Marek Bartosik[1)]

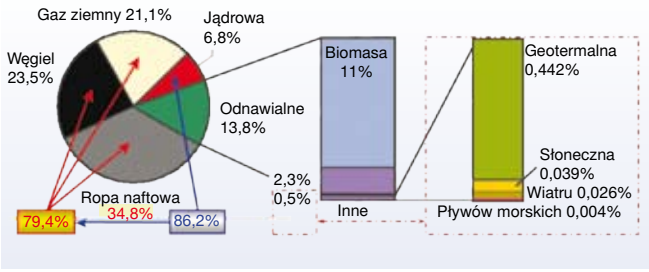
Ziemia w pułapce energetycznej

The Globe in an energy trap

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/a. Potrzeby energetyczne wzrastają o ok. 2% rocznie, bo energia jest niezbędna do zaspokojenie naszych podstawowych potrzeb materialnych i niematerialnych: bezpiecznego schronienia, ciepła, produkcji i dostaw wyżywienia i wody, transportu, wytwarzania i dystrybucji wyrobów przemysłowych, edukacji, nauki, kultury, rozrywki...

W skali globalnej większość energii pierwotnej pochodzi z nieodnawialnych, kopalnych źródeł energii pierwotnej (geopaliw) (rys.1).



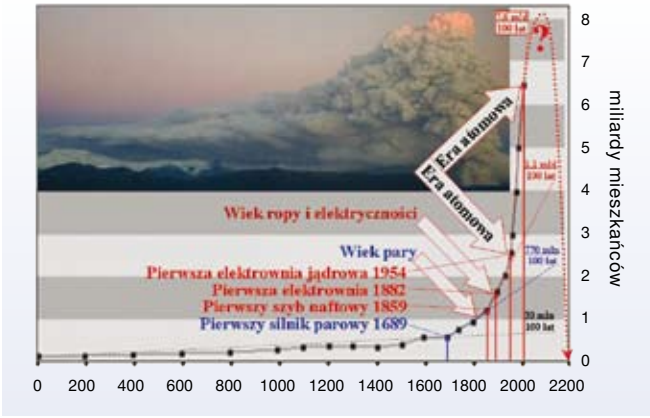
Rys. 1. Udział różnych źródeł energii pierwotnej w światowej produkcji energii w 2000 r. [4]

Przytłaczające jest nasze uzależnienie energetyczne od geopaliw (86,2%). Dominuje ropa naftowa (34,8%). Nader skromny jest udział odnawialnych źródeł energii (13,8%), pomimo gromkiej publicystyki na ten temat. Wielu ekspertów oraz instytucji ostrzega, że wzrost zapotrzebowania na energię, szczególnie elektryczną, powoduje przyspieszone wyczerpywanie się zasobów geopaliw. Sygnały ostrzegawcze ze strony specjalistów są niestety często traktowane jako nieuzasadnione. Przeciwstawiana im jest naiwna wiara w niewyczerpywalność ziemskich zasobów geopaliw, a także lekceważenie ograniczeń technicznych i ekonomicznych ich eksploatacji. 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. Dodatkowo presja tzw. środowisk proekologicznych powoduje zafałszowanie realnych możliwości technicznych i ekonomicznych wykorzystywania odnawialnych źródeł energii oraz blokuje rozwój energetyki jądrowej (EJ).

Cały ten trudny problem jest w skali globalnej niedogodny dla elit politycznych, ponieważ nie ma szybkiego rozwiązania pozytywnego, nie da się politycznie sprzedać elektoratowi i bezpieczniej go nie podejmować.

Tymczasem gigantyczny przyrost liczby ludności i wzrost energochłonności rozwijającej się cywilizacji technicznej, gwałtownie przyspieszają zużywanie geopaliw, 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.

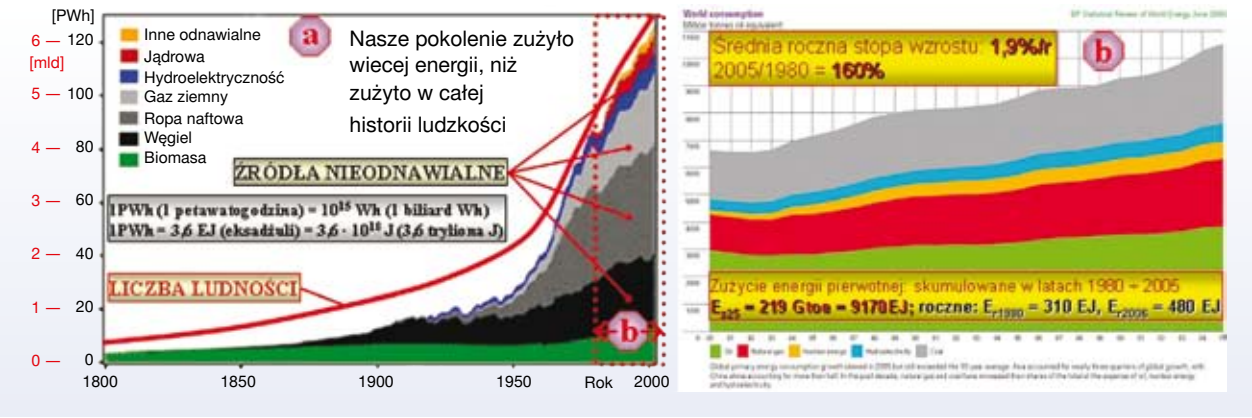
Eksplozja demograficzna jest faktem, a jej związek z poziomem cywilizacyjnym wyraźny (rys.2).



