

# ŚWIATOWE ZASOBY SUROWCÓW ENERGETYCZNYCH - WNIOSKI DLA POLSKI

**Autorzy: Eugeniusz Mokrzycki, Roman Ney, Jakub Siemek**

(„Rynek Energii” – nr 6/2008)

**Słowa kluczowe:** zasoby surowcowe, ropa naftowa, gaz ziemny, węgiel, prognozy energetyczne

**Streszczenie.** W artykule dokonano przeglądu i ewaluacji zasobów kopalnych surowców energetycznych na świecie. Węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny będą stanowiły jeszcze przez okres co najmniej kilkudziesięciu lat podstawowe nośniki źródła energii dla świata. Pokazują to współczesne trendy energetyczne, zwłaszcza w odniesieniu do gazu ziemnego czy ciężkiej ropy naftowej. Zauważono też perspektywy dla tzw. niekonwencjonalnych nośników energii np. metanu w pokładach węgla czy hydratów gazowych. Na tym tle sformułowano zalecenia i wnioski dla gospodarki energetycznej Polski.

## 1. WPROWADZENIE

Rozwój cywilizacji na Ziemi jest nierozzerwalnie związany z wykorzystywaniem surowców mineralnych, w tym kopalnych surowców energetycznych. Te ostatnie stały się podstawą dla wytwarzania globalnej energii, najpierw w formie ciepła, później też w postaci energii elektrycznej.

Podstawą dla tak zwanej rewolucji przemysłowej w XVIII wieku była energia pozyskiwana z węgla. Zaś ropa naftowa na przełomie XIX i XX wieku umożliwiła zapoczątkowanie rozwoju przemysłu motoryzacyjnego, którego niebywały rozwój trwa do dziś. Po drugiej wojnie światowej gaz ziemny okazał się wszechstronnym surowcem wykorzystywanym szerzej nie tylko w energetyce, ale również w przemyśle chemicznym.

W drugiej połowie XX wieku energia jądrowa została uznana za wielce perspektywiczną dla dalszego rozwoju energetyki, ale równocześnie traktowano ją w pewnym sensie jako zagrożenie. Nie ulega wątpliwości, że katastrofa siłowni atomowej w Czarnobylu przyczyniła się do postrzegania energii jądrowej w takim właśnie świetle. Ostatnie rozwiązania techniczne na drodze konstrukcji bezpiecznych i ekonomicznych reaktorów jądrowych powinny stopniowo zmieniać ten tradycyjny, już nierealny, wizerunek energii jądrowej.

W ostatnich latach kładzie się coraz większy nacisk na wykorzystywanie czystej energii ze źródeł odnawialnych [11]. Opracowywane są jej nowe technologie, bardziej sprawne technicznie i ekonomicznie. I tak np. jeszcze do niedawna moc pojedynczych elektrowni wiatrowych przeważnie oscylowała około kilkuset kW. Obecnie dochodzi nawet do 2-4 MW.

Równocześnie pojawiają się nowe problemy dotyczące wykorzystywania energii odnawialnej, jak np. ekonomika pozyskiwania tej energii, a także konieczność zapewnienia źródeł rezerwowych opartych na energii konwencjonalnej oraz realne wielkości zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych przez wykorzystanie energii odnawialnej. Byłoby sukcesem, gdyby w połowie XXI wieku 30-35% zużywanej w świecie energii pochodziło ze źródeł odnawialnych.

Na początku XXI wieku blisko 2 mld ludzi nie tylko nie ma dostępu do komercyjnej energii z kopalnych surowców energetycznych, ale ma tylko znikomy dostęp do energii ze źródeł odnawialnych. Niski poziom technologii w tych obszarach nie daje pełnych możliwości korzystania z energii słońca, wiatru i wody. Na ogół korzysta się tam z energii pochodzącej z prostego spalania biomasy. Jednak i to nie zawsze jest możliwe ponieważ na Ziemi są obszary, w których brak jest biomasy albo istnieje jej duży deficyt. Dotyczy to nie tylko obszarów pustynnych i stepowych.

## 2. PROBLEMY GLOBALNE W ENERGETYCE

Oszczędność energii jest problemem globalnym, który dotyczy całego świata. Obok różnych możliwości technologicznych bardzo ważnym jest tu czynnik psychologiczny tkwiący w świadomości ludzi. Sądzymy, że państwa powinny podjąć ten problem w formie globalnego programu działań na rzecz oszczędności energii w duchu zrównoważonego rozwoju. Działania samego rynku dla zmniejszenia energochłonności gospodarki są bardzo istotne, ale niewystarczające. Konieczna jest tu ingerencja państwa, ale zgodna z zasadami rynkowymi.

Przykład polski wskazuje, że po 1990 roku pomimo osiągnięcia wyraźnego wzrostu gospodarczego i postępującej poprawy warunków życia społeczeństwa, nie spowodowało to zwiększonego zużycia energii pierwotnej, a przeciwnie nastąpiło zmniejszenie jej zużycia z 105,7 Mtoe w 1990 r. do 94,5 Mtoe w 2005 roku. Wprowadzany w tym okresie system gospodarki rynkowej uruchomił proste procesy oszczędności energii, a także pozytywnie odbiła się na tym restrukturyzacja gospodarki. Jednak proste metody oszczędności energii będą się z czasem wyczerpywały. Należałoby uruchomić w Polsce specjalny program oszczędności energii obejmujący wszystkie dziedziny życia. Jest to postulat realizacji filozofii zrównoważonego rozwoju w zakresie energetyki [9].

Następnym globalnym problemem jest wpływ światowej energetyki na efekt cieplarniany. W świetle dotychczasowych danych nie ma ostatecznego rozstrzygnięcia, na ile emisja gazów z szeroko rozumianej energetyki ma realny wpływ na ten efekt i zjawiska z nim związane. Istnieją niezbita dowody geologiczne, że w przeszłości, kiedy jeszcze człowieka nie było na Ziemi, w klimacie ziemskim następowały ciepłe i zimne okresy. Ziemia jest planetą żywą, na którą oddziałuje również Słońce. Problem zmian klimatu Ziemi wymaga dalszych badań i analiz. Nie ulega jednak wątpliwości, że ograniczenie spalania surowców energetycznych, a zwłaszcza węgla, przyczyni się do obniżenia emisji gazów cieplarnianych, a zwłaszcza CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>. Szczególnie jest to ważne dla ograniczenia niskiej emisji i poprawy powietrza w aglomeracjach miejskich i przemysłowych.

Następnym problemem jest wzrost cen nośników energii wyraźnie powyżej uzasadnionego poziomu. Szczególnie dotyczy to ropy naftowej. Istnieje kilka powodów takiej sytuacji. W wyniku bardzo dużego zapotrzebowania na kopalne surowce energetyczne, które ukształtowało się po drugiej wojnie światowej, niektóre z ich złoża zostały wyeksploatowane, zwłaszcza w drugiej połowie XX wieku. Dziś prawie zupełnie wyczerpane są zasoby węgla kamiennego w Zachodniej Europie. W Polsce i Ukrainie pozostały jeszcze dość znaczne zasoby węgla, ale występujące w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych i przy dużym zagrożeniu tąpnięciami i wybuchami gazów. Nie bez znaczenia jest postępująca głębokość eksploatacji węgla kamiennego. Wszystko to stwarza duże zagrożenie, a przeciwdziałanie tym zjawiskom w rezultacie podnosi cenę węgla [1, 2, 3, 8, 15].

