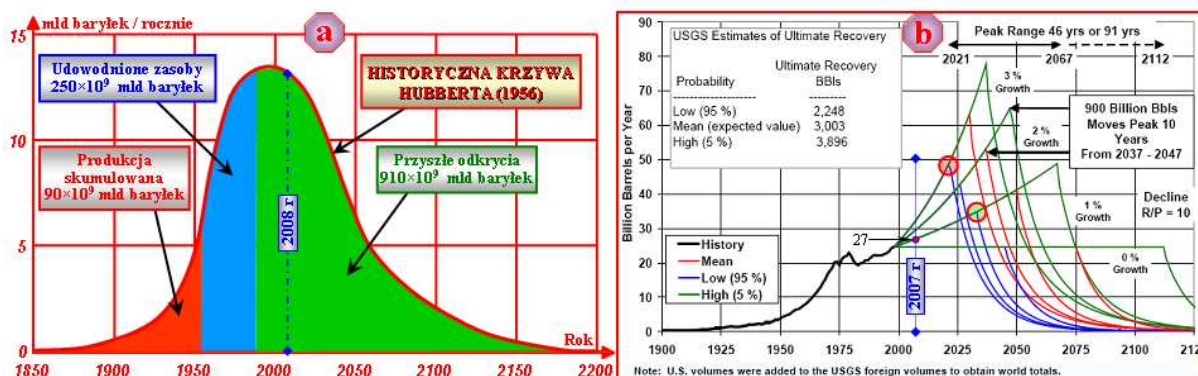
Obecnie nie mamy dla tego modelu „cywilizacji kopalinowej” żadnej sensownej alternatywy. Do świadomości ogółu nie dociera, że zagrożenie kryzysem energetycznym ma charakter globalny, nie lokalny, i że wyścig z czasem o przetrwanie i rozwój naszej cywilizacji technicznej trwa już od ponad 300 lat, a czasu jest coraz mniej!



Problem wystarczalności zasobów najwcześniej został dostrzeżony i właściwie oceniony w przypadku ropy naftowej w USA. Objawy kryzysu naftowego są obecnie wyraźnie widoczne, deficyt ropy szybko wzrasta (rys. 5).

Rys. 5. Objawy kryzysu naftowego: wzrastający deficyt ropy naftowej [5], uzupełnienia wg [3] oraz o zasobności złoża Carioca [11] *niepotwierdzone*.

W 1956 r. powstała teoria tzw. *Oil Peak* (teoria Hubberta) (rys. 6), trafnie przewidująca amerykański kryzys naftowy lat 70-tych, potwierdzona wielokrotnie w dalszych latach w odniesieniu do innych producentów ropy; m. in. w Polsce współczesny model Hubberta jest stosowany w AGH.



Rys. 6. Scenariusze produkcji ropy konwencjonalnej: a) historyczna krzywa Hubberta [5]; b) nowoczesne prognozy amerykańskie [6]; ● – produkcja w 2007 r [7]; ● – najszybszy (~2020 r) *Oil Peak* przy 3% rocznego wzrostu produkcji ropy i jej zasobach określonych z prawdopodobieństwem 95%, ● – jw. przy 1% (~2035 r).

Maksimum krzywej Hubberta (rys. 6a) odpowiada zużyciu 50% znanych zasobów. Suma krzywych cząstkowych określonych dla poszczególnych producentów ropy tworzy krzywą globalną. Wariantowe prognozy szczegółowe pokazano na rys. 6b. Obecnie świat znajduje się w okolicy szczytu globalnej krzywej Hubberta.

Nowe prognozy (rys. 6b) wykorzystują dane USGS, dotyczące globalnych zasobów ropy, określone z prawdopodobieństwem 95%, tj. realne, oraz 5%, tj. raczej wirtualne (bez mała dwukrotnie większe), z czego wyliczana jest wartość średnia. Nie jest to poprawne. Niemniej jednak **wirtualny przyrost zasobów ropy o 900 mld baryłek (rys. 6b) opóźnia oil peak zaledwie o 10 lat**. Decydujący wpływ na to ma olbrzymie i szybko wzrastające tempo zużywania tych zasobów. Światowe wydobywanie ropy już jest i będzie stopniowo coraz droższe finansowo i energetycznie [8, 9].

▲ Od 1962 roku zmniejsza się wielkość odkrywanych pól naftowych. Wykres produkcji przebiega coraz wyżej ponad wykresem odkryć, tj. zasoby coraz szybciej maleją, deficyt wzrasta. Ostatnie głośne odkrycie podmorskie pola *Carioca* w Brazylii to tylko ok. 3% udowodnionych zasobów ropy, co może pokryć obecne potrzeby świata przez nieco ponad rok.



- ▲ 54 spośród 65 państw - producentów ropy przekroczyło „*peak oil*” lub jest właśnie w fazie szczytu wydobycia.
- ▲ Niezależnie od krótkoterminowych wahań cena ropy wzrasta.
- ▲ Na każdych sześć zużytych baryłek ropy przypada jedna odkryta.
- ▲ Proporcja ta pogarsza się każdego roku.

Wyczerpywanie się zasobów ropy naftowej odgrywa szczególną rolę. Ropa bowiem jest tak ważnym surowcem dla gospodarki światowej, że jej niedostatek musi wywołać światowy kryzys gospodarczy. Bardzo ważny jest także gaz.

**Ropa naftowa i gaz determinują bezpośrednio produkcję:** energii elektrycznej, paliw ciekłych (benzyny, oleju napędowego) i smarów, olejów (opałowych, smarowych, transformatorowych i in.), asfaltów i produktów asfaltowych, rozpuszczalników (benzyn ekstrakcyjnych i lakowych, acetonu i in.), wyrobów parafinowych (parafiny stałej, petrolatum, cerezyny), gazu płynnego (propanu – butanu), tworzyw sztucznych, wielu innych produktów petrochemicznych (polietylenu, propylenu, styrenu, etanolu, alkoholu izopropylowego, chlorowcopochodnych etanu, glikoli, gliceryny, fenolu, n – butanolu, butadienu, izooktanu..... etc.), nawozów sztucznych, farmaceutyków etc.

Nadto ropa naftowa i gaz determinują pośrednio produkcję żywności i wydajność rolnictwa, m. in. poprzez budownictwo drogowe (*asfalty*), nawozy, transport kołowy i maszyny rolnicze (*paliwa*). Publicyści podają, że ponad milion wyrobów na świecie pochodzi od ropy!

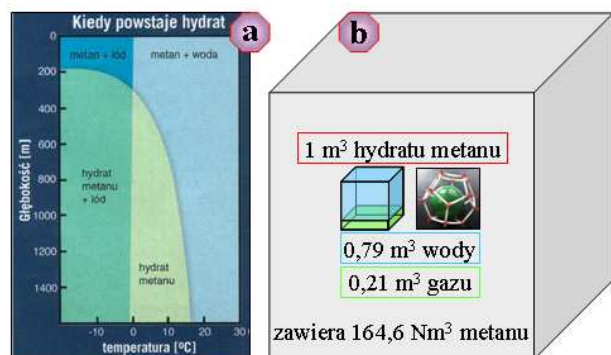
Kryzys naftowy będzie groźny w szczególności dla rynku paliw napędowych, co musi spowodować narastające trudności dla wszelkich rodzajów transportu, w tym maszyn i pojazdów rolniczych, budowlanych, lokomotyw i in., a nadto dla procesu wytwarzania wszystkich produktów ropopochodnych.

**W skali globalnej *Oil Peak* będzie oznaczać m. in. narastający kryzys wytwórczy w przemyśle i rolnictwie, rozprzestrzenianie się obszarów głodu, zjawiska deglobalizacyjne, wojny surowcowe etc.**

Oszacowanie wystarczalności zasobów ropy ukazuje więc tylko część problemu. Dostępne źródła [8, 9] podają, że w odniesieniu do gazu naturalnego efekt *Gas Peak* wystąpi z ok. 10 – letnim (lub mniejszym) opóźnieniem w stosunku do *Oil Peak*. Trudnościom z tym związanym będzie towarzyszył lawinowy wzrost zależności naszej cywilizacji technicznej od innych źródeł energii pierwotnej.