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

Przez tysiące lat nasza ludzkość rozwijała się względnie powoli, zaspokajając aż do XVII wieku niewielkie potrzeby energetyczne, głównie poprzez spalanie biomasy. Obecną cywilizację techniczną tworzymy od ponad 320 lat, wykorzystując coraz intensywniej skończone zasoby geopaliw.

[1)] Prof. nadzw. PŁ, dr hab. n. t. inż. Marek Bartosik, polityk, nauczyciel akademicki, poseł na Sejm X kadencji, były wiceminister nauki jest kierownikiem Katedry Aparatów Elektronicznych na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Infirmatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej.



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

W drugiej połowie XX wieku nasze pokolenie zużyło więcej energii niż wszystkie poprzednie pokolenia w całej poznanej dotychczas historii ludzkości. Lawinowemu wzrostowi liczebności populacji ludzkiej towarzyszyło wejście do eksploatacji na nieznaną dotychczas skalę kolejno węgla, ropy, gazu i uranu (rys. 3).

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, zawiera m. in. różne zasoby nieodnawialnych geopaliw, ilości poszczególnych zasobów są skończone. Eksploatacja geopaliw wyczerpuje ich rezerwy (proporcjonalne do szybkości zużywania). Nie ma sensu pytanie, czy zasoby kopalin energetycznych się wyczerpią. Jest pytanie, kiedy to nastąpi?

Nasza cywilizacja techniczna siedzi w pułapce energetycznej, którą sama sobie stworzyła, ale nie przyjmujemy tego do społecznej świadomości. Konieczne jest szybkie znalezienie nowego rozwiązanie problemu.

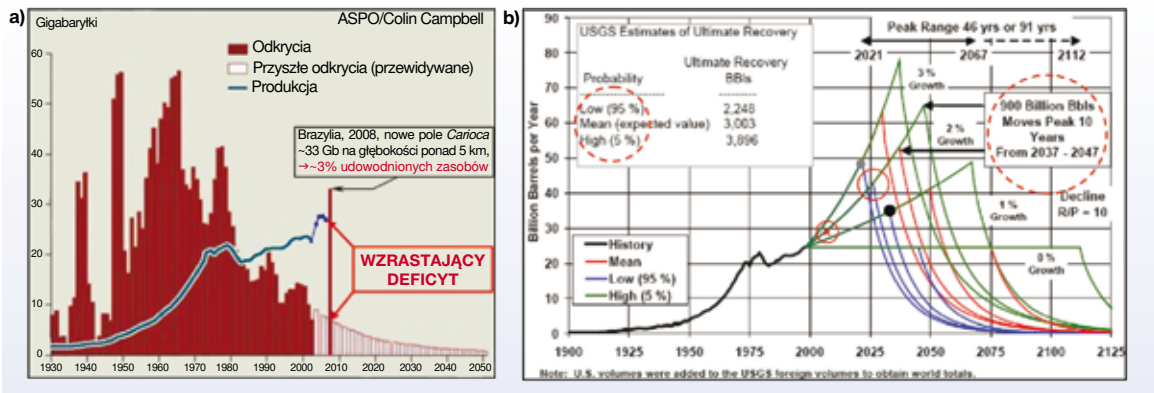
Obecnie nie mamy dla naszego modelu „cywilizacji kopalinowej" żadnej sensownej alternatywy. Do świadomości ogółu nie dociera, że zagrożenie kryzysem energetycznym ma charakter globalny, nie lokalny, i że wyścig z czasem o przetrwanie i rozwój naszej cywilizacji technicznej trwa już od ponad 300 lat,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

Wyczerpywanie się jednego źródła energii pierwotnej będzie powodowało przenoszenie ciężaru podtrzymania energetycznego cywilizacji ludzkiej kolejno na pozostałe, aż do ich kompletnego wyczerpania. Dane statystyczne są powszechnie dostępne, a wymowa faktów jest brutalna. Kolejno należy oczekiwać nasilania się kryzysu naftowego (pierwsze symptomy są już widoczne), następnie gazowego, po czym węglowego i uranowego. Dla kompleksowej oceny zagrożenia globalnym kryzysem energetycznym niezbędne jest łączne oszacowanie wystarczalności wszystkich geopaliw.

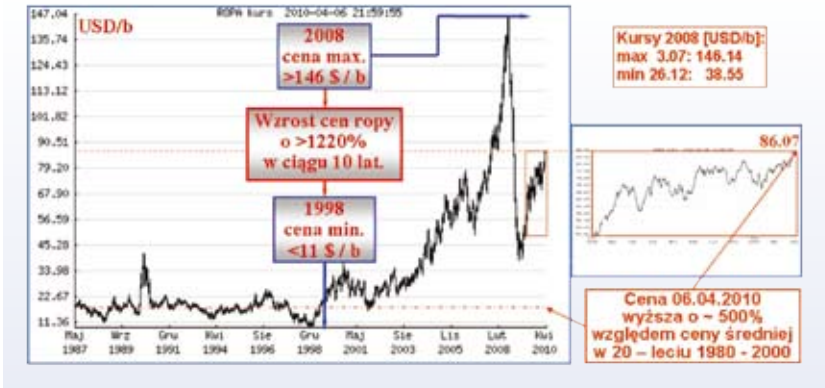
Problem wystarczalności zasobów najwcześniej został dostrzeżony i właściwie oceniony w przypadku ropy naftowej w USA. Objawy kryzysu naftowego są obecnie wyraźnie widoczne, deficyt ropy szybko wzrasta (rys. 4a).