Podobnie jest też z ropą naftową. Kraje kiedyś uznawane za kraje naftowe jak np. Rumunia, Ukraina dziś mają stosunkowo niewielkie zasoby ropy i gazu. Odkryty w końcu lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku ropo-gazonośny basen Morza Północnego wykazuje obecnie spadek wydobywania ropy. Znaczący to, że przyrosty zasobów w tym obszarze nie rekompensują wydobywania ropy. Zwłaszcza dotyczy to takich krajów jak Wlk. Brytania i Norwegia. Znaczne ubytki zasobów ropy naftowej widoczne są w Stanach Zjednoczonych, które są największym konsumentem ropy naftowej. W 2006 roku zużyły aż 938 Mton tego surowca. Z drugiej strony odkrywa się na świecie nowe złoża ropy naftowej, ale w bardzo kapitałochłonnych warunkach. Są to głębsze partie basenów morskich, już poniżej 3000 metrów głębokości wody, a także złoża leżące w obszarach

trudnych klimatycznie. Ostatnio też w Rosji pojawiły się dyskusje na temat realności w tym kraju wysokości wykazywanych udokumentowanych zasobów ropy naftowej.

Obok tych obiektywnych przyczyn wzrostu cen surowców energetycznych, występują również przyczyny subiektywne, jak destabilizacja polityczna na Bliskim Wschodzie, a w tym także wojna w Iraku. Wiadomo, że w tym obszarze znajduje się 61,5% udokumentowanych zasobów ropy naftowej i 40,4% zasobów gazu ziemnego.

Te wszystkie problemy sugerują postawienie pytania o wystarczalność surowców mineralnych, a zwłaszcza surowców energetycznych, dla przyszłych pokoleń. Ziemia żyje swoim rytmem i współcześnie przebiegają na niej procesy, które prowadzą do powstawania nowych złóż surowców mineralnych, w tym także surowców energetycznych. Jednak czasowa skala tych procesów obliczana jest na miliony, a nawet miliardy lat, natomiast nasza cywilizacja operuje skalą w setkach, czy najwyżej tysiącach lat.

Kopalne surowce energetyczne: ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel nie mają obecnie substytutów, które sprostająby obecnemu zapotrzebowaniu na energię. W pewnym sensie takim, ale ograniczonym substytutem może być energia jądrowa co do której są obiekty psychologiczne, ale także stale jeszcze nie rozwiązano wszystkich problemów technologicznych reaktorów czwartej generacji.

Pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych, a także przyszłościowe rozwiązania otrzymywania energii czystej z wodoru, ogniw paliwowych i innych źródeł, mogą już w perspektywie kilkunastu następnych lat wyraźnie zmniejszyć zapotrzebowanie na energię z kopalnych surowców energetycznych, ale jest mało prawdopodobne, by w perspektywie lat trzydziestych XXI wieku, a nawet połowy tego wieku, te nowe źródła łącznie z energią odnawialną mogły w całości lub w większości pokryć światowe zapotrzebowanie na energię.

Sytuacja w udokumentowanych zasobach w poszczególnych surowcach energetycznych jest w świecie dość zróżnicowana (tabela 1). Podczas gdy obecnie udokumentowane zasoby ropy naftowej wystarczą na 41 lat, a gazu ziemnego na 63 lata eksploatacji, to zasoby węgla, łącznie kamiennego i brunatnego, zapewniają wydobycie tego surowca przez 158 lat (tabela 1). Oczywiście liczone jest to na poziomie obecnego wydobycia. Takie przedstawienie światowych surowców energetycznych może być traktowane tylko pogładowo.

Tabela 1. Światowe udokumentowane zasoby przemysłowe konwencjonalnych surowców energetycznych i ich wystarczalność w 2005 r.

Surowce	Zasoby [mln toe]	Struktura zasobów [%]	Zużycie zasobów [mln toe]	Struktura zużycia [%]	Wystarczalność zasobów (R/P) [lata]
Węgiel	469 298	59,6	2 957,0	31,7	158
Ropa naftowa	159 644	20,3	3 861,3	41,4	41
Gaz ziemny	158815	20,1	2512,2	26,9	63
Razem	787 757	100,0	9 330,5	100,0	84

Wiadomo, że zapotrzebowanie na surowce energetyczne będzie rosło ze względu na przyrost ludności i postępujące uprzemysłowienie wielu krajów, ale równocześnie będą następowały też odkrycia nowych złóż. Porównania dotyczące ilości zasobów poszczególnych surowców energetycznych, przedstawione w niniejszej pracy, wyrażone są w potencjale energetycznym przeliczonym na tony ropy naftowej. Tylko wtedy dla celów porównawczych można właściwie ocenić ich wartość energetyczną.

Ilość poszczególnych rodzajów węgla została przyjęta z [17], natomiast wartość energetyczna tego węgla przyjęto jako średnią z poszczególnych jego gatunków podaną w [6]. Dla węgla bitumicznego i antracytu przyjęto 0,70, dla węgla subbitumicznego 0,46, dla lignitu (węgla brunatnego) 0,3. Należy zaznaczyć, że poszczególne wydawnictwa, w których publikowane są zasoby, wydobycie i zużycie surowców energetycznych często podają nie tożsame dane. Jednak różnice są stosunkowo niewielkie, co nie zmienia ogólnego obrazu światowych zasobów surowców energetycznych. Natomiast porównanie wydobycia z ilością udokumentowanych zasobów surowców energetycznych, a zwłaszcza ropy naftowej i gazu ziemnego, prowadzi do wniosku o konieczności bieżącego uzupełniania zasobów surowców energetycznych, a także i oszczędnego gospodarowania energią. Winno to również inspirować do podejmowania prac poszukiwawczych zarówno w prowincjach o wiadomej ropo-gazonośności, jak i w obszarach, których jest prawdopodobne występowanie ropy naftowej i gazu ziemnego.

W odniesieniu do węgla, którego udokumentowane zasoby są stosunkowo duże, poszukiwanie i dokumentowanie nowych jego zasobów, nie jest takie pilne.

### 3. ROPA NAFTOWA

Ropa naftowa jest dominującym surowcem w strukturze energii pierwotnej, chociaż w latach 1996-2005 widoczny jest już jej pewien spadek zużycia (tabela 2). Długookresowe relacje pomiędzy przyrostem udokumentowanych zasobów ropy w stosunku do jej zużycia (wydobycia) są na ogół umiarkowanie optymistyczne, choć od 1990 roku odbudowa zasobów ropy jest wyraźnie wolniejsza niż w latach poprzednich (tabela 3). Jednak jeszcze wzrost zasobów ropy w dalszym ciągu z pewnym naddatkiem równoważy wzrost jej wydobycia. Rozmieszczenie w świecie dotychczas udokumentowanych zasobów (rezerw) ropy naftowej wyraźnie wyróżnia kraje Bliskiego Wschodu, gdzie znajduje się 60% rezerw ropy naftowej (tabela 4). Zaś trzy kraje arabskie: Arabia Saudyjska, Iran i Irak posiadają 42% udokumentowanych światowych zasobów ropy naftowej. Natomiast dziesięć krajów o największych zasobach ropy naftowej posiada ich łącznie 130 mld ton, to jest 81,5% zasobów światowych (tabela 5). Jest to niekorzystne ze względów gospodarczych i politycznych tym bardziej, że niektóre regiony są niestabilne gospodarczo i politycznie. Obok Bliskiego Wschodu przejawy destabilizacji występują w Wenezueli, z możliwością rozszerzenia się na północną część Ameryki Południowej.