Pojawia się zatem pytanie, czy i jakie są na ziemi alternatywne źródła energii, czy istnieje jakieś paliwo ratunkowe?

Niektóre kręgi specjalistów przywiązują dużą wagę do przyszłej roli **hydratów metanu** (rys. 7).



**Rys. 7.** Gazohydraty: a) warunki tworzenia się hydratu metanu; b) skład i model struktury sieci krystalicznej [12, 13].

Gazohydraty tworzą się w określonych zakresach temperatury i ciśnienia, składają się z cząsteczek gazu zamkniętych w sieci krystalicznej wody (inne hydraty pominięto). Ilość naturalnych hydratów występujących na ziemi jest znacznie większa od zasobów paliw kopalnych, przy czym ilościowo dominuje hydrat metanu.

Jest to bardzo wydajne źródło metanu, ponieważ 1 m<sup>3</sup> hydratu złożony z ok. 0,79 m<sup>3</sup> wody i ok. 0,21 m<sup>3</sup> gazu zawiera ok. 164,6 Nm<sup>3</sup> metanu. Jest to dotychczas nieeksploatowane ogromne źródło energii pierwotnej i cenny surowiec chemiczny.

Światowe zasoby hydratu metanu oceniane są [12] na ponad 18000 Gtoe (*gigaton ekwiwalentu ropy; dla bezpośredniego porównania zasobów energetycznych poszczególnych źródeł energii sprowadza się je do wspólnego przelicznika, najczęściej ekwiwalentu ropy*). Jest to prawie dwa razy tyle, co pozostałych kopalni energetycznych.

Wiedza o zasobach oraz eksploatacji hydratów i o technologii produkcji oraz transportu metanu jest jednak jeszcze w powijakach, jakkolwiek prowadzone są intensywne badania w tym zakresie.

Obecny poziom rozwoju energetyki jądrowej EJ również nie pozwala spokojnie patrzeć w przyszłość, chociaż zamierzenia wielu krajów wskazują na przyspieszenie rozwoju w tej dziedzinie.

Dotyczy to szczególnie elektrowni wykorzystujących energię rozszczepienia atomów w dotychczas stosowanym cyklu paliwowym otwartym *CPO*, umożliwiającym wykorzystanie jedynie bardzo małej części energii paliwa jądrowego (ok. 0,7%, w najnowocześniejszych reaktorach 2 ÷ 3%). Przy pracujących 442 reaktorach o łącznej mocy elektrycznej 370921 MWe, prognozy rozwojowe obejmują 28 reaktorów w budowie, 62 w planach realizacyjnych (są projekty, lokalizacje i źródła finansowania) oraz 161 proponowanych (stadium początkowe; są decyzje, założenia i ew. projekty wstępne). Pokazane to zostało na rys. 8.



**Rys. 8.** Energetyka jądrowa: a) prognozy rozwojowe reaktorów o cyklu paliwowym otwartym CPO, b) prace rozwojowe międzynarodowego forum nad IV generacją reaktorów powielających o cyklu paliwowym zamkniętym CPZ, wykorzystujących prawie 100% energii rozszczepienia [14, 15].

Jak wskazują dane na rys. 8a, dominuje w tym wyścigu Azja, podejmują wyzwanie Rosja i USA, ale i kraje UE wznowiły rozbudowę EJ opartej obecnie na reaktorach III generacji. Zapewniają one tanią i stabilną generację energii elektrycznej, mogą skutecznie zastąpić elektroenergetykę opartą na spalaniu paliw organicznych.

Znacznie bardziej wydajne od konwencjonalnych reaktory powielające IV generacji (rys. 8b) umożliwiają wielokrotnie efektywniejsze (realnie w ok. 60 ÷ 70%, a jak twierdzą skrajni optymiści prawie w 100%) wykorzystanie zasobów uranu w cyklu paliwowym zamkniętym CPZ, ale upowszechnienie tej technologii w obecnej wersji oznacza zarazem stworzenie możliwości upowszechnienia dostępu do broni nuklearnej, co mogłoby przy dzisiejszych stosunkach międzynarodowych skuteczniej zagrozić współczesnej cywilizacji, niż globalny kryzys energetyczny. Możliwie szybkie opanowanie i masowe wdrożenie tej technologii jest jednak **jedyną realną drogą istotnego wydłużenia okresu łącznej wystarczalności dotychczas wykorzystywanych geopolaliw**, co jest niezbędne dla poszukiwania nowych rozwiązań docelowych problemu kryzysu globalnego.

Synteza jądrowa to nadal odległa przyszłość. Decyzją z 2005 r., w Cadarache k. Marsylii rozpoczęto w 2007 r. budowę ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) [18].

ITER to drugi najdroższy na świecie projekt badawczy, tańszy tylko od międzynarodowej stacji kosmicznej. Pierwszy zapłon jest przewidywany na rok 2016, planowana jest praca reaktora przez 20 lat. Koszt ITER: w przybliżeniu 10 mld euro (50% UE, po 10% Chiny, Japonia, Korea Pd., Rosja i USA).

Moc i czas reakcji fuzyjnej: **500 MW przez 500 sekund**. Średnica pierścienia plazmy 12 m, objętość komory spalania ~1000 m<sup>3</sup>. Planowany dodatni bilans mocy przy ok. 10 - krotnym jej wzmocnieniu.

Energia będzie wydzielana w postaci ciepła, nie jest planowane przetwarzanie jej na energię elektryczną. Wynikiem projektu ITER mają być dane bazowe do budowy pokazowej elektrowni termojądrowej DEMO (3 - 4 GW).

W odróżnieniu od reakcji rozszczepienia synteza jądrowa nie jest reakcją łańcuchową. Jest dużo bardziej bezpieczna, nie jest możliwy proces niekontrolowany. Dla zatrzymania reakcji wystarczy odciąć dostarczanie paliwa. Do utrzymania reakcji w czasie 1 minuty potrzeba zaledwie kilka gramów plazmy.

W materiałach Parlamentu Europejskiego [16] dotyczących projektu ITER i budowy ITER jako jednego z głównych etapów stworzenia prototypowych reaktorów, a następnie budowy „demonstracyjnej” elektrowni syntezy jądrowej zakłada się, że ta technologia „może w znacznym stopniu przyczynić się do urzeczywistnienia zrównoważonych i pewnych dostaw energii UE za około **pięćdziesiąt lub sześćdziesiąt lat**, po penetracji rynku przez komercyjne reaktory syntezy jądrowej”.

To bardzo długi czas, ok. 80% okresu wystarczalności (tab. 1) wszystkich znanych i dostępnych kopalnych źródeł energii pierwotnej. Nie można obecnie stwierdzić, że np. hydraty metanu pozwolą przetrwać przez ten okres bez poważnego wstrząsu cywilizacyjnego.

Energia syntezy jądrowej jest zresztą obecnie dostępna, z dużym nadmiarem, w postaci energii słonecznej, ale nadal nie umiemy jej właściwie wykorzystać [20].

Z docierającej do nas energii słonecznej, przy powierzchni Ziemi można efektywnie wykorzystać do 1000 W/m<sup>2</sup>, w zależności od szerokości geograficznej, pory roku, pory doby, klimatu, pogody etc.

W Polsce średnia roczna gęstość mocy solarnej wynosi ~105 - 125 W/m<sup>2</sup>, a średnie nasłonecznienie (roczna gęstość strumienia energii) wynosi 3,3 - 4,0 GJ/m<sup>2</sup> rok.

Jakkolwiek energia słoneczna jest prazródłem wszystkich odnawialnych zródeł energii, a także paliw kopalnych na bazie węgla organicznego, to jej wykorzystanie napotyka na podstawową sprzeczność. Bieząco dociera ona do ziemi w sposób rozproszony. Była przetwarzana przez miliony lat poprzez procesy bioorganiczne do postaci wysokiej koncentracji w paliwach kopalnych. Wszystkie nasze technologie energetyczne polegają na wykorzystaniu tego koncentratu i rozproszeniu energii. Obecnie potrafimy koncentrować energię słoneczną w postaci biomasy, ale jest to proces o relatywnie małej efektywności, podobnie jak metody bezpośredniego przetwarzania promieniowania słonecznego na ciepło lub elektryczność, wykorzystywania energii wiatrów, pływów, fal morskich, ciepła oceanów, czy też energii geotermalnej [24, 25].