W 1956 r. powstała teoria tzw. Oil Peak (teoria Hubberta), trafnie przewidująca amerykański kryzys naftowy lat 70., potwierdzona wielokrotnie w dalszych latach w odniesieniu do innych producentów ropy. Nowoczesne prognozy amerykańskie wykorzystujące tę teorię przedstawione zostały na rysunku 4b.

Suma cząstkowych krzywych Hubberta określonych dla poszczególnych producentów ropy tworzy krzywą globalną (rys. 4b).



Rys. 4. a) Objawy kryzysu naftowego: wzrastający deficyt ropy naftowej [5], uzupełnienia wg [3] oraz o zasobności złoża Carioca [11] niepotwierdzone; b) Scenariusze produkcji ropy konwencjonalnej wg [5, 6] wykorzystujące teorię Hubberta; × – 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% wzroście (~2035 r.)



Rys. 5. Zmiany cen ropy w minionym 20–leciu

Maksimum poszczególnych wariantów krzywej Hubberta, sporządzonych dla różnych wskaźników procentowych wzrostu rocznego zapotrzebowania na ropę, odpowiada zużyciu 50% znanych zasobów. Wirtualny przyrost zasobów ropy aż o 900 mld[2] baryłek opóźnia Oil Peak zaledwie o 10 lat. Decydujący wpływ na to ma olbrzymie i szybko wzrastające tempo zużywania tych zasobów. Światowe wydobycie 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. Głośne odkrycie w 2008 r. 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 Oil Peak lub jest właśnie w fazie szczytu wydobycia. Na każdych sześć zużytych baryłek ropy przypada jedna odkryta. Proporcja ta pogarsza się każdego roku.

Niezależnie od krótkoterminowych wahań, po kryzysie z 2008 r. cena ropy znów szybko wzrasta (rys. 5).

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 opóźnieniem w stosunku do Oil Peak. Trudnościom z tym związanym będzie towarzyszył przyspieszony 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. Składają się one z cząsteczek gazu zamkniętych w sieci krystalicznej wody. Jest to bardzo wydajne źródło metanu, ponieważ 1 m^3 hydratu złożony z ok. 0,79 m^3 wody i ok. 0,21 m^3 gazu zawiera ok. 164,6 m^3_n metanu. Jest to dotychczas nieeksploatowane ogromne źródło energii pierwotnej i cenny surowiec chemiczny. Światowe zasoby naturalnych hydratów metanu oceniane są [12] na ponad 18 000 Gtoe (gigaton ekwiwalentu ropy). Jest to prawie dwa razy tyle, co pozostałych geopaliw łącznie.

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 zarówno konwencjonalnych elektrowni jądrowych, 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%), jak i znacznie bardziej wydajnych prędkich reaktorów powielających, umożliwiających wielokrotnie efektywniejsze (realnie w ok. 60–70%, a jak twierdzą skrajni optymiści prawie w 100%) wykorzystanie zasobów uranu oraz toru w cyklu paliwowym zamkniętym CPZ z wielokrotnym recyclingiem paliwa. Możliwie szybkie opanowanie i upowszechnienie tej ostatniej technologii jest realną drogą do istotnego wydłużenia okresu łącznej wystarczalności dotychczas wykorzystywanych geopaliw, co zwiększa

[1]) billion amerykański odpowiada miliardowi europejskiemu

szanse znalezienia nowych rozwiązań dla pokonania globalnego kryzysu energetycznego. Ziemskie zasoby uranu i toru są jednak ograniczone oraz nieodnawialne.

Wszystkie geopaliwa 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.

Obecny poziom techniki i badania naszego globu pozwoliły na w miarę wiarygodne oszacowanie istniejących zasobów kopalnych źródeł 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 geopaliw. Największe są rozbieżności danych o zasobach uranu, zasoby toru nie są uwzględniane w statystykach międzynarodowych. Jest to uściślane, ale nie ma praktycznego znaczenia dla generalnego obrazu sytuacji.

Pod pojęciem wystarczalności dowolnego geopaliwa rozumie się zazwyczaj liczbę lat, oszacowaną jako iloraz r/p (reserves to production), tj. rezerw 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 prognozach perspektywicznych. Z danych wg rysunku 4b wynika, że nawet znaczne zmiany tego wskaźnika, czy też wielkie (wirtualne) zwiększanie zasobów (hipotetyczne nowe odkrycia), przesuwają Oil Peak w granicach zaledwie 10–20 lat.

Do oszacowania wystarczalności każdego z zasobów odrębnie oraz wszystkich łącznie została przyjęta metodologia postępowania umożliwiająca oszacowanie minimalnego oraz maksymalnego okresu wystarczalności dotychczas rozpoznanych geopaliw [20, 25].

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

Na podstawie dostępnych danych, wzorem USGS (rys.4b), określono trzy kategorie zasobów:

x – istniejące z wysokim prawopodobieństwem p ⩾ 95%, eksploatowane lub możliwe do uzasadnionej ekonomicznie eksploatacji w obecnych warunkach technologicznych (inaczej: udokumentowane, udostępnione, przemysłowe, konwencjonalne, potwierdzone bezpośrenio, rezerwy etc.);

y – istniejące z umiarkowanie wysokim prawopodobieństwem, 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 prawopodobieństwem p ⩽ 5%, nieudokumentowane, nieeksploatowane, innymi słowy w znacznym stopniu hipotetyczne, domniemane na podstawie różnych przesłanek, oszacowane wg najbardziej optymistycznych prognoz;

T - zasoby całkowite przyjęto jako sumę trzech ww. kategorii zasobów, T= x+y+z.