Tabela 2. Struktura zużycia energii pierwotnej w latach 1996 i 2005<sup>1)</sup>

Paliwa	1996		2005		Wzrost zużycia [%]
	mln toe	%	mln toe	%	
Ropa naftowa	3 335,4	37,7	3 861,3	36,4	115,8
Gaz ziemny	2 031,8	22,9	2 512,2	23,6	123,6
Węgiel	2 353,0	26,6	2 957,0	27,8	125,7
Energia jądrowa	545,0	6,2	627,2	5,9	115,0
Hydroenergia	578,7	6,6	668,7	6,3	115,6
Ogółem	8 843,9	100,0	10 626,9	100,0	120,2

1) Dotyczy tylko energii systemowej

Tabela 3. Wzrost zasobów i wydobycia ropy naftowej w latach 1950-2005

Lata	Zasoby		Wydobycie		R/P [lata]
	mld ton	%	mld ton	%	
1950	25	100,0	0,523	100,0	47,8
1960	44	176,0	1,052	197,3	41,8
1970	72	163,6	2,275	216,3	31,6
1980	92	127,7	2,975	130,7	30,9
1990	121	131,5	3,175	106,7	38,1
2000	142	117,3	3,613	113,7	39,3
2005	159	111,9	3,895	107,8	41,0

Następne obszary bogate w złoża ropy naftowej to Ameryka Południowa oraz Rosja, w której znajduje się ponad 10 mld ton rezerw światowych. Natomiast w niektórych tradycyjnych obszarach naftowych, jak np. w USA, w Środkowej Europie, a także w basenie Morza Północnego i w europejskiej części Rosji - w Zagłębiu Nadwołżańskim, jest obecnie wyraźny spadek wydobycia z powodu szczypania złóż.

Nie znaczy to jednak, że w niektórych z tych obszarów nie można będzie odkryć jeszcze nowych złóż ropy, ale będą one występować w gorszych warunkach, jak np. głębokie partie mórz przybrzeżnych, duże głębokości zalegania złoża, albo też bardziej skomplikowana budowa geologiczna. Tak np. w basenie Morza Kaspijskiego, po zastosowaniu nowej metodyki poszukiwań i przy wykorzystaniu nowego sprzętu, są obecnie odkrywane nowe zasoby ropy naftowej.

Podobnie w głębszych partiach basenu Morza Północnego, a także w głębszych obszarach brzeżnych w stosunku do Europy i Azji mórz Oceanu Arktycznego z pewnością odkryje się nowe złoża ropy. Podobnie jest w innych basenach z czynnymi złożami ropy naftowej. Jest to jednak uwarunkowane rozwojem nowej technologii, zarówno wiercenia otworów na morzach o głębokości ponad 3 tys. metrów, jak i budowania całej infrastruktury koniecznej dla wydobywania bituminów. Bowiem obok ropy naftowej będą odkrywane tam również złoża gazu ziemnego.

Obecnie udokumentowane zasoby ropy naftowej przy oszczędnym gospodarowaniu nimi wystarczą na około 35-40 lat. Pozostaje pytanie: Co dalej? Aby odpowiedzieć na to pytanie, należy najpierw ocenić jaką ilość ropy wyeksploatowano od początku jej wydobycia. Analiza taka została już wykonana i wynika z niej, że od 1859 roku do 2005 roku światowe wydobycie ropy naftowej wyniosło 145 555,8 mld ton [10]. Podobne dane na ten temat zawiera [7]

Światowa statystyka wydobycia ropy naftowej ma pewne braki, szczególnie odnosi się to stwierdzenie do okresu sprzed drugiej wojny światowej. Luki w tej statystyce zostały nadrobione analizą i interpolacją. Obecnie udokumentowane zasoby ropy naftowej na obszarach, w których jest ona eksploatowana wynoszą 159 644 mld ton (2005 rok). Łącznie z zasobami już wydobytymi do 2005 roku wynoszą 305 199 mld ton. Jeżeli założyć, że w pozostałych perspektywicznych obszarach dla występowania ropy naftowej, wynoszących około 35% całości obszarów, w których prawdopodobnie występuje ropa naftowa, to do odkrycia powinno być jeszcze około 106 mld ton ropy naftowej.

Tabela 4. Rozmieszczenie w Świecie udokumentowanych zasobów (reserves) ropy naftowej w 2005 roku

Obszar	Zasoby ropy naftowej	
	mln ton	%
Bliski Wschód	96 935	60,7
Afryka Północna	8 645	5,5
Afryka Środkowa	8 202	5,2
Rosja	10 027	6,3
Basen Morza Kaspijskiego	6 119	3,9
Basen Morza Północnego	1 927	1,2
Europa pozostała	546	0,3
Ameryka Północna	7 921	4,9
Ameryka Południowa	14 283	8,9
Azja	4 776	2,9
Oceania	263	0,2
Świat	159 644	100,0

Tabela 5. Kraje o największych zasobach przemysłowych ropy naftowej w 2005 r., mln ton

Kraj	Zasoby	% zasobów światowych
Arabia Saudyjska	34 550	21,6
Iran	17 340	10,7
Irak	15 478	9,7
Kuwejt	13 679	8,6
Zjedn. Emiraty Arabskie	12 555	7,9
Wenezuela	11 269	7,1
Rosja	10 027	6,3
Libia	5 350	3,4
Kazachstan	5013	3,2
Nigeria	4 823	3,1
Łącznie	130 084	81,5
Świat	159 644	100,0

Tak rozumując, metodą geologii porównawczej, łączne zasoby udokumentowane i te do odkrycia i udokumentowania powinny wynosić około 265 mld ton. Oczywiście znaczna część tych zasobów nie jest jeszcze dostępna ze względu na niedoskonałość lub brak odpowiedniej techniki. Dotyczy to zwłaszcza obszarów morskich a także super głębokich złóż. Te 159 mld ton udokumentowanych obecnie zasobów ropy naftowej łącznie z prognozowanymi do odkrycia 106 mld tonami, w następnych latach przy maksymalnym rocznym zużyciu ropy wynoszącym 4 mld ton, przy obecnym zużyciu wynoszącym 3889 mld ton, powinno wystarczyć na 66 lat. Warunkiem jest rychłe wprowadzenie przez wszystkie kraje oszczędności w zużyciu ropy tak, aby w skali światowej nie przekroczyć 4 mld ton rocznie. Te 4 mld ton to powinien być szczyt zużycia ropy i powinien się on pojawić w latach 2025 - 2030.

Równolegle do wprowadzenia oszczędniejszego zużycia ropy naftowej powinno się już od teraz bardziej intensywnie pracować nad realnym substytutem ropy naftowej, który mógłby być alternatywą dla paliw z ropy naftowej jako paliwo autonomiczne, bądź też jako znacząca domieszka do paliw z ropy. Jesteśmy równocześnie świadomi dużych trudności w oszczędnym gospodarowaniu ropą naftową, zarówno ze względów technicznych jak i psychologicznych.

Jednak ropa naftowa może być też otrzymywana z piasków i łupków bitumicznych, których złoża zostały w różnym stopniu rozpoznane w kilkudziesięciu krajach, a ponadto w dalszych kilkunastu zostały takie osady stwierdzone, ale jeszcze nie są one dostatecznie rozpoznane. Ropa naftowa występująca w łupkach i piaskach bitumicznych jest ropą ciężką, a jej pozyskiwanie jest trudne, wiąże się z dużym wkładem energetycznym i w rezultacie przy obecnych cenach ropy, dochodzących nawet do powyżej 140 USD za baryłkę, jest już opłacalne. Obecnie w świecie pozyskanie ropy z łupków jest stosunkowo niewielkie, wynosi około 680 tys. ton, natomiast obecne pozyskanie ropy z piasków roponośnych wynosi około 1,5 mln ton. Nowoczesny zakład pozyskiwania ciężkiej ropy z piasków znajduje się w prowincji Alberta w Kanadzie, w którym koszt produkcji ropy jest już konkurencyjny w stosunku do ropy tradycyjnej. Światowe zasoby ropy w piaskach i łupkach bitumicznych szacuje się na ponad 200 mld ton. Jest to zatem realna perspektywa na przyszłość, kiedy złoża tradycyjnej ropy będą się wyczerpywać.