Jednak rozwijanie tych technologii wytwarzania i przetwarzania energii, w połączeniu z rozwojem energooszczędnych technologii użytkowania wszystkich rodzajów energii, jest jedynym racjonalnym kierunkiem rozwojowym pozwalającym na zmniejszanie intensywności eksploatacji kopalnych surowców energetycznych, wydłużenie okresu ich wystarczalności i danie ludzkości więcej bezcennego czasu na rozwiązanie problemu pałapki energetycznej, w której się znalazła.

O racjonalności eksploatacji poszczególnych zródeł i wykorzystywania różnych technologii energetycznych decyduje energetyczna stopa zwrotu EROEI (Energy Returned On Energy Invested - energia zwrócona do zainwestowanej). Granicą energetycznej opłacalności jest  $EROEI = E_r / E_i > 1$ , gdzie  $E_r$  - energia zawarta w surowcu energetycznym,  $E_i$  - energia potrzebna do jego pozyskania. Wybrane wartości EROEI [5] (z wyjątkiem energii jądrowej):

- ▲ ropa: pierwotnie ~100, obecnie: 3 (USA); 10 (Arabia Saud.); średnio: ~5;
- ▲ węgiel: lata 40.: 80 - 100; lata 70.: 30;
- ▲ piaski i łupki roponośne: 1,5;
- ▲ energia jądrowa: obecnie ~50; w końcu XXI wieku ~25; (przewidywane zmniejszanie wskutek wzrostu kosztów wykorzystywania coraz uboższych rud uranu i toru – oszacowanie własne autora);
- ▲ fuzja jądrowa: 0,65;
- ▲ biopaliwa: 1,5 - 2;
- ▲ wiatraki: 2;
- ▲ ogniwa słoneczne:  $0,8 \div 1,7$  (przy obecnej technologii bliżej 0,8);
- ▲ wodór: 0,8 (nie jest źródłem energii, a jedynie nośnikiem energii, który trzeba wyprodukować).

Wszystkie działania przy stopie zwrotu poniżej jedności są pozbawione sensu, bo jest to strata energii. Do działań stymulujących dalszy rozwój cywilizacyjny niezbędne jest **tworzenie nowych rozwiązań o możliwie dużych wartościach energetycznej stopy zwrotu**. Jej zmniejszanie się wraz z upływem czasu dla ropy, gazu i węgla to efekt wyczerpywania się złóż łatwo dostępnych i wzrostu kosztów wydobycia (dotyczy to również uranu, choć w tym przypadku sprawa ma kilka odrębnych aspektów). Niezbędne jest szczególnie poszukiwanie alternatywy dla paliw silnikowych, bo *Oil Peak* najpierw uderzy w ten niezwykle czuły punkt naszej cywilizacji.

Problemu tego nie rozwiąże np. rozwój EJ bazującej na rozszczepianiu atomów, pozwalający na przejściowe opanowanie sytuacji.

Obecny poziom techniki i badania naszego globu pozwoliły na w miarę wiarygodne oszacowanie istniejących zasobów kopalnych zródeł energii pierwotnej [3, 4, 24]. Nie należy więc oczekiwać wielkich odkryć np. ropy i in., cudownie zmieniających katastrofalny obraz sytuacji. Dostępne źródła zawierają znaczne rozbieżności dotyczące realnie lub hipotetycznie istniejących zasobów kopalnych zródeł energii pierwotnej. Największe są rozbieżności danych o zasobach uranu. Jest to uściślone, ale nie ma praktycznego znaczenia dla generalnego obrazu sytuacji.

Wszystkie kopaliny będące nieodnawialnymi źródłami energii pierwotnej (ropa, gaz, węgiel, uran + tor, hydraty metanu) należy traktować **jednakowo**, kierując się tymi samymi zasadami oceny ich wystarczalności, przy znanym i prognozowanym tempie globalnego wzrostu rocznego zapotrzebowania energii pierwotnej (średnia 30-letnia 1970 ÷ 2000 ok. 2%).

Oznacza to, że proces ich produkcji również podlega modelowi Hubberta. Nie ma logicznych przesłanek innego traktowania problemu.

Pod pojęciem wystarczalności ropy (lub innej kopaliny) rozumie się zazwyczaj liczbę lat, oszacowaną jako iloraz r/p (reserves to production), tj. zasobów do produkcji w roku poprzedzającym prognozę. Jest to podejście niewłaściwe, dające zawyżone wyniki. Analiza danych z minionych lat wskazuje na celowość przyjmowania **uśrednionej stałej wartości rocznej stopy procentowej wzrostu zużycia danej kopaliny**, co powinno być powszechnie przyjmowane w znanych prognozach perspektywicznych. Z danych wg rys. 6b wynika, że nawet znaczne zmiany tego wskaźnika, czy też wielkie (*wirtualne*) zwiększanie zasobów (*hipotetyczne nowe odkrycia*) przesuwają *oil peak* w granicach zaledwie  $10 \div 20$  lat.

Dla oszacowania wystarczalności każdego z zasobów odrębnie oraz **wszystkich łącznie** przyjęto metodologię postępowania umożliwiającą oszacowanie minimalnego oraz maksymalnego okresu wystarczalności dotychczas rozpoznanych kopalnych zródeł energii pierwotnej [20, 25].

Do analizy wzięto pod uwagę zasoby: ropy, gazu, węgla (kamiennego i brunatnego łącznie) i uranu (z uwzględnieniem toru w przypadku reaktorów prędkich z cyklem paliwowym zamkniętym) i hydratów metanu.

- Na podstawie dostępnych danych, wzorem USGS (rys. 6b), określono trzy kategorie zasobów:
  - x – istniejące z wysokim prawdopodobieństwem  $p \geq 95\%$ , eksploatowane lub możliwe do uzasadnionej ekonomicznie eksploatacji w obecnych warunkach technologicznych (inaczej: udokumentowane, udostępnione, przemysłowe, konwencjonalne, potwierdzone bezpośrednio etc.);
  - y – istniejące z umiarkowanie wysokim prawdopodobieństwem, dokładnie nieokreślonym ale zawartym w przedziale  $95\% > p > 5\%$ , dotychczas nieeksploatowane ze względów technicznych lub ekonomicznych, możliwe do przyszłej eksploatacji po zmianach warunków technologicznych lub ekonomicznych (inaczej: szacunkowe, bilansowe, niekonwencjonalne, potwierdzone pośrednio etc.);
  - z – istniejące z małym prawdopodobieństwem  $p \leq 5\%$ , nieudokumentowane, nieeksploatowane, innymi słowy w znacznym stopniu hipotetyczne, domniemane na podstawie różnych przesłanek, oszacowane wg najbardziej optymistycznych prognoz.
- Opracowano program komputerowy (w MSO Excel 2003) umożliwiający wielowariantową analizę danych niezbędnych do oszacowania wystarczalności poszczególnych zasobów.
- Wszystkie zasoby energetyczne wyrażono w  $Mt_{oe}$ , średnie przeliczniki wg World Energy Council [24].
- Jako zasoby całkowite przyjęto sumę trzech kategorii zasobów  $x+y+z$  wg p. 1.
- Na podstawie danych z 30-lecia 1971 ÷ 2000 [20] oszacowano średnie stopy rocznego wzrostu zużycia (produkcji) poszczególnych kopalin, jako  $\%_s$  – składany i  $\%_1$  - liniowy dla .
- Dla danych wg p. 4 i 5 oszacowano w latach wystarczalność zasobów każdej z analizowanych kopalin dla wariantów  $\%_s$ : x, x+y, T = x+y+z (dotyczy uranu przy cyklu paliwowym otwartym CPO; nie dotyczy uranu z torem przy cyklu paliwowym zamkniętym CPZ (reaktory powielające) oraz hydratów metanu, bo nie są znane y oraz z), nadto  $\%_1$  dla x+y+z oraz granice x/P ÷ T/P (P – produkcja w 2000 r).
- Wg analogicznej procedury oszacowano trzy warianty **łącznie** wystarczalności energii pierwotnej dla przypadków ( $\%_s$ ):
  - uran (CPO) + gaz + ropa + węgiel (kamienny z brunatnym),
  - jak a) + hydraty metanu,
  - jak b), ale dla uranu + toru (CPZ)
- Porównane w tabeli 1 trzy metody analizy wystarczalności zasobów dają olbrzymie rozbieżności. Z zasady przezorności wynikają preferencje dla wariantu  $\%_s$ , ponieważ stwarza margines bezpieczeństwa.