Opracowano program komputerowy umożliwiający wielowariantową analizę danych niezbędnych do oszacowania wystarczalności poszczególnych zasobów. Wyniki tej analizy zostały zestawione w tabeli 1.

W celu uzyskania poprawnych i porównywalnych wyników analizy, w przypadku każdego z wariantów pokazanych w tabeli 1 wykorzystano jednolite metody oszacowania wystarczalności zasobów geopaliw.

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] i T/P [lata]		
		x	y	z	$\%_s$	$\%_l$	x	x+y	T	x+T ($\%_l$)	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
Wegiel	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; CPO – cykl paliwowy otwarty uranu (dotychczasowa technologia, wykorzystanie od ok. 0,7÷2(3)% energii uranu); CPZ – cykl paliwowy zamknięty uranowo – torowy (reaktory powielające, założenie wykorzystania ok. 70% energii uranu + toru, z zastrzeżeniami jak niżej dla energii pierwotnej 3); 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

- Wszystkie zasoby energetyczne geopaliw wyrażono w Mtoe, średnie przeliczniki wg World Energy Council [24].
- Na podstawie danych z 30-lecia 1971–2000 [20] oszacowano dwuwariantowo średnie stopy rocznego wzrostu zużycia (produkcji) poszczególnych geopaliw, jako $\%_s$ – składany i $\%_l$ - liniowy.
- Dla powyższych danych oszacowano w latach wystarczalność zasobów każdego z analizowanych geopaliw dla:
  – przypadku $\%_s$: dla zasobów x, x+y, T=x+y+z (dla uranu przy CPO; nie dotyczy uranu z torem przy CPZ w reaktorach powielających; nie dotyczy hydratów metanu, bo nie są znane y oraz z),
  – przypadku $\%_l$: dla granic zakresu zasobów x ÷ T=x+y+z
  – przypadków granicznych x/P ÷ T/P (P – produkcja w 2000 r.).
- Wg analogicznej procedury oszacowano trzy warianty łącznej wystarczalności energii pierwotnej e. p. 1–3, gdzie:
  e.p. 1 – dla zasobów uranu w przypadku CPO, gazu, ropy i węgla (kamiennego z brunatnym),
  e.p. 2 – jak e. p. 1 oraz hydratów metanu,
  e.p. 3 – jak e. p. 2, ale dla zasobów uranu + toru w przypadku CPZ w reaktorach powielających.

Trzy porównane metody analizy wystarczalności zasobów dają olbrzymie rozbieżności. Z zasady przezorności wynikają preferencje dla wariantu $\%_s$, ponieważ stwarza największy margines bezpieczeństwa.

Wg opinii autora często stosowany wariant x/P – T/P jest nieprawidłowy i daje zawyżone wyniki. Szacowanie wystarczalności zasobów geopaliw przy założeniu stałego ich zapotrzebowania rocznego nie ma logicznego uzasadnienia w świetle danych statystycznych z kilkudziesięciu lat, wykazujących ustawiczny wzrost tego zapotrzebowania.

Z uzyskanych dla wariantu najostrzejszego ($\%_s$) rezultatów wynika kilka zasadniczych wniosków.

1. Realnie istniejące i osiągalne zasoby wszystkich geopaliw (x+y) przy dotychczasowym 2% średnim rocznym wzroście zużycia energii pierwotnej ulegną wyczerpaniu w przedziale ok. 70 – 120 lat (→ $\%_s$, e. p. 1 dla x ÷ x+y).
2. Włączenie do eksploatacji olbrzymich i jeszcze nienaruszonych, ale zapewne nie całkiem osiągalnych zasobów hydratów metanu przedłuży ten okres o ok. 60 lat (→ $\%_s$, e. p. 1 ÷ e. p. 2 dla x).
3. Energetyka jądrowa o opanowanych lub przewidywanych technologiach rozszczepiania atomów przedłuży ten okres o kolejne 40 lat (→ $\%_s$, e. p. 2 ÷ e. p. 3 dla x), a po wprowadzeniu prędkich reaktorów powielających i włączeniu do produkcji energii zasobów toru ludzkość zyska zapewne ponad 200 lat (→ $\%_s$, U&Th *CPZ*,* wyniki porównawcze o znaczeniu tylko orientacyjnym, zgrubnie oszacowane ze względu na brak danych dla CPZ oraz dla Th).
4. Energetyka jądrowa wykorzystująca energię rozszczepiania atomów nie jest w stanie rozwiązać docelowo problemu wyczerpywalności kopalin 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.

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.

Jedyną obecnie znaną teoretyczną szansą zażegnania tego kryzysu jest opanowanie magnetycznej fuzji jądrowej jako taniego źródła energii pierwotnej (brak akcji ciągłej wyklucza fuzję laserową z zastosowań energetycznych).

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.