W wydawnictwie Światowej Rady Energetycznej pod znamienym tytułem „Living in One World [16] zasoby tak zwanej ropy niekonwencjonalnej zostały oszacowane na 193 mld ton w kategorii „reserves”, co odpowiada zasobom przemysłowym. Natomiast zasoby perspektywiczne niekonwencjonalnej ropy naftowej (piaski roponośne, łupki bitumiczne, a także złoża superciężkiej ropy) oszacowano w tym wydawnictwie na 332 mld tony. Tak więc jeżeli nawet, co jest bardzo prawdopodobne, szacunki te sprawdzą się tylko w części, to światowa dostępność do ropy naftowej rysuje się raczej umiarkowanie optymistycznie. Należy jednak mieć świadomość konieczności pokonania wielu barier technologicznych, przyrodniczych, a także politycznych. Ze względu na częste współwystępowanie ropy naftowej z gazem ziemnym perspektywiczne obszary dla tych surowców zostały wymienione w dalszej części tej pracy.

#### **4. GAZ ZIEMNY**

Gaz ziemny składa się głównie z metanu (CH<sub>4</sub>) i w niewielkiej ilości z ciężkich węglowodorów. Oprócz tego często bywa zanieczyszczony związkami azotu, siarki oraz innych pierwiastków. Gaz ziemny występuje w formie złóż gazowych lub ropno-gazowych. W tych ostatnich gaz ziemny może występować w formie tak zwanej czapy gazowej i wtedy wypełnia on górną część złoża ropy naftowej albo też jest rozpuszczony w ropie naftowej w formie kondensatu. Często występują złoża typu mieszanego.

Gaz ziemny genetycznie związany jest z ropą naftową. Sama generacja gazu jest częścią cyklu ropno-gazowego. Gaz ziemny wspólnie z ropą naftową występuje w tak zwanych prowincjach czy też basenach ropno-gazowych (zwanych basenami naftowymi). Stosunek ilościowy gazu do ropy w złożach w tych basenach jest zróżnicowany. Gaz ziemny ma większą od ropy naftowej zdolność do migracji, co powoduje, że może tworzyć samodzielne złoża gazowe, które obecnie nie mają bezpośredniego powiązania ze złożami ropy naftowej. Gaz ziemny jest wszechstronnym surowcem energetycznym, ponieważ może być również

paliwem silnikowym. Jest także surowcem w przemyśle chemicznym, głównie do produkcji sztucznych nawozów oraz innych wyrobów. Gaz ziemny ma szczególne znaczenie w gospodarstwach domowych, jest bowiem używany w ciepłownictwie komunalnym i indywidualnym, a także jako paliwo w kuchniach gazowych. Dostarczany jest do odbiorców systemem sieciowym, podobnie jak energia elektryczna. Przesyłany jest rurociągami o różnej skali, od rurociągów kontynentalnych do rurociągów krajowych, regionalnych i lokalnych. Te ostatnie służą do dostawy gazu do miejscowości i domów.

Światowe zużycie gazu, które inspirowało jego wydobycie, zaczęło szerzej wzrastać po zakończeniu drugiej wojny światowej. Od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku gaz ziemny w coraz większym stopniu zaczął być wykorzystywany w elektroenergetyce i zdalnym ciepłownictwie. Miało to także związek z koniecznością ochrony środowiska. Bowiem gaz ziemny w porównaniu do węgla, a nawet do ropy naftowej jest paliwem stosunkowo niskoemisyjnym (tabela 6). Spowodowało to rozszerzenie w świecie poszukiwań nowych złóż gazu, również w ramach prac geologicznych za ropą naftową. W rezultacie tych poszukiwań uzyskano stosunkowo duży przyrost zasobów gazu, który znacznie przewyższał zużycie tego surowca.

Tabela 6. Jednostkowa emisja dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) przy spalaniu kopalnych surowców energetycznych i ich pochodnych

Paliwo	Emisja [kg CO <sub>2</sub> /GJ]
Węgiel kamienny	94,60
Węgiel brunatny	101,20
Ropa naftowa	74,07
benzyna	66,00
nafta	71,50
olej opałowy	77,37
olej napędowy	74,07
Gaz ziemny	56,10

Tabela 7. Zasoby przemysłowe (reserves) gazu ziemnego w latach 1995-2005

Obszar	1995		2005		2005/1995 [%]	Zasoby w 2005 r. [mld toe]
	mld m <sup>3</sup>	% <sup>1)</sup>	mld m <sup>3</sup>	% <sup>1)</sup>		
Afryka Północna	5 797	4,1	7 983	4,5	137,7	7 184,7
Afryka Środkowa	4319	3,1	6 069	3,4	140,5	5 462,1
Ameryka Północna	9017	6,4	8517	4,8	94,5	7 665,3
Ameryka Południowa	5 430	3,8	6 386	3,6	117,6	5 747,4
Azja	8 729	6,2	11 709	6,6	134,1	10 538,1
Basen Morza Północnego	4 655	3,3	4 177	2,4	89,7	3 759,3
Basen Morza Kaspijskiego	6 585	4,7	9 256	5,2	140,6	8 330,4
Europa pozostała	2 646	1,9	1 534	0,9	57,9	1 380,6
Bliski Wschód	44 843	31,7	71 795	40,8	160,1	64 615,5
Oceania	1 065	0,7	1 213	0,7	113,9	1 091,7
Rosja	48 160	34,1	47 820	27,1	99,2	43 038,0
Świat	141 246	100,0	176 462	100,0	124,9	158 815,8

1) w stosunku do zasobów światowych



W latach 1980-1990 realny przyrost zasobów po uwzględnieniu wydobycia wynosił 11,19 bln m<sup>3</sup>. Natomiast w latach 1990-2000 przyrost ten wynosił już 64,29 bln m<sup>3</sup> i 29,64 bln m<sup>3</sup> w latach 2000-2005. Jeżeli ten trend się utrzyma na dalsze lata, to w latach 2000-2010 realny przyrost zasobów gazu po uwzględnieniu bieżącego ich wydobycia wyniesie około 60 bln m<sup>3</sup>.

Rozmieszczenie w świecie obecnych zasobów gazu ziemnego wykazuje dużą zbieżność z występowaniem zasobów ropy naftowej, co jest zrozumiałe ze względu na wspólny proces ich generowania. Największe udokumentowane zasoby gazu ziemnego skupione są na Bliskim Wschodzie, gdzie wynoszą 71 795 mld m<sup>3</sup> (tabela 7). Jest to zrozumiałe ze względu na to, że właśnie w tym obszarze znajdują się również największe zasoby ropy naftowej, a obydwa te surowce są wynikiem tego samego procesu generowania bituminów. Równocześnie należy nadmienić, że na Bliskim Wschodzie przez długi okres czasu gaz ziemny współwystępujący z ropą naftową traktowany był jako surowiec odpadowy, który w większości był beзуżytecznie spalany na miejscu.