**Tabela 1.** Oszacowanie wystarczalności obecnych i przyszłych kopalnych paliw pierwotnych [14, 17, 20 ÷ 28].

Źródło energii pierwotnej	Zasoby całkowite [Gtoe] T=x+y+z	Składniki zasobów [Gtoe]			Roczna stopa wzrostu zużycia		Wystarczalność od bazowego roku 2000 $\%_s$ [lata]			Wystarczalność x+T od bazowego roku 2000 przy produkcji P[Mtoe] $\%_1$ oraz x/P i T/P [lata]		
		x	y	z	$\%_s$	$\%_1$	x	x+y	T	x+T( $\%_1$ )	x/P÷T/P	P
Uran CPO	344	33	15	296	2,6	2,9	32	41	104	35+173	49+508	676
Gaz	1263	425	438	397	3,0	4,7	66	87	100	101+201	202+601	2101
Ropa	2648	301	521	1822	1,4	1,7	57	106	178	64+290	86+762	3474
Węgiel	6271	1023	2352	2896	1,7	2,2	127	193	229	192+565	436+2678	2341
Energia pierwotna 1	10526	1782	3326	5411	2,0	2,7	76	121	155	101+312	179+1056	9963
Hydraty metanu	18836	5651										-
Energia pierwotna 2	29362	7433			2,0	2,7	139		205	254+559	746+2947	9963
U&Th CPZ*	632564	8802	5672	618090	2,6	2,9	229*	249*	398*	1036* +9109*		-
Energia pierwotna 3	661926	16235			2,0	2,7	176	208*	362	401+4886	1629+ 66438	9963

**Gdzie:** x, y, z – jak wyżej w p. 1; CPO – cykl paliwowy otwarty uranu (dotychczasowa technologia, wykorzystanie od ok.  $0,7 \div 2$  (3) % energii uranu); CPZ – cykl paliwowy zamknięty uranowo – torowy (reaktory powielające, założenie wykorzystania ok. 70% energii uranu + toru, z zastrzeżeniem jak w <sup>3)</sup>); **energia pierwotna:** 1 – łącznie dla dotychczasowych źródeł przy CPO; 2 – jak 1 z uwzględnieniem hydratów metanu; 3 – jak 2 przy CPZ – przy założeniu ilości uranu x/y/z: 3,3/1,5/29,6 Mt U oraz toru 1,2/1,4/2,0 Mt Th wg [28, 30÷32]; dane do symulacji z lat 1971/2000 wg [17]; \* wartości porównawcze, zgrubnie oszacowane dla CPZ wg wybranych danych dla CPO; ilości Th prawdopodobnie zaniżone, nie ma światowych danych statystycznych.



Z uzyskanych dla wariantu najostrożniejszego (%) rezultatów wynika kilka zasadniczych wniosków:

1. Realnie istniejące i osiągalne zasoby wszystkich kopalnych źródeł energii pierwotnej (x+y) przy dotychczasowym 2% średnim rocznym wzroście zużycia energii pierwotnej ulegną wyczerpaniu w przedziale **ok. 70 – 120 lat**.
2. Włączenie do eksploatacji olbrzymich i jeszcze nienaruszonych, ale zapewne nie całkiem osiągalnych zasobów hydratów metanu przedłuży ten okres o **ok. 60 lat**.
3. Energetyka jądrowa o opanowanych lub przewidywanych technologiach rozszczepiania atomów, przedłuży ten okres o kolejne 40 lat (dotyczy zasobów x), a po wprowadzeniu prędkich reaktorów powielających i włączeniu do produkcji energii zasobów toru ludzkość zyska zapewne **ponad 200lat**.
4. Energetyka jądrowa wykorzystująca energię rozszczepiania atomów nie jest w stanie rozwiązać docelowo problemu wyczerpywalności kopaliny ze względu na ograniczone zasoby uranu i toru. Jest jednak konieczna dla wydłużenia okresu przetrwania cywilizacji do uzyskania takiego rozwiązania i **tę funkcję może i musi spełnić**.
5. Żadna z wykorzystywanych dotychczas metod pozyskiwania energii pierwotnej nie pozwala na ostateczne wyeliminowanie zagrożenia naszej cywilizacji globalnym kryzysem energetycznym.
6. Jedyną obecnie znaną teoretyczną szansą zażegnania tego kryzysu jest opanowanie fuzji jądrowej, magnetycznej lub laserowej, jako taniego źródła energii pierwotnej. Mamy na to w praktyce ok. 100 lat, może nawet ze 200 - 300. Tylko co to oznacza w skali cywilizacyjnej?

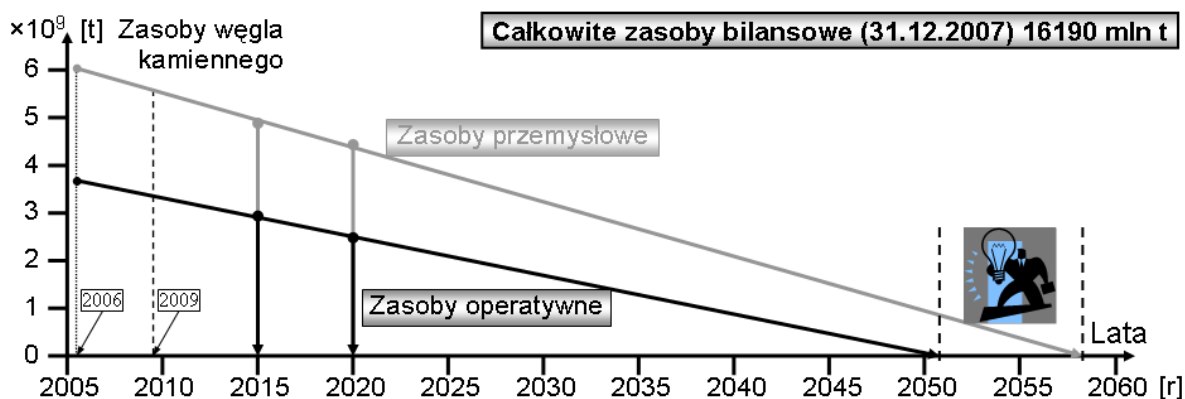
**Powaga sytuacji nie dociera do społeczności międzynarodowej, w szczególności do politycznych kręgów decydenckich, nie są więc organizowane w skali globalnej zintegrowane działania antykryzysowe, dające szansę podjęcia tego największego dla ludzkości wyzwania cywilizacyjnego i skutecznego wyeliminowania śmiertelnego zagrożenia.**

## II. SYTUACJA ENERGETYCZNA POLSKI

Pod względem struktury wykorzystania surowców energetycznych Polska jest krajem nietypowym, bowiem aż 97% energii wytwarza się z paliw stałych, w tym 63% z węgla kamiennego. Prognozy w tym zakresie są zmienne w zależności od sposobu szacowania zasobów bilansowych surowców. Dla węgla kamiennego, wg danych GIG, na koniec roku 2007 można przyjąć ilości podane w tabeli 2 oraz na rys. 9.

**Tabela 2.** Polski węgiel kamienny – zasoby i prognozy. Źródło danych [2], opr. własne.

WIELKOŚĆ ZASOBÓW WĘGLA KAMIENNEGO W ROKU 2006 ORAZ PRZEWIDYWANA W LATACH 2015 i 2020 [mln t]	Całkowite zasoby węgla kamiennego		
	Rok	Przemysłowe [mln t]	Operatywne [mln t]
1	2	3	4
<b>Razem POLSKA:</b>	<b>2006r</b>	<b>6 033</b>	<b>3 692</b>
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.	<b>2015r</b>	<b>4 891</b>	<b>2 931</b>
Katowicka Grupa Kapitałowa	<b>2020r</b>	<b>4 439</b>	<b>2 479</b>
Kompania Węglowa S.A.	<b>% zmiana</b>	<b>73,6%</b>	<b>67,2%</b>
KWK "Budryk" S.A.	<b>2020/2006</b>		
LW "Bogdanka" S.A.			
Południowy Koncern Węglowy S.A.			