Jest to nadal odległa przyszłość. Decyzją z 2005 r., w Cadarache k. Marsylii rozpoczęto w 2007 r. budowę ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) [18]. Pierwszy zapłon jest przewidywany na rok 2016, planowana jest praca reaktora przez 20 lat. Koszt ITER wyniesie w przybliżeniu 10 mld euro (50% UE, po 10% Chiny, Japonia, Korea Pd., Rosja i USA). Moc i czas reakcji fuzyjnej to 500 MW przez 500 sekund. Średnica pierścienia plazmy 12 m, objętość komory spalania ~1000 m^3. Planowany jest dodatni bilans mocy przy ok. 10-krotnym jej wzmocnieniu. Energia będzie wydzielana w postaci ciepła, nie jest planowane przetwarzanie jej na energię elektryczną.

Dopiero wynikiem projektu ITER mają być dane bazowe do budowy pokazowej elektrowni termojądrowej DEMO (3–4 GW). W materiałach Parlamentu Europejskiego [16] dotyczących projektu ITER i budowy DEMO 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, e. p. 1 dla x) wszystkich znanych i dostępnych geopaliw. 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^2, w zależności od szerokości geograficznej, pory roku, pory doby, klimatu, pogody etc. W Polsce średnia roczna gęstość mocy solarnej wynosi ~105–125 W/m^2, a średnie nasłonecznienie (roczna gęstość strumienia energii) wynosi 3,3–4,0 GJ/m^2 rok.

Jakkolwiek energia słoneczna jest praźródłem wszystkich odnawialnych źródeł energii, a także paliw kopalnych na bazie węgla organicznego, to jej wykorzystanie napotyka podstawową sprzeczność. Bieżąco 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].

Proporcje energii słonecznej oraz wszystkich światowych zasobów energii pierwotnej pokazano na rysunku 6.

Źródłem energii geotermalnej jest wnętrze Ziemi o temperaturze około 5400 °C, generujące przepływ ciepła w kierunku powierzchni. Moc ciepła wypływającego na powierzchnię Ziemi wynosi ok. 46 TW, stąd średni strumień geotermalny wynosi ok. 0,063 W/m^2, a średni gradient temperatury ok. 25 K/km. Jest to niewystarczające do eksploatacji bezpośredniej (do ogrzewania wystarczy woda geotermalna o temperaturze 35–100 °C stopni, ale do produkcji energii musi mieć ona temperaturę ponad 100 ^{0}C).

W praktyce geoenergia może być pozyskiwana w tzw. rejonach hipertermicznych o gradiencie temperatury ponad 80 K/km, ew. semitermicznych (40–80 K/km). Na razie energia geotermalna jest zbyt droga, by wykorzystywać ją na dużą skalę w energetyce i ma sens jedynie jako uzupełnienie innych źródeł energii, ale występowanie na danym obszarze rejonów hipertermicznych z wysokotemperaturową wodą termalną otwiera możliwości rozwoju taniej i ekologicznej energetyki na skalę lokalną. Rozwój tej geoenergetyki jest jednak dodatkowo uwarunkowany opanowaniem znanych trudności eksploatacyjnych (mineralizacja wód geotermalnych powoduje wytrącanie się soli w instalacjach przy odbieraniu ciepła), a nadto ekonomicznych (brak systemowych gwarancji zwrotu kosztów wierceń, o ile instalacja w danym miejscu okaże się niemożliwa).

Jesteśmy więc w wysoce paradoksalnej sytuacji. Energetycznie glob ziemski w kosmosie jest niemal zamkniętym układem, mającym dwa gigantyczne źródła energii: największym źródłem zewnętrznym jest Słońce, a największym wewnętrznym jest geoenergia. Mamy także skończone zasoby nieodnawialnych geopaliw: ropy, gazu, węgla, uranu.

Istota pułapki energetycznej, w której się znaleźliśmy wynika z naszych słabości technicznych:

- mamy efektywne technologie energetyczne potrzebne do wykorzystania geopaliw,
- nie mamy efektywnych technologii potrzebnych do wykorzystania obu wielkich źródeł energii.

W takim układzie globalnie zamkniętym o całości systemu cywilizacji ludzkiej decyduje energetyczna równowaga globalna oraz jej poziom. W obecnej sytuacji cywilizacji ludzkiej:

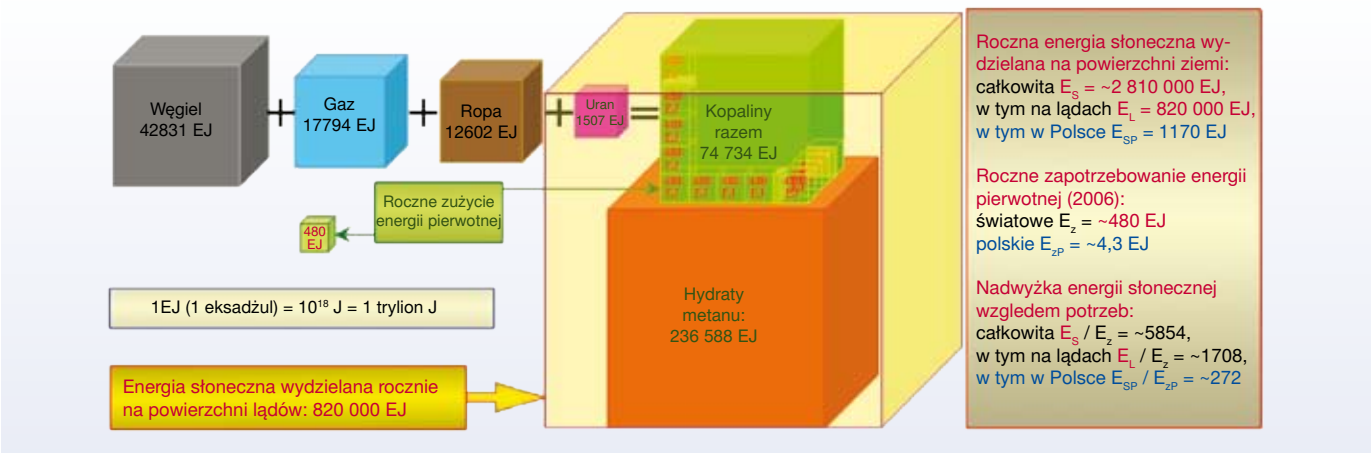
- za duża jest szybkość destrukcji zasobów geopaliw;
- za mała jest szybkość samoorganizowania się cywilizacji dla przetrwania;
- destabilizacja energetyczna jest bardziej prawdopodobna, niż równowaga (nawet na niskim poziomie).