Drugie miejsce zajmuje Rosja w której znajduje się 27,1% zasobów światowych (tabela 7). Dalsze miejsca zajmują: Azja 6,6%, Basen Morza Kaspijskiego 5,2%, Ameryka Płn. 4,8% oraz Afryka Płn. 4,5%.

Największy wzrost zasobów gazu ziemnego od 1995 roku ma miejsce na Bliskim Wschodzie 160,1%, w Basenie Morza Kaspijskiego 140,6% oraz w Afryce Środkowej 140,5%.

Na specjalną uwagę zasługuje Basen Morza Kaspijskiego, w obrębie którego zarówno na Morzu Kaspijskim jak i w jego otoczeniu, szczególnie wschodnim, systematycznie odkrywane są nowe złoża gazowe lub ropno-gazowe i istnieją dalsze perspektywy tych odkryć.

Na światowej mapie gazonośności istnieją obszary, w których w ostatnich latach są wyraźne ubytki zasobów tego surowca. Znaczy to, że w tych obszarach pomimo prowadzenia tam prac poszukiwawczych odkryte zasoby gazu nie zrównoważyły jego bieżącego wydobycia.

Do tych obszarów należą: Ameryka Północna (w tym głównie Meksyk), Basen Morza Północnego (Morze Płn. i Morze Norweskie) i szczególnie kontynent europejski z wyjątkiem Rosji (tabl.7).

Ostatnie wyniki poszukiwań gazu w „Starej Europie” dowodzą, że i w tym obszarze można jeszcze liczyć na udokumentowanie nowych zasobów. Przykładem może tu być odkrycie prawdopodobnie znacznego złoża gazu w Południowych Węgrzech, a także stosunkowo małych złóż gazu w Polsce, które jednak pozwalają na zwiększenie wydobycia tego surowca. Natomiast Rosja, której obszar 17 mln km<sup>2</sup> jest większy od niektórych kontynentów (Australia 8,6 mln km<sup>2</sup> lub zbliżony do Ameryka Płd. 20,5 mln km<sup>2</sup>, Ameryka Płn. 20,5 mln km<sup>2</sup>) i ma długie wybrzeże z południowymi morzami Oceanu Arktycznego, jest krajem perspektywnym dla odkrycia znacznych zasobów gazu ziemnego. Przykładem może być odkryte niedawno złożo Sztokmanowskoje, położone na Morzu Barentsa - jeszcze nie eksploatowane, którego zasoby wstępnie określono na 1,5 bln m gazu.

W sumie na świecie udokumentowane zasoby gazu ziemnego wynoszą obecnie (rok 2005) 176 462 mld nr, co w przeliczeniu na wartość energetyczną ropy naftowej odpowiada 158 815 mld (tabela 7).

Obecnie udokumentowane zasoby gazu ziemnego charakteryzuje stosunkowo duża koncentracja występowania. Aż 77,5% udokumentowanych zasobów gazu znajduje się w dziesięciu krajach. W tym trzy pierwsze kraje: Rosja, Iran i Katar posiadają 57,2% światowych zasobów gazu ziemnego (tabela 8).

Tabela 8. Kraje o największych udokumentowanych zasobach (reserves) gazu ziemnego, mld m<sup>3</sup>

Kraj	Zasoby	Udział w zasobach światowych [%]
Rosja	47 820	27,1
Iran	26 740	15,6
Katar	25 633	14,5
Arabia Saudyjska	6 848	3,9
Zjedn. Emiraty Arabskie	6 071	3,4
USA	5 866	3,3
Nigeria	5 150	2,9
Algeria	4 504	2,6
Wenezuela	4315	2,4
Irak	3 170	1,8
Razem	136 117	77,5

W pracy wydanej przez Światową Radę Energetyczną pod znamienym tytułem „Living One World” [16] prognozuje się, że konwencjonalne perspektywiczne zasoby gazu ziemnego mogą wynosić około 280 mld toe, zaś zasoby prognostyczne gazu niekonwencjonalnego wynoszą nawet 258 mld toe. Chodzi tu głównie o gaz znajdujący się w hydratách gazowych, ale nie tylko. Pomimo prowadzonych badań nie udało się dotąd opracować przemysłowej metody pozyskiwania tego gazu.

Niekonwencjonalne zasoby gazu ziemnego, które według raportów Międzynarodowej Unii Gazowniczej przewyższają odkryte i potwierdzone zasoby w złożach, to [14]:

- gaz ziemny o niskiej jakości lub znajdujący się w złożach trudno dostępnych, zaniechanych,
- metan z pokładów węgla,
- gaz w warstwach o niskiej i bardzo niskiej przepuszczalności poniżej 0,1 mD,
- gaz ze złóż znajdujących się na dużych głębokościach (3000 do 7000 m o temperaturze 150°C) oraz nasycający zmineralizowane wody złożowe,
- gaz w postaci hydrantów.

Tabela 9. Porównanie objętości gazu zawartego w jednostce objętości złoża

Złoże gazu ziemnego w warstwach porowatych (0=30%, głębokość 1500 m)	10-20 m <sup>3</sup> gazu/ m <sup>3</sup> złoża
Hydraty	50 (warstwy wodonośne 70-160, czysty hydrant 160-180) m <sup>3</sup> złoża
Metan w pokładach węgla	8-16 m <sup>3</sup> gazu/m <sup>3</sup> złoża i więcej
Piaskowce o małej przepuszczalności	5-10 m <sup>3</sup> gazu/m <sup>3</sup> złoża
Łupki dewońskie (USA)	2-5 m <sup>3</sup> gazu/ m <sup>3</sup> złoża

Zasoby te oraz zasoby ciężkiej ropy naftowej i bituminów świadczą o bardzo dużym marginesie bezpieczeństwa energetycznego Ziemi, pod warunkiem rozwinięcia technologii ich pozyskania i przetworzenia. Wiele dużych złóż gazu ziemnego zostało odkrytych w odległych miejscach, trudno osiągalnych, bez infrastruktury transportowej. Ocenia się, że zasoby gazu w takich złożach przewyższają 70 bln nr. Dodatkowym utrudnieniem jest to, że około 35 bln nr to złoża podmorskie. Problem może być rozwiązany przez zastosowanie tzw. procesów konwersji GTL (*Gas-to Liquides*), które przekształcają gaz ziemny w syntetyczne paliwo ciekłe. Otrzymuje się paliwo o wysokiej jakości, pozbawione związków siarkowych, o niskiej zawartości związków aromatycznych, właściwościami zbliżone do paliw dieslowskich o wysokiej liczbie oktanowej. Konwersja jest mutacją znanego procesu Fischer-Tropscha wytwarzania benzyn syntetycznych. Interesujące jest porównanie objętości gazu zawartego w jednostce objętości złoża. Rezultaty przedstawiono w tabeli 9.

Alokacja zasobów prognostycznych gazu ziemnego lub inaczej perspektywicznych - które nie są całkowicie odkryte i udokumentowane, ale co do których występowania są bardzo silne przesłanki i wskazania, również dowody, pokazano w tabeli 10.