**Rys. 9.** Wystarczalność polskich zasobów węgla kamiennego. Źródło danych [2], opr. własne wg tabeli 2.



Wystarczalność węgla kamiennego to okres jedynie 40 ÷ 50 lat. Ew. przedłużenie tego okresu będzie zależało od możliwości wykorzystania zasobów bilansowych w polach niezagospodarowanych.

Polska dysponuje jeszcze resztkowymi ilościami ropy i gazu, pokazanymi w tabeli 3. Hydratów metanu w Polsce brak. Uranu się nie wydobywa od wielu lat, sprawa jego ew. zasobów wymaga odrębnej analizy.

**Tabela 3.** Wystarczalność polskich zasobów ropy naftowej i gazu ziemnego (dane wg PIG i MG ).

Kopalina	Zasoby Z	Zapotrzebowanie P	Wydobycie W	Wystarczalność Z/P	Wystarczalność Z/W
Ropa	21,6 mln t	18,4 mln t	0,8 mln t	<b>1,2 roku</b>	27
Gaz	151,2 mld m <sup>3</sup>	11,4 mld m <sup>3</sup>	5,2 mld m <sup>3</sup>	<b>13 lat</b>	29

Zasoby bilansowe węgla brunatnego w Polsce oceniane są na 14 mld t w złożach czynnych, 8 mld t w złożach perspektywicznych, co przy obecnym wydobyciu ok. 60 mln t / r zapewnia okres wystarczalności ok. 400 lat. Węgiel brunatny odgrywa bardzo ważną rolę przy wytwarzaniu energii elektrycznej.

Strukturę wytwarzania energii pierwotnej oraz energii elektrycznej w Polsce pokazano w tabelach 4 i 5.

**Tabela 4.** Polskie zapotrzebowanie na poszczególne nośniki energii pierwotnej [Mtoe, jednostki naturalne] [1].

	Jedn.	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Węgiel brunatny <sup>*)</sup>	Mtoe	12,6	11,22	12,16	9,39	11,21	9,72
	mln ton	59,4	52,8	57,2	44,2	52,7	45,7
Węgiel kamienny <sup>**)</sup>	Mtoe	43,8	37,9	35,3	34,6	34,0	36,7
	mln ton	76,5	66,1	61,7	60,4	59,3	64,0
Ropa i produkty naftowe	Mtoe	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
	mln ton	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
Gaz ziemny <sup>***)</sup>	Mtoe	12,3	12,0	13,0	14,5	16,1	17,2
	mld m <sup>3</sup>	14,5	14,1	15,4	17,1	19,0	20,2
Energia odnawialna	Mtoe	5,0	6,3	8,4	12,2	13,8	14,7
Pozostałe paliwa	Mtoe	0,7	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6
Paliwo jądrowe	Mtoe	0,0	0	0	2,5	5,0	7,5
Eksport energii elektrycznej	Mtoe	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>RAZEM ENERGIA PIERWOTNA</b>	<b>Mtoe</b>	<b>97,8</b>	<b>93,2</b>	<b>95,8</b>	<b>101,7</b>	<b>111,0</b>	<b>118,5</b>

<sup>\*)</sup> – wartość opałowa węgla brunatnego 8,9 MJ/kg

<sup>\*\*)</sup> – wartość opałowa węgla kamiennego 24 MJ/kg

<sup>\*\*\*)</sup> – wartość opałowa gazu ziemnego 35,5 MJ/m<sup>3</sup>

<b>Bilans i struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce</b>					
Lp	Rok	1997		2007	
1	Jednostki	GWh	%	GWh	%
2	Produkcja brutto, z tego:	142 790	100,000	159 347	100
3	Elektrownie ciepłe zawodowe	130 960	91,720	148 024	92,89
4	Elektrownie ciepłe przemysłowe	8 006	5,610	7653	4,80
5	Elektrownie wodne	3 816	2,670	2939	1,84
6	Inne źródła odnawialne	8	0,006	731	0,46
7	Zakup z zagranicy (pobór)	5 357	3,750	7 761	4,87
8	Sprzedaż za granicę (oddanie)	7 542	5,280	13 109	8,23
9	Zużycie krajowe	140 605	98,470	153 999	96,64
10	w tym straty przesyłu i dystrybucji	16 685	11,690	14 560	9,14

Przeciętna wartość opała węgla brunatnego wynosi tylko ok. 37% wartości opału węgla kamiennego, a obecny i prognozowany udział węgla brunatnego w wytwarzaniu energii pierwotnej jest wg tabeli 4 relatywnie niski [1] i malejący (2006 – 12,9%, 2010 – 12%, 2020 – 9,2%, 2030 – 8,2%). Inaczej jest w przypadku energii elektrycznej. Bez mała 50 TWh energii elektrycznej netto (34%) jest wytwarzane z węgla brunatnego, 86 TWh (58%) z kamiennego (dane za 2006 r). [1]. Trzeba się w przyszłości liczyć ze znacznym zmniejszeniem okresu wystarczalności węgla brunatnego wskutek wzrostu intensywności jego eksploatacji, powodowanej wyczerpywaniem się zasobów węgla kamiennego. Towarzyszyć temu będą znane kłopoty środowiskowe i ich konsekwencje techniczne i ekonomiczne, tutaj pominięte.

Oszacowana wg tabeli 4 średnia stopa wzrostu rocznego zapotrzebowania energii pierwotnej została przyjęta na poziomie ok. 0,75%, co jest wskaźnikiem bardzo niskim (wręcz stagnacyjnym) w prognozowanym okresie do roku 2030, ponad dwukrotnie niższym np. od wcześniejszych prognoz PK ŚRE (ok. 1,6%).

Z danych w tabelach 4 i 5 wynika, że pomimo tego co się mówi w Polsce na temat eksploatacji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, jest ona, poza wspomnianą energią wodną, bardzo mała (poniżej 0,5%). Jest to energia obecnie relatywnie droga, jednak są to ogromne, ale niewykorzystane możliwości rozwojowe.

Polska polityka energetyczna dotychczas była i jest nadal realizowana w oderwaniu od problemów globalnych ujmowanych kompleksowo z punktu widzenia wystarczalności źródeł energii pierwotnej.

Na tle wyżej podanych informacji warto przeanalizować założenia strategiczne przyjęte przez Ministerstwo Gospodarki na temat **dostępności nośników energii pierwotnej**, zawarte w załączniku nr 2 *PROGNOZA ZAPOTRZEBOWANIA NA PALIWA I ENERGIĘ DO 2030 ROKU* do projektu [1], gdzie (cytuję fragmenty):

- **nie zakładano ograniczeń** możliwości dostaw węgla kamiennego wobec **dużych zasobów światowych**, mimo ograniczonego krajowego potencjału wydobywczego w złożach operatywnych;
- **nie zakładano ograniczeń** w możliwościach importu ropy i gazu ziemnego;
- uwzględniono potencjał wydobywczy węgla brunatnego istniejących kopalń oraz perspektywicznych zasobów tego węgla w złożu Gubin. Przyjęto, że złożo Legnica nie będzie eksploatowane do 2030 r.
- **założono, że paliwo jądrowe będzie powszechnie dostępne** na rynku światowym, zarówno w zakresie dostaw rudy uranowej, jak i zdolności przerobczych zakładów wzbogacania, a także potencjału produkcyjnego elementów paliwowych **do reaktorów wodnych** (sic!).
- **uwzględniono zasoby energetyki odnawialnej w Polsce**, w tym przede wszystkim energii wiatru oraz biomasy (uprawy energetyczne, odpady rolnicze, przemysłowe i leśne oraz biogaz).
- uwzględniono energię geotermalną w zakresie, który może stanowić racjonalny potencjał energii odnawialnej do produkcji ciepła.
- założono, że saldo wymiany energii elektrycznej z zagranicą będzie zerowe.

**Czy zatem żyjemy i wечно żyć będziemy w ułudnym świecie o nieograniczonych zasobach po przystępnych cenach?** Czy nowe dane, coraz bardziej niepokojące, dotrą wreszcie do świadomości ludzkiej i wywołają reakcję obronną?