Bardzo szybko wzrasta zagrożenie wejścia w stadium niemożliwego do opanowania kryzysu energetycznego.

Zgodnie z założeniami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 w sprawie promowania energii elektrycznej produkowanej z odnawialnych źródeł energii na wewnętrznym rynku energetycznym UE, zakłada się osiągnięcie do końca 2010 r. średniego wskaźnika na poziomie 12% źródeł odnawialnych w stosunku do całkowitego zużycia energii w UE.

Europejskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej (EWEA) opublikowało ostatnio raport *Pure Power* zawierający analizę dotychczasowego rozwoju energetyki wiatrowej w UE oraz scenariusze rozwoju tego sektora do roku 2020 i 2030 w krajach członkowskich. Według autorów raportu energetyka wiatrowa na lądzie jest najtańszą z dostępnych technologii OŹE, więc będzie miała największy wkład w osiągnięcie celu obligatoryjnego Dyrektywy 2009/28/WE, określającego dochodzenie do określonego udziału energii z OŹE w bilansie zużycia energii finalnej w 2020 r. Cel wyznaczony przez EWEA dla energetyki wiatrowej wzrósł ze 180 GW do 230 GW w roku 2020 oraz z 300 GW do 400 GW w roku 2030 (180 GW i 300 GW to scenariusz „niskiego" rozwoju, 230 GW i 400 GW to scenariusz „wysokiego" rozwoju).

Osiągnięcie tego celu będzie wszakże uwarunkowane rozwojem wspólnego europejskiego systemu elektroenergetycznego. Scenariusz „niski" przewiduje dla Polski w 2020 r. moc elektrowni wiatrowych 10 500 MW, tj. wzrost mocy zainstalowanej o ok. 836 MW rocznie i produkcję energii elektrycznej ok. 25,4 TWh (tj. ok. 12,5% udziału energetyki wiatrowej w produkcji energii elektrycznej, przy obecnej produkcji mniejszej od 1 TWh). Scenariusz „wysokiego" rozwoju prognozuje w 2020 r. odpowiednio: 12 500 MW; 1002 MW/a; 30 TWh; 14,8%. Dla Polski już scenariusz „niski" oznacza osiągnięcie w roku 2020 udziału wyższego od 12% wskazywanych przez Komisję Europejską.



Rys. 6. Światowe zasoby kopalnych źródeł energii pierwotnej [EJ] oszacowane z prawdopodobieństwem 95% wg danych za rok 2005 [20] i bilans energii słonecznej. Średnie przeliczniki wg World Energy Council [17].

Ilościowe oszacowanie wykorzystania innych odnawialnych źródeł energii jest obecnie rzeczą bardzo trudną (brak precyzyjnych badań i danych). Szczególne trudności sprawia np. oszacowanie ilości paliw odnawialnych wykorzystywanych w gospodarstwach domowych (drewno, torf, paliwa odpadowe). Udział źródeł odnawialnych w Polsce w 2002 roku został określony na około 2,5%. Założenia polityki energetycznej Polski do 2020 roku określają wzrost tego wskaźnika do 5%.

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 pułapki energetycznej, w której się znalazła.

O racjonalności eksploatacji poszczególnych źródeł i wykorzystywania różnych technologii energetycznych decyduje energetyczna stopa zwrotu EROEI (Energy Returned On Energy Invested - energia zwrócona do zainwestowanej). Jej zmniejszanie się wraz z upływem czasu dla ropy, gazu i węgla to efekt wyczerpywania się złóż łatwo dostępnych i wzrostu kosztów wydobycia. Granicą energetycznej opłacalności jest EROEI = Er / Ei > 1, gdzie Er - energia zawarta w surowcu energetycznym, Ei - energia potrzebna do jego pozyskania. Wartości EROEI podane w [5] mają duży rozrzut (obecnie średnio: węgiel ~30; ropa ~5; piaski i łupki roponośne ~1,5; gaz ~?, źródła odnawialne 0,8–2, w przypadku wiatraków tendencja wzrostowa; fuzja jądrowa ~0,65; wodór ~0,8 (nie jest on źródłem energii, a jedynie nośnikiem energii, który trzeba wyprodukować); wg oszacowania własnego autora dla EJ (rozszczepiania) obecnie ~50, w końcu XXI wieku ~25 (przewidywane zmniejszanie wskutek wzrostu kosztów wykorzystywania coraz uboższych rud uranu i toru).