Tabela 10. Wielkości nieodkrytych zasobów gazu ziemnego (Report of Programme Committee B IGU, 2006)

	Nieodkryte zasoby gazu [mld m <sup>3</sup> ]			
	95%	Moda	5%	Średnio
Ameryka Północna	12909	20255	40431	24263
Europa Zachodnia	3555	5830	13093	7380
Kraje Śródziemnomorskie	142	283	1133	510
FSU	32295	54504	133229	71983
Środkowy Wschód	15501	24150	47402	28717
Afryka	5292	8890	21422	11654
Azja/Oceania	7790	12686	27918	15901
Ameryka Południowa	3504	6028	15739	8244
Świat	30089	132626	300368	168652

W tabeli 10 przytoczono wielkości zasobów oszacowanych na poziomie istotności 95%, 5%,

podano wartość modalną (najczęściej się pojawiającą w oszacowaniach) oraz wartość średnią zasobów. USGS (*United States Geological Survey* - Służby Geologiczne Stanów Zjednoczonych) oceniają je na 170 bln m, z czego 43% umieszczają na obszarach FSU (*Former Soviet Union* - kraje byłego ZSRR) i 17% na terenie Środkowego Wschodu. Pomimo że na Środkowym Wschodzie jest najwięcej niewykorzystanych zasobów gazu ziemnego, to USGS twierdzi, że największe potencjalne zasoby w tym zakresie tkwią na terenie Rosji. Równocześnie USGS przewiduje, że w Ameryce Północnej należy liczyć na 14% nieodkrytych światowych zasobów gazu ziemnego.

Widoczna jest również zmiana w oszacowaniach zasobów prognostycznych w stosunku do roku 2001.

Ponieważ złoża gazu ziemnego genetycznie związane są ze złożami ropy naftowej, tworząc nawet złoża ropno-gazowe, wspólne są też obszary i prowincje ich występowania. Obecnie można wskazać na takie perspektywiczne obszary, których budowa geologiczna uzasadnia możliwość udokumentowania nowych zasobów ropy naftowej i gazu ziemnego. Są to nie tylko nowe obszary, ale także eksploatowane już prowincje, w których można będzie odkryć nowe zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego.

Na Bliskim Wschodzie znajduje się obecnie 60,7% udokumentowanych zasobów (rezerw) ropy naftowej i 40,8% zasobów gazu ziemnego. W dalszym ciągu obszar ten jest perspektywiczny dla odkrycia nowych zasobów tych surowców.

Ostatnio odkryto duże złożo ropy na szelfie w rejonie Rio de Janeiro. Prace rozpoznawcze są w toku.

Obszarami poszukiwań stają się także morza przybrzeżne Oceanu Arktycznego (Norweskie, Barentsa, Morze Wschodnio-Syberyjskie, Morze Czukockie. Interesującym problemem dla poszukiwań bituminów jest możliwość przebiegu Grzbietu Łomonosowa pod Oceanem Arktycznym. W ostatnich latach zostało odkryte w rosyjskim sektorze morza Barentsa gigantyczne złożo gazu ziemnego - Sztokmanowskoje. Obecnie są w przygotowaniu do eksploatacji złoża znajdujące się w:

- strefach szelfowych Morza Arabskiego,
- zatoce Bengalskiej i Delcie Gangesu,
- zachodniej części Afryki Środkowej z szelfami Basenu Angolskiego,
- Wschodniej Syberii i morzach otaczających,
- basenie Morza Kaspijskiego z otaczającymi obszarami,
- Australii i Oceanii (zarówno lądy jak i morza),
- głębokich strefach Zatoki Meksykańskiej,
- Wschodnich Chinach i morzach przybrzeżnych,
- Północnej, środkowo-wschodniej części Ameryki Południowej,

- północnej Afryce, a zwłaszcza Libii.

Równocześnie nie należy zaniedbywać poszukiwań naftowych w starych zagłębiach nawet w Europie.

Nie ulega wątpliwości, że odkrywane obecnie, i w następnych latach, złoża węglowodorów, często będą występowały w trudnych warunkach geologicznych i klimatycznych, co obok światowej sytuacji politycznej będzie rzutowało na wysokie ceny ropy naftowej i gazu ziemnego.

Gaz ziemny, który w dużym stopniu jest paliwem ekologicznym, ponieważ jest niskoemisyjny, powinien być używany w Polsce w ilości większej niż dotychczas. Wskazuje na to również prognoza zużycia gazu w Polsce w okresie do 2050 r. zbudowana w oparciu o model Hubberta-Starzmana [12]. Model ten uwzględnia następujące elementy: rozwój ekonomiczny kraju określany przez uśrednioną wartość produktu krajowego brutto (PKB), historię zużycia gazu w okresie poprzedzającym prognozę, maksymalne zużycie (wydobycie własne oraz import) gazu. Model początkowo był stosowany do prognoz zużycia ropy naftowej, a potem do konsumpcji gazu ziemnego. Stosowany do przewidywań zapotrzebowania na gaz w różnej skali, zarówno czasowej jak wielkości regionu czy kraju, potwierdził swoją skuteczność. Pod względem matematycznym metoda Hubberta sprowadza się do analizy przebiegów krzywych wydobycia, zużycia gazu w funkcji czasu, znajdowania położenia punktów charakterystycznych (np. maksima, punkty przegięcia). Jest to klasa funkcji logistycznych. Adaptując model Hubberta do sytuacji w Polsce założono, że źródła dostaw gazu to zarówno złoża własne jak i import z zagranicy, a więc złoża zagraniczne. Na podstawie prognoz określono, że zapotrzebowanie na gaz ziemny w Polsce, ok. 2010 r. będzie się mieściło w przedziale 14-16 mld m<sup>3</sup>/rok, z 20% błędem. Natomiast w 2020 r. konsumpcja gazu wzrośnie do ok. 21-23 mld m<sup>3</sup>/rok. Im odleglejszy horyzont czasowy, tym mniej pewną jest prognoza.

## 5. WĘGIEL

Zasoby węgla kamiennego i brunatnego występują w 71 krajach, natomiast eksploatowane są w 69 krajach [16]. Węgiel był podstawą rewolucji przemysłowej w XVIII wieku. Na nim opierała się podstawa wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej. Powstały również nowe Zagłębia i złoża, które występują na poszczególnych kontynentach (tabela II). Niektóre z zagłębi węglowych mają dużą powierzchnię i bardzo duże zasoby węgla. Zagłębie Leńskie na Syberii ma powierzchnię około 600 tys km<sup>2</sup> i jest największym znanym zagłębiem na świecie. Pomimo różnych „prognoz i przepowiedni” rola węgla w światowej energetyce utrzymuje się na poziomie 31% i nic nie wskazuje na to, aby w następnych latach wykorzystanie węgla miało być ograniczone (tabela 1). Atutem węgla są jego duże zasoby oraz dostępność na światowych rynkach. Zasoby przemysłowe węgla przy zachowaniu obecnego poziomu jego konsumpcji mają najdłuższą żywotność z wszystkich organicznych surowców energetycznych.

Obecnie w świecie pracuje się nad nowymi niskoemisyjnymi technologiami spalania węgla, a także nad otrzymywaniem z węgla gazu syntezowego i paliwa silnikowego. Istnieją oczekiwania, że w ten sposób ograniczy się emisję dwutlenku węgla. Aby zasoby energii, zawarte w poszczególnych rodzajach węgla, które stanowią podstawę jego technologicznej i energetycznej klasyfikacji, mogły być energetycznie porównywalne również z innymi

surowcami energetycznymi, muszą zostać sprowadzone do uniwersalnego, to znaczy do wymiaru ekwiwalentu ropy naftowej (toe).

Tabela 11 Rozmieszczenie w Świecie zagłębi i złóż węgla [5]

Kontynenty	Liczba zagłębi powyżej 200 mld ton zasobów	Liczba zagłębi i złóż poniżej 200 mld ton zasobów
Afryka	5	32
Ameryka Południowa	2	15
Ameryka Północna	13	55
Azja	18	103
Australia i Oceania	3	29
Europa	23	18
Razem	64	252

Potencjał energetyczny poszczególnych rodzajów węgla jest różny. Użyte w pracy przeliczniki zostały określone na podstawie wartości cieplnej węgla na rynkach światowych metodą średniej ważonej. Dla węgla bitumicznego przelicznik wynosi 0,70, dla węgla subbitumicznego 0,46 i dla lignitu 0,30.