W takich uwarunkowaniach nasze dotychczasowe działania na rzecz dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia Polski w ropę i gaz są nad wyraz krótkowzroczne. Marnujemy energię i kapitał polityczny na walkę o rurociąg NABUCCO, którym do Polski nigdy nic nie popłynie, a na południe Europy niewiele. Kto bowiem na świecie ma naprawdę ropę i gaz?

Oil		BP Statistical Review of World Energy June 2008				Natural gas			
Proved reserves	At end 2005		Share of total	R/P ratio	At end 2005		Share of total	R/P ratio	
	Thousand million tonnes	Thousand million barrels			T trillion cubic metres				
Azerbaijan	1.0	7.0	0.6%	42.4	1.37	0.8%	*		
Denmark	0.2	1.3	0.1%	9.3					
Italy	0.1	0.7	0.1%	17.0	Ukraina	0.6%	58.7		
Kazakhstan	5.4	39.6	3.3%	79.6	3.00	1.7%	*		
Norway	1.3	9.7	0.8%	8.9	2.41	1.3%	28.3		
Romania	0.1	0.5	*	11.3	0.63	0.3%	48.6		
Russian Federation	10.2	74.4	6.2%	21.4	47.82	26.6%	80.0		
Turkmenistan	0.1	0.5	*	7.8	2.90	1.6%	49.3		
United Kingdom	0.5	4.0	0.3%	6.1	0.53	0.3%	6.0		
Uzbekistan	0.1	0.6	*	12.9	1.85	1.0%	33.2		
Other Europe & Eurasia	0.3	2.2	0.2%	12.9	0.46	0.3%	47.0		
<b>Total Europe &amp; Eurasia</b>	<b>19.2</b>	<b>140.5</b>	<b>11.7%</b>	<b>22.0</b>	<b>64.01</b>	<b>35.6%</b>	<b>60.3</b>		
<b>Total North America</b>	<b>7.8</b>	<b>59.5</b>	<b>5.0%</b>	<b>11.9</b>	<b>7.46</b>	<b>4.1%</b>	<b>9.9</b>		
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>14.8</b>	<b>103.5</b>	<b>8.6%</b>	<b>40.7</b>	<b>7.02</b>	<b>3.9%</b>	<b>51.8</b>		
<b>Total Middle East</b>	<b>101.2</b>	<b>742.7</b>	<b>61.9%</b>	<b>81.0</b>	<b>72.13</b>	<b>40.1%</b>	<b>*</b>		
<b>Total Africa</b>	<b>15.2</b>	<b>114.3</b>	<b>9.5%</b>	<b>31.8</b>	<b>14.39</b>	<b>8.0%</b>	<b>88.3</b>		
<b>Total Asia Pacific</b>	<b>5.4</b>	<b>40.2</b>	<b>3.4%</b>	<b>13.8</b>	<b>14.84</b>	<b>8.3%</b>	<b>41.2</b>		
<b>TOTAL WORLD</b>	<b>163.6</b>	<b>1200.7</b>	<b>100.0%</b>	<b>40.6</b>	<b>179.83</b>	<b>100.0%</b>	<b>65.1</b>		
of which: OECD	10.6	80.6	6.7%	11.2	14.95	8.3%	13.8		
OPEC	123.2	902.4	75.2%	73.1					
Non-OPEC†	23.5	175.4	14.6%	13.6	UE25	1.4%	12.9		
Former Soviet Union	16.8	122.9	10.2%	28.4	58.32	32.4%	76.7		

Strategiczne działania gospodarcze i kierunki polityki zagranicznej w zakresie dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia Polski w ropę naftową i gaz muszą być zdeterminowane realną zasobnością źródeł zaopatrzenia (tabela 6).

**Tabela 6.** Dywersyfikacja iluzoryczna zaopatrzenia Polski w ropę i gaz.

Są tylko dwa strategiczne źródła ropy naftowej: Bliski Wschód i Rosja ze stowarzyszonym Kazachstanem, a także tylko dwa strategiczne źródła gazu: Bliski Wschód

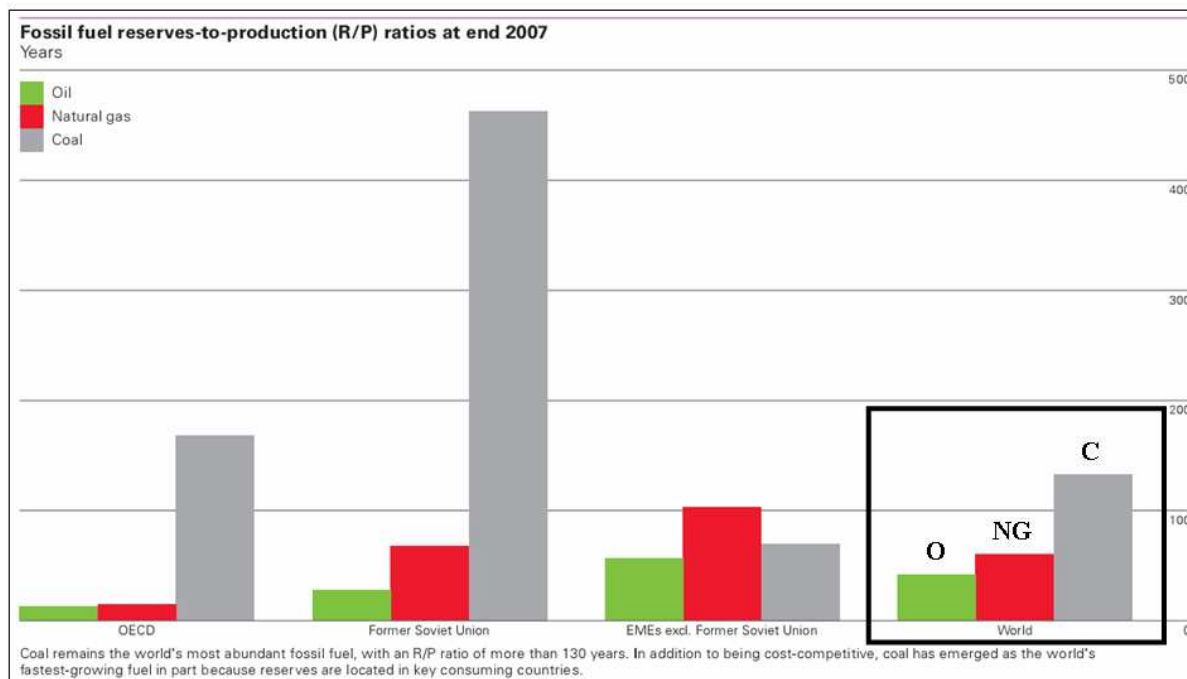
i Rosja. Na całej reszcie można budować rozwiązania doraźne, liczone w latach, a nie strategiczne, liczone w

dziesięcioleciach. Najdobitniej wyrazili to Niemcy, budując rurociąg bałtycki obok Polski, co w połączeniu z naszą polityką wschodnią jest dla Polski wysoce niekorzystne, by nie powiedzieć ogromnie niebezpieczne. **Solidarność europejska w obliczu głodu energetycznego może okazać się wysoce iluzoryczna.**

### III. KONKLUZJE

Żaden kraj na świecie nie może i nie powinien realizować swej polityki energetycznej w oderwaniu od problemu globalnego kryzysu energetycznego, bo **żaden nie przetrwa tego sam**. W skali globalnej nie jest istotne, o ile dziesiątek lat będzie się różnił okres destrukcji cywilizacyjnej w poszczególnych krajach, ale czy ludzkość potrafi i zdąży znaleźć skuteczne metody zażegnania globalnego kryzysu energetycznego. Dotyczy to także Polski.

Na rys. 10 pokazano najnowsze wyniki (za 2007) oszacowania wystarczalności globalnej trzech podstawowych kopalnin: ropy, gazu i węgla.



**Rys. 10.** Wystarczalność globalna zasobów węgla kamiennego C (130 lat), ropy O (40 lat) i gazu ziemnego NG (60 lat). Źródło danych [3]/2008, podkr. dodatkowe własne. EMEs → Emerging Market Economies = Ameryka Południowa i Centralna, Afryka, Bliski Wschód, Eurazja bez członków OECD.

Dotyczy to rezerw udokumentowanych wg procedur BPSR [3], co najlepiej odpowiada zasobom x wg tabeli 1. Zbieżność wyników wg rys. 10 i tabeli 1 jest tak wysoka, że wnioski nasuwa się same:

- **szybkość destrukcji zasobów geopaliw jest większa, niż szybkość samoorganizowania się cywilizacji dla przetrwania,**
- **prawdopodobieństwo destabilizacji jest wyższe, niż równowagi (nawet na niskim poziomie),**
- **bardzo szybko wzrasta zagrożenie wejścia w stadium niemożliwego do opanowania kryzysu energetycznego.**

A zatem kopalne źródła energii pierwotnej wyczerpują się i proces ten będzie ulegał przyspieszeniu nie tylko wskutek wzrostu liczby ludności świata, ale także wskutek szybkiego wzrostu poziomu cywilizacyjnego zaniedbanych gigantów demograficznych: Chin, Indii, Dalekiego Wschodu, Ameryki Południowej, Afryki. **Konkurencja w wyścigu do źródeł energii pierwotnej będzie gwałtownie wzrastać. W miarę powolnego w skali życia człowieka nasilania się sytuacji kryzysowej, posiadacze zasobów energetycznych będą coraz bardziej troszczyć się o swój byt i przetrwanie, a coraz mniej o dobre interesy ze sprzedaży zasobów dla przetrwania innych. Sytuacja wówczas może stać się wysoce konfliktowa.**

Pierwszym znakiem kryzysu będzie zapewne postępujący spadek produkcji paliw napędowych z ropy, co może nastąpić stosunkowo szybko. Nie ma czarodziejskiej różdżki, która by rozwiązała ten problem.

Drogi do uniknięcia globalnego kryzysu energetycznego nie są obecnie znane. Konieczne są całkowicie nowe rozwiązania, wymagające wykorzystania całego geniuszu ludzkiego i zbiorowego wysiłku cywilizacyjnego, na co pozostaje coraz mniej czasu. W praktyce problem musi zostać rozwiązany przez dwa, ew. trzy następane pokolenia.



W międzyczasie trzeba podejmować i rozwijać lokalne i globalne działania zmierzające do zwiększenia produkcji energii z elektrowni jądrowych i ze źródeł odnawialnych oraz racjonalnego użytkowania energii, szczególnie elektrycznej, co będzie łagodziło nasilenie się kryzysu energetycznego.

Dotychczasowe działania antykryzysowe można uznać jedynie za wysoce niezadowolające, zarówno w skali globalnej jak i europejskiej oraz lokalnej, chociaż zainteresowanie polityką energetyczną zaczęło wyraźnie wzrastać. Zdecydowana większość podejmowanych działań systemowych, polityczno – ekonomicznych i technicznych dotyczy tylko jednej strony bilansu energetycznego, tj. problematyki wytwarzania energii elektrycznej, natomiast po stronie użytkowania energii elektrycznej w praktyce dzieje się niewiele [25].

Oczywistą konsekwencją takiej sytuacji jest pilne podjęcie działań antykryzysowych w zakresie użytkowania energii elektrycznej, z równą aktywnością i determinacją jak w zakresie jej wytwarzania.

W przypadku Polski, konieczne jest podjęcie przez Rząd energicznych działań dla odrobienia wieloletniego opóźnienia we wprowadzaniu energetyki jądrowej EJ.

Interwencja Rządu jest również niezbędna dla zrównoważenia dotychczasowych dysproporcji między działaniami na rzecz wytwarzania oraz użytkowania energii elektrycznej. W szczególności potrzeba systemowego wsparcia dla tworzenia i wdrażania nowych, energooszczędnych technologii użytkowania energii elektrycznej. Takie ukierunkowanie badań w dziedzinie elektryki, przy wykorzystaniu środków pomocowych UE dla finansowania programów badawczo – wdrożeniowych oraz upowszechniania wyników u odbiorców, będzie miało wielkie znaczenie dla przyspieszenia rozwoju gospodarki, społeczeństwa i dla opóźniania kryzysu.

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, że:

1. Analiza zasobności energetycznej poszczególnych źródeł energii pierwotnej wykazuje, iż żadna z wykorzystywanych dotychczas metod jej pozyskiwania nie pozwala na wyeliminowanie zagrożenia naszej cywilizacji globalnym kryzysem energetycznym. Obecny poziom rozwoju EJ, bazującej na energii rozszczepienia atomów, również nie pozwala spokojnie patrzeć w przyszłość. Dotyczy to zarówno cyklu paliwowego otwartego *CPO*, jak i zamkniętego *CPZ* (reaktory powielające IV generacji – rys. 8). Rozwój tej techniki jest jednak **absolutnie niezbędny** dla wydłużenia okresu przetrwania cywilizacyjnego. Synteza jądrowa jest nadal technologią energetyczną odległej przyszłości (wg mat. KE potrzeba na to min. 50 - 60 lat). To za długi czas, ok. 80% okresu całkowitej wystarczalności wszystkich znanych i dostępnych źródeł energii pierwotnej. **Prace te wymagają zdecydowanego przyspieszenia.**
2. W obecnej sytuacji w Polsce jest konieczne z jednej strony wprowadzenie EJ jako niezawodnego i relatywnie taniego źródła energii, zwłaszcza elektrycznej, z drugiej strony rozwijanie odnawialnych technologii wytwarzania i przetwarzania energii, wsynergicznym połączeniu z rozwojem energooszczędnych technologii użytkowania wszystkich rodzajów energii. Umożliwi to zmniejszanie intensywności eksploatacji dotychczasowych źródeł energii pierwotnej i wydłużenie okresu ich wystarczalności oraz na danie ludzkości więcej czasu na rozwiązanie problemu pułapki energetycznej, w której się znalazła.
3. Możliwości technologiczne działań antykryzysowych są bardzo ograniczone. Działania takie należy podejmować w trzech niżej podanych kategoriach a) ÷ c).
  - a) W zakresie technologii znanych i obecnie stosowanych:
    - Silne stymulowanie ekonomiczne rozwoju technologii energooszczędnych we wszystkich dziedzinach;
    - Systemowe wspieranie rozwoju odnawialnych źródeł energii, w tym elektrycznej;
    - Rozwój i upowszechnianie metod racjonalnego użytkowania energii, zwłaszcza elektrycznej;
    - Rozważne stymulowanie rozwoju EJ wykorzystującej energię rozszczepiania atomów przy użyciu najlepszych z dotychczas wykorzystywanych technologii (sprawa do rozstrzygnięcia przez ekspertów, są różne możliwości – np. CANDU, AP1000 i in.); jest to konieczny **pierwszy etap przejściowy**, pozwalający odtworzyć i rozbudować polski przemysł pracujący dla EJ, ale nie docelowa jej koncepcja (ze względu na małe wykorzystywanie energii uranu).
  - b) W zakresie technologii badanych i rozwojowych:
    - Przyspieszanie rozwoju EJ wykorzystującej energię rozszczepiania atomów przy użyciu IV generacji prędkich reaktorów powielających o wielokrotnym recydingu paliwa (sprawa jw do rozstrzygnięcia przez ekspertów, są różne możliwości – np. reaktor prędko chłodzony sodem SFR, reaktor z bardzo wysoką temperaturą VHTR i in.); jest to konieczny **drugi etap przejściowy**, pozwalający na maksymalne wykorzystanie energii zasobów toru i uranu, dający naszej cywilizacji relatywnie długi czas na znalezienie docelowego rozwiązania problemu;
    - Przyspieszanie rozwoju technologii wodorowych w gospodarce, zwłaszcza w transporcie kołowym, maszynach rolniczych i budowlanych etc., dla zastąpienia ropopochodnych lub węglowodnorodnych paliw płynnych.

- c) W zakresie rozpoznanych technologii przyszłości:
- Przyspieszanie prac nad fuzją jądrową (magnetyczną, laserową [29]) jako źródłem energii pierwotnej i technologiami wodorowymi jako jej nośnikami.
4. Działania wg pkt 3 a) oraz 3 b) nie dają gwarancji docelowego usunięcia zagrożenia globalnym kryzysem energetycznym. Z pewnością jednak opóźniają jednak jego nadejście i szybkość narastania, dając bezcenny czas na uniknięcie katastrofy cywilizacyjnej. Działania wg pkt 3 c) są obecnie jedyną rozpoznaną teoretycznie technologią stwarzającą jakiegokolwiek szanse zażegnania kryzysu.
  5. Zasadnicze znaczenie dla globalnych i lokalnych procesów rozwojowych ma energia elektryczna. W tym zakresie Polskę cechuje jednostronne podejście do kryzysu energetycznego. Większość działań systemowych, polityczno – ekonomicznych (w tym MG) i technicznych dotyczy problematyki wytwarzania energii elektrycznej, natomiast po stronie użytkowania energii elektrycznej w praktyce dzieje się niewiele. Determinanty takiego stanu rzeczy, to: pozycja polityczna energetyki zawodowej (lobbing polityczny), potęga ekonomiczna (inwestycje) oraz zorganizowanie (sprawność działań), podczas gdy po stronie konsumenckiej występuje rozproszenie środowiskowe, brak możliwości integracji ekonomicznej, brak wspólnego forum organizacyjnego.
  6. W szczególności Rząd Polski powinien w trybie pilnym podjąć decyzje polityczne i realizacyjne o wprowadzeniu EJ opartej na reaktorach III generacji oraz o odtworzeniu i rozwoju krajowego potencjału badawczego w zakresie EJ, z docelowym ukierunkowaniem na reaktory powielające IV generacji, a nadto o wejściu do GIF - Międzynarodowego Forum Generacji IV pracującego nad systemami elektrowni jądrowych wykorzystujących takie reaktory (rys. 8). Wysoce korzystne dla Polski wydaje się przyspieszanie **przeskoku technologicznego** do reaktorów IV generacji, co pozwoli skrócić przejściowy etap EJ z reaktorami III generacji i możliwie szybko zmaksymalizować wykorzystanie energii uranu oraz toru. Realność i warunki dokonania takiego skoku technologicznego, którego idea i opłacalność nie budzi wątpliwości, musi być przedmiotem specjalistycznej ekspertyzy wykonanej dla Rządu. Pozwoli to uniknąć kolejnych kosztownych opóźnień, jakie wystąpiły wskutek przerwania pierwotnego polskiego programu budowy energetyki jądrowej. Dotyczy to również problemu fuzji jądrowej (ITER).
  7. Za preferowany przez Rząd kierunek rozwojowy w nauce i gospodarce należy uznać i systemowo stymulować technologie wodorowe, ponieważ wodór jako nośnik energii pierwotnej alternatywny do paliw ropopochodnych może stać się podstawowym (a już obecnie dość dobrze rozpoznany) paliwem przyszłości dla systemów i środków transportu, możliwym do taniego wytwarzania w przypadku opanowania fuzji jądrowej jako taniego źródła energii pierwotnej.

#### Literatura:

- [1] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, marzec 2009 r., wer. nr 3, zał. 1 – 5.
- [2] Czaplicka K.: Zasoby węgla kamiennego. Prezentacja multimedialna, GIG, 2009; Konferencja PAN Wyniki Narodowego Programu Foresight Polska 2020, Warszawa, 2009.
- [3] BP Statistical Review of World Energy. 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008. [www.bp.com](http://www.bp.com)
- [4] International Energy Agency. Publications and papers. <http://www.iea.org/Textbase/publications/index.asp>
- [5] Peak oil. Szczyt produkcji ropy naftowej. <http://www.peakoil.pl/>
- [6] Raport ORNL/TM-2003/259. Oak Ridge National Laboratory, 2003
- [7] WorldOil magazine 04.2008, [http://www.worldoil.com/Magazine/magazine\\_contents.asp?Issue\\_Type=CURRENT](http://www.worldoil.com/Magazine/magazine_contents.asp?Issue_Type=CURRENT)
- [8] Wood J. H., Long G. R., Morehouse D. F.: Long-Term World Oil Supply Scenarios. <http://www.hubbertpeak.com/us/eia/oilsupply2004.htm>
- [9] Hirsch R. L., Bezdek R., Wendling R.: Peaking of world oil production: impact, mitigation, & risk management. 2005. [http://www.projectcensored.org/newsflash/The\\_Hirsch\\_Report\\_Proj\\_Cens.pdf](http://www.projectcensored.org/newsflash/The_Hirsch_Report_Proj_Cens.pdf)
- [10] Bankier.pl POLSKI PORTAL FINANSOWY. <http://www.bankier.pl/inwestowanie/narzedzia/tech/index.html?>
- [11] Oil Voice: [http://www.oilvoice.com/n/Petrobras\\_Provides\\_Clarifications\\_on\\_the\\_Discovery\\_in\\_the\\_Carioca\\_Area/](http://www.oilvoice.com/n/Petrobras_Provides_Clarifications_on_the_Discovery_in_the_Carioca_Area/)
- [12] U.S. Geological Survey. Marine and Coastal Geology Program. Gas (Methane) Hydrates -- A New Frontier. <http://marine.usgs.gov/fact-sheets/gas-hydrates/title.html>
- [13] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Klatrat\\_metanu](http://pl.wikipedia.org/wiki/Klatrat_metanu)
- [14] [atomowe]: Reaktory jądrowe na świecie (2006-07) oraz zapotrzebowanie na uran. [http://www.atomowe.kei.pl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=54&Itemid=69](http://www.atomowe.kei.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=54&Itemid=69)
- [15] Modro S. M.: Systemy elektrowni jądrowych Generacji IV, ekonomicznie konkurencyjnych, bezpiecznych oraz niepodatnych na wykorzystanie dla celów produkcji broni jądrowej. Opracowanie Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. [http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/strona\\_konferencja\\_2003/EPS2003\\_07pl.pdf](http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/strona_konferencja_2003/EPS2003_07pl.pdf)
- [16] Buzek J.: (sprawozdawca): Sprawozdanie nr (COM(2005)0119 – C6-0112/2005 – 2005/0044(CNS)). Komisja Przemysłu, Badań Naukowych i Energii Parlamentu Europejskiego. 04.01.2006
- [17] Polski Komitet Światowej Rady Energetycznej. Raport: Sektor energii – świat i Polska. Rozwój 1971 – 2000, perspektywy do 2030 r. [http://www.iea.org/Textbase/publications/free\\_new\\_Desc.asp?PUBS\\_ID=911](http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=911)
- [18] 52004IE0955 Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie energii termojądrowej.
- [19] <http://www.jet.efda.org/pages/jet/history/chronology.html>
- [20] Bartosik M.: Globalny kryzys energetyczny – mit czy rzeczywistość? Przegląd Elektrotechniczny. R. 84 NR 2/2008
- [21] International Energy Annual (IEA) - long-term historical international energy statistics. <http://www.eia.doe.gov/iea/>

- [22] Olsza M., Ubywa zasobów i mocy - rośnie zapotrzebowanie. Węgiel górą! "Energia - Gigawat", nr 11/2003.  
<http://www.gigawat.net.pl/article/articleview/276/1/33>
- [23] Rogner H.H.: An Assessment of World Hydrocarbon Resources, Annual Review of Energy and Environment, 1997
- [24] World Energy Council. Latest WEC Studies and Reports. <http://www.worldenergy.org/publications/>
- [25] Biuletyn Techniczno – Informacyjny OŁ SEP nr 3/2006 (32)
- [26] <http://www.hydropole.ch/Hydropole/Intro/WorldE.gif>
- [27] [World Information Service on Energy. WISE Uranium Project.](http://www.wise-uranium.org/index.html) <http://www.wise-uranium.org/index.html>
- [28] Lenarczyk K.: Możliwości wykorzystania toru w energetyce. Politechnika Warszawska, 2004
- [29] Clery D.: Fusion's Great Bright Hope. <http://www.sciencemag.org/> SCIENCE VOL 324 17 April 2009, AAAS.
- [30] WNA <http://www.world-nuclear.org/info/inf62.htm> (Updated February 2009)
- [31] USGS <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/thorium/690303.pdf>
- [32] 2007 Survey of Energy Resources World Energy Council 2007 Uranium  
[http://www.worldenergy.org/documents/ser2007\\_final\\_online\\_version\\_1.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_final_online_version_1.pdf)