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. 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 tylko na przejściowe opanowanie sytuacji.

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 rysunku 7.

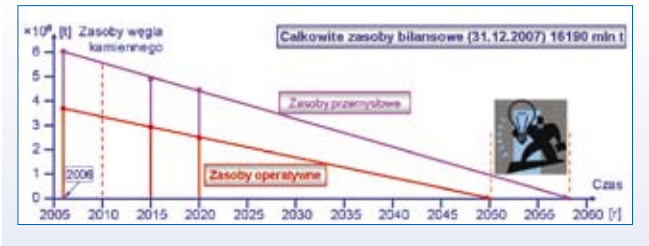
Wystarczalność węgla kamiennego to okres jedynie 40–50 lat. Ewentualne przedłużenie tego okresu będzie zależało od możliwości wykorzystania zasobów bilansowych w polach niezagospodarowanych.

Tabela 2

Polski węgiel kamienny – zasoby i prognozy*

Wielkość zasobów węgla kamiennego w roku 2006 oraz przewidywana w latach 2015 i 2020 [mld t]	Całkowite zasoby węgla kamiennego		
	rok	przemysłowe [mln t]	operatywne [mln t]
Razem Polska: *Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.* *Katowicka Grupa Kapitałowa* *Kampania Węglowa S.A.* *KWK Budryk S.A.* *LW Bogdanka S.A.* *Południowy Koncern Węglowy S.A.*	2006	6033	3692
	2015	4891	2931
	2020	4439	2479
	% zmiana 2020/2006	73,6%	67,2%

*Źródło danych [2], opr. własne



Rys. 7. Wystarczalność polskich zasobów węgla kamiennego. Źródło danych [2], opr. własne wg tabeli 2.

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	1,2 roku	27 lat
Gaz	151,2 mld m³	11,4 mld m³	5,2 mld m³	13 lat	29 lat

Polska dysponuje jeszcze resztkowymi ilościami ropy i gazu, pokazanymi w tabeli 3; hydratów metanu w Polsce brak. Uranu się nie wydobywa od wielu lat, jego ewentualne zasoby wymagają odrębnej analizy.

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/a 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.

Przeciętna wartość opałowa węgla brunatnego wynosi tylko ok. 37% wartości opałowej 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].

Tabela 4

Polskie zapotrzebowanie na poszczególne nośniki energii pierwotnej [Mtoe, jednostki naturalne] [1]

	Jedn.	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Węgiel brunatny*)	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**)	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***)	Mtoe	12,3	12,0	13,0	14,5	16,1	17,2
	mln m^3	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	0,0	2,5	5,0	7,5
Eksport energii elektrycznej	Mtoe	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Razem energia pierwotna	Mtoe	97,8	93,2	95,8	101,7	111,0	118,5

*) – wartość opałowa węgla brunatnego 8,9 MJ/kg
**) – wartość opałowa węgla kamiennego 24 MJ/kg
***) – warotść opałowa gazu ziemnego 35,5 ML/m^3

Tabela 5

Energia elektryczna w Polsce w latach 1997 – 2007 (dane wg [1])

Bilans i struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce				
Rok	1997		2007	
Jednostki	GWh	%	GWh	%
Produkcja brutto, z tego:	**142 790**	**100**	**159 347**	**100**
Elektrownie cieplne zawodowa	130 960	91,72	148 024	92,89
Elektrownie cieplne przemysłowe	8 006	5,61	7 653	4,80
Elektrownie wodne	3 816	2,67	2 939	1,84
Inne źródła odnawialne	8	0,006	731	0,46
Zakup z zagranicy (pobór)	5 357	3,75	7 761	4,87
Sprzedaż za granicę (oddanie)	7 542	5,28	13 109	8,23
Zużycie krajowe	140 605	98,47	153 999	96,64
w tym straty przesyłu i dystrybucji	16 685	11,69	14 560	9,14

Trzeba się w przyszłości liczyć ze znacznym zmniejszaniem okresu wystarczalności węgla brunatnego wskutek wzrostu intensywności jego eksploatacji, powodowanej wyczerpywaniem się zasobów węgla kamiennego. Towarzyszyć temu będą znane kłopoty środowiskowe oraz 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 złoże *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 przeróbczych 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 wiecznie 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? 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 (tab. 6).

Są tylko dwa strategiczne źródła ropy naftowej: pierwsze – Bliski Wschód i drugie – Rosja ze stowarzyszonym Kazachstanem (sześciokrotnie mniejsze), 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.

Tabela 6

Dywersyfikacja iluzoryczna zaopatrzenia Polski w ropę i gaz*

Oil – Proved reserves (At end 2008)	Thousand million tonnes	Thousand million barrels	Share of total	R/P ratio
Azerbaijan	1.0	7.0	0.6%	20.9
Denmark	0.1	0.8	0.1%	7.7
Italy	0.1	0.8	0.1%	21.1
Kazakhstan	5.3	39.8	3.2%	70.0
Norway	0.9	7.5	0.6%	8.3
Romania	0.1	0.5	*	13.3
Russian Federation	10.8	79.0	6.3%	21.8
Turkmenistan	0.1	0.6	*	8.0
United Kingdom	0.5	3.4	0.3%	6.0
Uzbekistan	0.1	0.6	*	14.6
Other Europe & Eurasia	0.3	2.1	0.2%	13.4
Total Europe & Eurasia	19.2	142.2	11.3%	22.1
Total North America	9.7	70.9	5.6%	14.8
Total S. & Cent. America	17.6	123.2	9.8%	56.3
Total Middle East	102.0	754.1	59.8%	78.8
Total Africa	16.6	125.6	10.0%	33.4
Total Asia Pacific	5.8	42.0	3.3%	14.5
Total World	170.8	1258.0	100.0%	42.0
of which: European Union	0.8	6.3	0.5%	7.7
OECD	12.0	88.9	7.1%	13.2
OPEC	129.8	955.8	76.0%	71.1
Non-OPECT	23.6	174.4	13.9%	14.8
Former Soviet Union	17.4	127.8	10.2%	27.2
Canadian oil sands*	24.5	150.7		
Proved reserves and oil sands	195.3	1408.7		

Natural gas – Proved reserves (At end 2008)	Trillion cubic metres	Share of total	R/P ratio
Azerbaijan	1.20	0.6%	81.3
Denmark	0.06	*	5.5
Germany	0.12	0.1%	9.2
Italy	0.12	0.1%	14.2
Kazakhstan	1.82	1.0%	60.3
Netherlands	1.39	0.8%	20.6
Norway	2.91	1.6%	29.3
Poland	0.11	0.1%	27.1
Romania	0.63	0.3%	54.6
Russian Federation	43.30	23.4%	72.0
Turkmenistan	7.94	4.3%	*
Ukraine	0.92	0.5%	49.2
United Kingdom	0.34	0.2%	4.9
Uzbekistan	1.58	0.9%	25.4
Other Europe & Eurasia	0.44	0.2%	43.2
Total Europe & Eurasia	62.89	34.0%	57.8
Total North America	8.87	4.8%	10.9
Total S. & Cent. America	7.31	4.0%	46.0
Total Middle East	75.91	41.0%	*
Total Africa	14.65	7.9%	69.2
Total Asia Pacific	15.39	8.3%	37.4
Total World	185.02	100.0%	60.4
of which: European Union	2.87	1.6%	15.1
OECD	16.63	9.0%	14.6
Former Soviet Union	57.00	30.8%	71.8

*More than 100 years. *Less than 0.05%.
†Less than 0.05. n/a not available.

*Źródło danych [3]/2009, podkr. dodatkowe własne

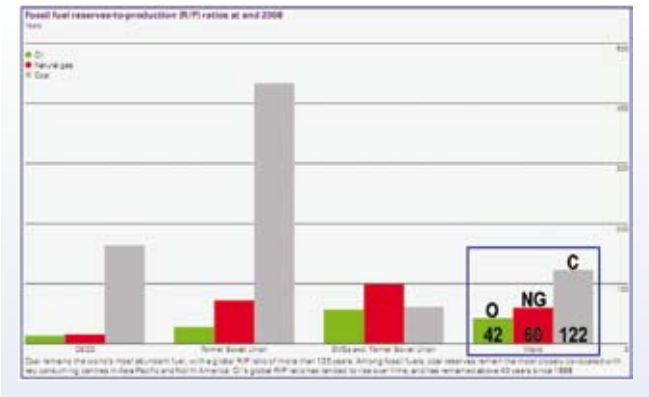
Konkluzje

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 rysunku 8 pokazano wyniki (za 2008 r.) oszacowania wystarczalności globalnej trzech podstawowych kopalin: ropy, gazu i węgla.

Dotyczy to rezerw udokumentowanych wg procedur BPSR [3], co najlepiej odpowiada zasobom x wg tabeli 1. Zbieżność wyników wg rysunku 8 i tabeli 1 jest tak wysoka, że wnioski nasuwają się same:

- szybkość destrukcji zasobów geopaliw jest większa niż szybkość samoorganizowania się cywilizacji dla przetrwania,



Rys. 8. Wystarczalność globalna zasobów węgla kamiennego C (122 lata), ropy O (42 lata) i gazu ziemnego NG (60 lat). Źródło danych [3]/2009, podkr. dodatkowe własne. EMEs – Emerging Market Economies = Ameryka Południowa i Centralna, Afryka, Bliski Wschód, Eurazja bez członków OECD

- prawdopodobieństwo destabilizacji jest wyższe niż równowagi (nawet na niskim poziomie energetycznym),
- 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, ewentualnie trzy następne 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 nasilanie się kryzysu energetycznego.

Dotychczasowe działania antykryzysowe można uznać jedynie za wysoce niezadowalające, 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.

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 można sformuować poniższe wnioski.

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, w synergicznym 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 recyclingu paliwa (sprawa jw do rozstrzygnięcia przez ekspertów, są różne możliwości – np. reaktor prędki 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 węglopochodnych 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 jakiekolwiek 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 wydaje się uzasadniona, muszą 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 rozpoznanym) 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, 2009, 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

[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

[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/

[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

[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

[15] Modro S. M.: Systemy elektrowni jądrowych Generacji IV, ekonomicznie konkurencyjnych, bezpiecznych oraz niepodatnych na wykorzystanie dla ceów produkcji broni jądrowej. Opracowanie Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. 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. 4 stycznia 2006

[17] Polski Komitet Światowej Rady Energetycznej. Raport: Sektor energii – świat i Polska. Rozwój 1971 – 2000, perspektywy do 2030r. 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*, 2008, nr 2

[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,* 2003, nr 11 http://www.gigawat.net.pl/article/articleview/276/1/33

[23] Rogner H.H.: An Assesment 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] B*iuletyn 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

[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