Trzy kontynenty przodują w ilości zasobów przemysłowych. Są to Ameryka Północna, szczególnie USA z 29,3% udziałem w zasobach światowych, oraz Azja z udziałem 27,4% i Europa z 25,5% udziału. Główne zasoby węgla w Europie ma Rosja ze względu na posiadanie dużych zagłębi węglowych w części azjatyckiej.

Tabela 12. Światowe zasoby energii zawartej w węglu w przeliczeniu na ekwiwalent ropy naftowej

Region	Węgiel bitumiczny i antracyt		Węgiel subbitumiczny		Lignit		Węgiel łącznie [mln toe]	Udział w zasobach światowych [%]
	mln ton	mln toe	mln ton	mln toe	mln ton	mln toe		
Afryka	49 431	34 601,7	171	78,7	3	1	34 681,4	7,4
Ameryka Płd.	7 229	5 060,3	9 023	4 150,6	24	7,2	9 218,1	1,9
Ameryka Płn.	116 592	81 614,4	101 440	46 662,4	32 661	9 798,3	138 075,1	29,4
Azja	146 251	102 375,7	36 282	16 689,7	34 685	10 405,5	129 470,9	27,6
Australia i Oceania	37 135	25 994,5	2 305	1 060,3	37 733	11 319,9	38 374,7	8,2
Europa	72 872	51 010,4	117 616	54 103,4	44 649	13 394,7	118 508,5	25,3
Bliski Wschód	1 386	970,2	-	-	-	-	970,2	0,2
Razem	430 896	301 627,2	266 837	122 745	149 755	44 926,6	469 298	100,0

Ponadto znaczące ilości zasobów mają jeszcze Australia z Oceanią oraz Afryka, a w niej głównie Republika Południowej Afryki.

Potencjał energetyczny światowych zasobów węgla w 2005 roku wynosił 455 796 Mtoe (tabela 12)

W tabeli 13 przedstawiono zasoby przemysłowe węgla i udział ich w zasobach światowych. Dziesięć państw posiada 93,6% zasobów światowych. Pozostałe 59 państw posiada zaledwie 6,4% zasobów światowych. Węgiel ma największą koncentrację zasobów w stosunku do ropy naftowej (81,5%) i gazu ziemnego (77,5%) w porównaniu do dziesięciu państw o największych zasobach.

Natomiast trzy kraje naftowe: Arabia Saudyjska, Iran i Irak posiadają 42,0% zasobów światowych ropy naftowej, dalsze trzy kraje: Rosja, Iran i Katar mają 57,2% światowych zasobów gazu ziemnego i trzy następne kraje: USA, Rosja i Chiny uczestniczą 59,4% udziałem w zasobach przemysłowych węgla (tabela 5, 8, 13).

Jeżeli chodzi o obecnie udokumentowane zasoby przemysłowe surowców energetycznych, to zasoby węgla wyraźnie przewyższają zasoby ropy naftowej, a także i gazu ziemnego (tabela 1). W dalszym ciągu w szeregu krajach można będzie udokumentować jeszcze nowe zasoby przemysłowe węgla. Niektóre kraje podają przypuszczalne nowe zasoby, które zostały stwierdzone w nowych zagłębieniach lub w nowych częściach znanych zagłębi. Przewiduje się możliwości udokumentowania nowych zasobów w takich krajach jak: USA około 120 000 mln ton, Rosja około 200 000 mln ton, Republika Południowej Afryki 115 000 mln ton i Indie około 100 000 mln ton.

Chiny, które są również perspektywnym krajem dla uzyskania nowych zasobów węgla, nie podają swoich danych na ten temat. Z analizy budowy geologicznej tego kraju można przewidywać udokumentowanie nowych zasobów węgla w ilości około 100 000 mln ton. Również i w pozostałych krajach można będzie udokumentować nowe zasoby oczywiście nie tak znaczne jak w krajach poprzednio wymienionych.

Tabela 13. Kraje o największych zasobach przemysłowych węgla w przeliczeniu na ekwiwalent 1 tony ropy naftowej (toe)

Kraj	Zasoby [mln toe]	Udział w zasobach światowych [%]
USA	133 735,5	28,5
Rosja	82 334,7	17,5
Chiny	64 622,0	13,8
Australia	38 156,0	8,1
Indie	37 845,0	8,0
Republika Płd. Afryki	33 600,0	7,1
Kazachstan	20 658,0	4,4
Ukraina	18 969,6	4,0
Kolumbia	47 609,6	1,0
Polska	4 655,4	0,9
Razem	439 346,0	93,7
Świat	469 298	100,0
Reszta Świata	29 952	6,3

Światowe zasoby (rezerwy) węgla szacowane są na około 600 mld toe [16]. Najprawdopodobniej do eksploatacji będzie się nadawało nie więcej jak 1/3 tych zasobów. Chyba że zostaną w przyszłości opracowane nowe metody pozyskiwania tego węgla, w tym także nowe sposoby podziemnego zgazowania.

Tak więc w wielu złożach, szczególnie tych jeszcze nieudostępnionych, eksploatacja węgla może być bardzo trudna, a nawet niemożliwa ze względu na geologiczno-górnictwa warunki występowania a zwłaszcza duże zagrożenia naturalne.

Wiele z obecnie eksploatowanych złóż w perspektywie kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat zakończy wydobycie ze względu na wyczerpanie ich zasobów.

Na ogół eksploatacja węgla w każdym następnym złożu będzie droższa niż obecna.

Dlatego bardzo ważne jest oszczędne gospodarowanie zasobami czynnych złóż tak, aby nie pozostawiać możliwych do eksploatacji zasobów i przed czasem nie likwidować kopalń. Drugim ważnym problemem jest opracowanie metod niskoemisyjnego spalania węgla, a także ekonomicznego i ekologicznego wytwarzania z węgla paliw gazowych i płynnych.

## **6. WNIOSKI OGÓLNE**

Przy obecnym zużyciu energii w świecie udokumentowane przemysłowe zasoby kopalnych surowców energetycznych wystarczą jeszcze na szereg lat. Węgiel na około 158 lat, ropa naftowa na 41 lat i gaz ziemny na 63 lata. Natomiast perspektywiczne zasoby tych surowców są znacznie większe, pozwolą na zaspokojenie potrzeb energetycznych świata w XXI wieku. Jednak w wielu przypadkach będzie to wymagało opracowania nowych technologii przy znacznych nakładach inwestycyjnych.

Szczególnie duże perspektywiczne zasoby ma węgiel. Jednakże duża emisyjność tego surowca ogranicza jego użytkowanie przy obecnych technologiach. Dlatego pilną koniecznością jest opracowanie niskoemisyjnych, a także bezemisyjnych technologii spalania węgla i sekwestracji CO<sub>2</sub>.

Świat ma znaczne możliwości oszczędności energii, które obecnie nie są dostatecznie wykorzystywane. Szczególnie dotyczy to krajów rozwiniętych, które mają znaczny potencjał oszczędności energii, czyli wzrostu efektywności energetycznej. W zależności od specyfiki gospodarczej i społecznej każdy kraj winien posiadać program wzrostu efektywności energetycznej i realizować go na bieżąco. Będzie to służyło zarówno oszczędności energetycznej jak i ograniczeniu CO<sub>2</sub> i innych gazów.

Należy przyspieszyć prace nad pozyskiwaniem i wykorzystywaniem energii ze źródeł odnawialnych, tak aby była ona konkurencyjna do energii z kopalnych surowców energetycznych. Należy dążyć do tego, aby w połowie XXI wieku udział energii ze źródeł alternatywnych (energia ze źródeł odnawialnych i nowych technologii, np. wodór) stanowił 40 - 50% pokrycia potrzeb energetycznych świata.

Szczególnie newralgicznym surowcem energetycznym jest ropa naftowa, która często bywa wykorzystywana jako skuteczny element nacisku politycznego, szczególnie w energetyce, a także przemyśle chemicznym ( ma ona wszechstronne wykorzystanie). Niektóre kraje



naftowe ostatnio uzyskały ważne rezultaty w badaniach nad zwiększeniem stopnia szczypania złóż z 35% do około 60%. Otwiera to nowe możliwości efektywnej eksploatacji złóż, których eksploatację już zakończono.

Wzrost stopnia szczypania złóż staje się realną metodą zwiększenia światowych zasobów ropy naftowej przez podjęcie tak zwanej wtórnej eksploatacji złóż.

## **7. WNIOSKI DLA POLSKI**

Zasoby węgla kamiennego i brunatnego przy racjonalnym gospodarowaniu wystarczą na kilkadziesiąt lat. Zasoby gazu ziemnego (pozwalają obecnie na pokrycie 1/3 potrzeb) również na kilkadziesiąt lat. Warunkiem jest jednak odkrywanie nowych złóż gazu, co jest realne. Natomiast udokumentowane zasoby ropy naftowej są małe, a odkrywanie nowych złóż nie jest takie pewne. Roczne wydobycie ropy naftowej zarówno z lądu jak i z Bałtyku wynosi obecnie (2006 r.) 0,70 Mton, zaś zużycie ropy naftowej 20 Mton. Udział własnej ropy naftowej w 2006 r. wynosił jedynie 3,9%.

Pokrycie przyszłych potrzeb na ropę i gaz, podobnie jak obecnie, będzie wymagało importu tych nośników. Ropa naftowa, a szczególnie gaz ziemny, są wykorzystywane w Europie jako element nacisku politycznego, głównie ze strony Rosji. W tej sytuacji trudno, albo nawet wręcz niemożliwe, będzie rozwiązywanie autonomicznie przez Polskę zaopatrzenia w węglowodorowe paliwa. Efektywnie można będzie to rozwiązać w ramach Unii Europejskiej. Obecna polityka energetyczna Unii Europejskiej nie ma charakteru kompleksowego. Brak jest wspólnej dla całej Unii infrastruktury energetycznej, zarówno dla gazu ziemnego jak i energii elektrycznej, która by uwzględniała przestrzenne uwarunkowania. Zaopatrzenie w nośniki energii pozostawione jest w kompetencji poszczególnych państw. Natomiast problemy związane z obniżeniem emisyjności, znajdujące się w kompetencji organów Unii, nie uwzględniają w dostatecznym zakresie specyfiki ekonomiczno-społecznej poszczególnych krajów Unii Europejskiej. W Polsce może to doprowadzić do chaosu ekonomicznego.

Polska, obok podziemnych zbiorników ropy naftowej, powinna jak najszybciej zbudować optymalne połączenia dla gazu i energii elektrycznej z zachodnimi sąsiadami. W przeciwnym razie hasło Unii Europejskiej o solidarności energetycznej będzie pustym zawołaniem.

Efektywność energetyczna jest w Polsce wciąż jeszcze mała, pomimo znacznego postępu osiągniętego po 1990 roku. Winien powstać ogólnokrajowy program obniżenia energochłonności i jego konsekwentna realizacja.

Należy zwrócić większą uwagę na wyraźne zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w strukturze energii pierwotnej. Dotychczasowe osiągnięcia nie są tu wystarczające. Winny powstać programy branżowe, a także regionalizacja zaopatrzenia w energię.

Dalsze ograniczenie emisji gazów cieplarnianych winno być rezultatem przede wszystkim ograniczenia emisyjności spalania węgla. Winny być opracowane i wdrożone zarówno niskoemisyjne technologie spalania węgla jak i gazyfikacja węgla.

Ważne dla ochrony środowiska są również badania nad nowymi technologiami uszlachetniania węgla.

## LITERATURA

- [1] Brendow K.: Global and Regional Coal Demand Perspectives to 2030 and Beyond Sustainable Global Energy Development: The Case of Coal. Part I: Global Analysis. Chapter 6. WEC, Londyn. 2004.
- [2] Chmielniak T.J.: Energetyka oparta na węglu - konieczność czy strategia? Karbo nr 2, s. 77-80. 2007.
- [3] Gawlik L., Mokrzycki E., Ney R.: Możliwości poprawy akceptowalności węgla jako nośnika energii. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 23, z. spec. 3, 2007.
- [4] Gawlik L., Soliński J.: Zrównoważony globalny rozwój energetyczny- przypadek węgla. Polityka Energetyczna t. 7, z. 2, 2004.
- [5] Golicyn M.W., Golicyn A. M.: Wsio ob ugle. Nauka. Moskwa 1989.
- [6] IEA, 2007- Coal Information (2007 Edition).
- [7] Kulke H. red.: Regional Petroleum Geology of the World. Berlin-Stuttgart. 1994-1995.
- [8] Mokrzycki E.: Perspektywy wykorzystania węgla kamiennego. Górnictwo i Geoinżynieria r. 30, z. 3/1,2006.
- [9] Ney R.: Efektywność wykorzystania energii ważnym zadaniem polityki energetycznej. Polityka Energetyczna t. 8, z. spec, s. 11-24. 2004.
- [10] Ney R.: Zasoby ropy naftowej. Polityka Energetyczna t. 9, z. spec. 2006.
- [11] Paska J., Surma T.: Wytwarzanie energii elektrycznej z zasobów odnawialnych w Polsce i Unii Europejskiej. Rynek Energii 2008, nr 1.
- [12] Patzek T.W.: Exponential Growth, Energetic Hubbert Cycles and the Advancement of Technology. Archives of Mining Sciences. Vol. 53, Issue 2. 2008.
- [13] Report of Programme Committee B IGU. Strategy, Economy and Regulation, 23d World Gas Conference. Amsterdam 2006.
- [14] Rychlicki S., Siemek J.: Gaz ziemny paliwem XXI wieku - fakty i dylematy. Rynek Energii 2006, nr 6.
- [15] Vasyuchkov Yu.F.: Unconventional Technologies of Coal Seams Extraction and Processing. Archives of Mining Sciences, Vol. 53, Issue 2. 2008.
- [16] WEC, 2001: Living in One World. Sustainability from an Energy. London.
- [17] WEC, 2007: Survey of Energy Resources.

## **GLOBAL RESERVES OF ENERGY FOSSIL RESOURCES - CONCLUSIONS FOR POLAND**

**Key words:** reserves of energy resources, crude oil, natural gas, coal, energy prognosis

**Summary.** The paper presents a review and evaluation of global energy fossil resources. At least for next several dozens of years hard and brown coal, as well as natural gas and oil will be world's basic energy sources. This is well displayed by current energy carrier consumption trends, especially regarding natural gas or heavy oil ones. Promising perspectives are occurring for unconventional energy sources like coal bed released methane or gas hydrates. Having defined such background, several conclusions and recommendations for Polish Energy Policy have been expressed.

**Eugeniusz Mokrzycki**, Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Roman Ney**, Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Jakub Siemek**, Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków