



Anna MARZEC*

Polityka energetyczna wobec perspektywy dwu zagrożeń – niedoboru ropy naftowej i ocieplenia klimatu

Streszczenie: Opisano światowe zasoby ropy naftowej według danych opublikowanych w latach 2008–2010. Krajami najbardziej zasobnymi w złoża ropy są kolejno: Arabia Saudyjska (pierwsze miejsce na świecie), Iran i Irak (drugie i trzecie miejsce). W ośmiu z dziesięciu regionów świata produkujących ropę, wzrost jej wydobycia należy już do przeszłości. W pozostałych dwu regionach tzw. pik wydobycia nastąpi w kilku najbliższych latach. Przewiduje się, że wstępny etap spadku światowego wydobycia nastąpi przed 2020 r. Dostosowanie gospodarek do niedoboru ropy naftowej winno stanowić integralną część planu działania na rzecz ochrony klimatu przed nadmiernym ociepleniem.

Działania zapobiegające dalszemu wzrostowi emisji GHG gazów cieplarnianych muszą być szybko podjęte i realizowane za pomocą niskoemisyjnych, nowoczesnych ale już sprawdzonych technologii. Nie ma bowiem czasu na ryzykowne rozwiązania tak pod względem technologicznym jak i w polityce energetycznej. W kilku obszarach – opisano je obszerniej – produkcji i użytkowania energii realny jest coroczny sukcesywny spadek emisji, zapewniający stabilizację koncentracji CO₂ na poziomie chroniącym klimat przed niebezpiecznym ociepleniem.

Słowa kluczowe: ropa naftowa, roponośne regiony, zasoby, spadek wydobycia, atmosfera, dwutlenek węgla, redukcja emisji, efektywność produkcji energii, transport, CCS; energetyka nuklearna, energia solarna, energia wiatrowa, systemy hybrydowe

Energy Policy in the face of two threats: Crude oil shortage and climate warming

Abstract: The paper summarizes the data published in 2008–2010 on global resources and production of crude oil.

The largest oil reserves are in Saudi Arabia (1st place in world ranking), Iran and Iraq (2nd and 3rd). In eight out of ten regions that produce crude oil, peak oil occurred already in the past. The initial stage of a global decline of the oil production is expected by 2020. This will create a supply gap, which could be closed providing that humankind changes its energy policy and economic system in order to prevent climate warming.

The action of reducing GHG emissions has to be started as soon as possible with the use of well known, low-emission technologies that already turned out to be useful. There is no time for a risk in technological

* Prof. dr hab. inż., e-mail: marzeca@neostrada.pl

solutions or of erroneous energy policy. These solutions include a substantial improvement in: efficiencies of energy production; in transport sector; electricity sector; carbon capture and storage; nuclear energy; solar and wind energy. There is a realistic technological view that the successive, yearly emission decreases in these energy sectors, can protect our climate from dangerous warming.

Key words: crude oil, oil bearing regions, oil resources, supply decline, atmosphere, carbon dioxide, emission reduction, energy production, effectiveness, transport sector, CCS, nuclear energy, solar energy, wind energy, hybrid systems

1. Zasoby i produkcja ropy naftowej

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie bliską perspektywą wyczerpywania zasobów ropy naftowej, co między innymi znajduje wyraz w znacznej liczbie publikacji omawiających to zagadnienie, w czasopismach naukowych.

Obecnie 23 kraje w dziesięciu różnych regionach świata [1] produkują ropę naftową w dużych ilościach i zaspokajają nie tylko swoje, ale także światowe zapotrzebowanie na ten surowiec energetyczny.

Regionem najbardziej zasobnym w złoża ropy jest Bliski Wschód [1, 2], a w nim: Arabia Saudyjska (I światowa pozycja: 264 miliardy BOE), Iran (137 miliardy), Irak (115 miliardów). Kuwejt (108 miliardów) oraz Zj. Emiraty Arabskie (98 miliardów). Ten region dysponuje ponad 1/3 światowych zasobów. Szóstą i siódmą pozycję zajmuje Wenezuela (80 miliardy) oraz Rosja (74 miliardy), a następnie Kazachstan (49 miliardów, ósma pozycja). Wszystkie dane odnoszą się do oceny zasobów dokonanej w 2006 roku.

Największe pola naftowe zostały odkryte [1] w latach 1938–1980. Po 1980 r. odkryto co prawda wielką liczbę nowych pól – obecnie jest ich znanych kilkadziesiąt tysięcy – ale większość z nich to małe pola naftowe [3].

Przewidywania dotyczące spadku wydobycia ropy naftowej są m.in. oparte na obserwacji zależności – jaka dotąd miała miejsce – pomiędzy wzrostem złożowych zasobów ropy a wzrostem jej wydobycia [1, 3]. Okazuje się, że od trzydziestu lat, coroczny wzrost produkcji ropy ze złóż jest wyższy od przyrostu nowych złożowych zasobów w danym roku. Jeśli ta tendencja utrzyma się w przyszłych latach, to po pewnym czasie musi nastąpić okres, w którym dalszy wzrost produkcji ropy ze złóż nie będzie możliwy; pojawi się stagnacja, a następnie spadek produkcji.

Szczegółowa analiza [1] ujawniła, że w ośmiu z dziesięciu roponośnych regionów świata, wzrost wydobycia ropy to już przeszłość. Wzrost bowiem trwał do 1985 roku w USA, Kanadzie i na Alasce lub do 2000 r. w krajach Europy, w tym w Norwegii i Anglii, albo do 2006 r. na Środkowym Wschodzie a nawet do 2007 r. w Chinach. A zatem większość roponośnych regionów ma już za sobą tzw. pik wydobycia (ang. *peak oil*). Inna sytuacja charakteryzuje region, w którym w latach dziewięćdziesiątych XX w. przeprowadzono zmiany systemu ekonomicznego (Rosja, Kazachstan, Azerbejdżan). Tu maksimum wydobycia przypadnie na lata 2010–2015. Także w krajach Afryki i w Brazylii przewidywany spadek wydobycia nastąpi po roku 2010.

Światowe, sumaryczne wydobycie ropy w latach 2005–2008 pozostawało na niemal stałym poziomie [4]. Jednak nie można jednoznacznie określić przyczyny tej stagnacji – może ona być także przejawem zmniejszonego przez kryzys zapotrzebowania na ropę.

Na szczególną uwagę zasługują dane [3] dotyczące okresu, w którym rozpocznie się niedobór ropy. Jest to publikacja oparta na kilkuset pracach źródłowych i analizie 14 prognoz światowego wydobycia, opracowanych przez różne zespoły autorskie. Wniosek ostateczny: istnieje znaczne prawdopodobieństwo, iż pik globalnej produkcji ropy wystąpi przed 2020 r.

W sprzeczności z tymi prognozami pozostaje opinia [5] opracowana przez Międzynarodową Agencję Energii (*International Energy Agency* – IEA), stanowiącą ciało doradcze dla 28 państw wchodzących w skład OECD. Według prognozy IEA obejmującej okres do 2030 r., produkcja ropy do tegoż roku będzie rosła [5; str. 251].

Krytyka założeń, leżących u podstaw wspomnianego opracowania IEA, została przedstawiona w publikacji [6]. Autor zwraca tam także uwagę na duże ryzyko konstruowania polityki gospodarczego rozwoju opartej na przewidywanym – w sposób nieuzasadniony – wzroście wydobycia i podaży ropy.

Do ograniczenia możliwości zakupów ropy w bliskiej przyszłości może się także przyczynić wzrost jej cen, powodowany kryzysowym zaniechaniem inwestycji w intensywne metody eksploatacji złóż oraz rosnące koszty poszukiwań nowych złóż i eksploatacji złóż podmorskich. Katastrofa ekologiczna spowodowana przez odwiert Deepwater Horizon w Zatoce Meksykańskiej (kwiecień 2010) niewątpliwie będzie miała wpływ na wzrost kosztów eksploatacji podmorskich zasobów.

Racjonalne postępowanie w tej sytuacji winno prowadzić do ograniczenia zużycia ropy naftowej, włączając w to poprawę efektywności jej użytkowania oraz stopniowe zastępowanie ropy innymi surowcami energetycznymi.

Te zadania stanowią integralną część znacznie obszerniejszego planu działania na rzecz ochrony klimatu.

2. Zapobieganie ociepleniu klimatu

Wyniki światowych badań opublikowane przez IPCC w 2007 r. [8] – a ostatnio (maj 2010 r.) w pełni potwierdzone przez prezesa Akademii Nauk USA – R. J. Cicerone na forum Kongresu USA [9] – wskazują na postępujące globalne ocieplenie, wywołane przez człowieka. Literatura omawiająca sposoby zapobiegania dalszemu ociepleniu jest obszerna. Autorka niniejszego artykułu wybrała opis koncepcji [10], który zawiera szereg danych szczegółowych, dotyczących sposobów realizacji odpowiedniej polityki energetycznej. Zasadniczym celem jest stabilizacja do 2050 r. koncentracji CO₂ w atmosferze na poziomie do 500 ppm (± 50 ppm). Przewiduje się [8], że taka koncentracja spowoduje wzrost średniej globalnej temperatury w zakresie od 2 do 4°C. Skuteczność wysiłków w kierunku zapewnienia niższego wzrostu temperatury, wydaje się już mało prawdopodobna.

Aby koncentrację CO₂ w atmosferze ustabilizować na poziomie 500 ppm (± 50 ppm), roczna emisja wynikająca z globalnej produkcji energii nie może być wyższa od 26 miliardów ton CO₂, w pierwszej połowie XXI w. [10, 12], po czym winna podlegać dalszej redukcji. Jednak ten poziom emisji przekroczony został już w 2003 r., a następnie dalej wzrastał [11a]. Konieczne zatem jest niezwłoczne podjęcie przeciwdziałań. Muszą one być realizowane za pomocą znanych niskoemisyjnych technologii, bowiem nie ma czasu na oczekiwanie, aż całkowicie nowe technologie zostaną sprawdzone w dużej, znaczącej skali. Autorzy [10, 12] proponują szereg przedsięwzięć w kilku obszarach gospodarki, które winny rozpocząć się jak

najszybciej i stopniowo każdego roku rozwijać, aż do osiągnięcia w 2050 roku zdolności redukcji emisji o 3,7 miliarda ton CO₂ (1 Gt C/rok) w każdym z tych obszarów.

Warto prześledzić niektóre z owych danych, bowiem wymownie świadczą o potrzebie szybkich i głębokich zmian w produkcji energii, w polityce energetycznej i w międzynarodowej współpracy.

2.1. Wzrost efektywności produkcji i użytkowania energii [10, 12]

Wzrost efektywności produkcji energii winien w pierwszej kolejności polegać na zastąpieniu instalacji produkcji energii z węgla o termicznej efektywności wynoszącej 32 do 40%, nowymi instalacjami o 60% efektywności termicznej.

Duże znaczenie ma energooszczędne budownictwo, charakteryzujące się dobrą izolacją budynków, która zmniejsza o około 25% dotychczasowe straty ciepła. Izolacji wymagają także budynki wzniesione w ubiegłych latach.

2.2. Sektor transportu

Liczba samochodów użytkowanych na świecie (ok. 800 milionów) i nowych, produkowanych każdego roku (50 milionów), wskazuje na bardzo znaczny potencjał tego sektora transportu w obniżeniu emisji GHG, jeśli wprowadzone zostaną odpowiednie zmiany.

Samochody dotąd produkowane winny być zastąpione pojazdami o dwukrotnie wyższej efektywności, np. osiągające zaledwie 30 mpg (czyli spalających około 7,7 l na 100 km), samochodami 60 mpg. Wymaga to zastosowania sprawniejszych silników i redukcji ciężaru pojazdów. Takie samochody są już produkowane, ale dotąd nie dominują na rynku. Ponadto trzeba zmniejszyć dwukrotnie średni roczny dystans pokonywany przez samochody (z 16 tys. do 8 tys. km/rok). Realizacja tego warunku nie jest możliwa bez intensywnego rozwoju transportu kolejowego.

Te i inne [10] zmiany w osobowym i ciężarowym transporcie samochodowym w znacznej części zneutralizują także negatywne skutki niedoborów ropy naftowej.

2.3. Zmiana surowca energetycznego w produkcji energii elektrycznej [10, 12]

Świat produkuje z węgla około 40 % energii elektrycznej. Do 2050 r. trzeba wprowadzić gaz ziemny do produkcji energii elektrycznej w miejsce około połowy jej produkcji z węgla. Obecna produkcja elektryczności z gazu ziemnego musi zatem wzrosnąć do 2050 r. czterokrotnie. Zamiana surowca może być łatwo realizowana w krajach, które mają dostęp do zasobów gazu ziemnego. Podobnie jak ropa naftowa, najbogatsze złoża gazu [11b] występują na Bliskim Wschodzie; Iran i Katar to dwie pierwsze światowe pozycje. W Europie znajduje się zaledwie 3% światowych zasobów gazu (głównie w Norwegii i Holandii). Blisko 6 % światowych zasobów występuje łącznie w azjatyckiej części Rosji oraz w Turk-

menistanie, Kazachstanie i Azerbejdżanie. Nasuwa się wniosek, iż zastąpienie węgla przez gaz ziemny w krajach Unii Europejskiej może być realne, pod warunkiem prowadzenia wspólnej unijnej polityki importu gazu ziemnego.

Ostatnio pojawiły się informacje o bogatych zasobach tzw. gazu łupkowego (ang. *shale gas*), pochodzącego z głęboko pod ziemią występujących warstw skały łupkowej. Optymizm jest przesadny z kilku powodów. Eksploatacja gazu łupkowego jest trudna (albo wręcz niemożliwa z uwagi na bardzo niską przenikalność skał łupkowych) i wymaga wyjątkowo wysokich nakładów inwestycyjnych i energetycznych. W związku z tym pojawiają się wątpliwości co do zasadności eliminacji węgla z produkcji energii przez łupkowy gaz ziemny. Nakład energii potrzebny do wytworzenia nowego kompleksu wydobywczego gazu i formowania szczelin w łupkach w celu umożliwienia przenikania gazu do odwiertu (ang. *hydraulic fracturing*) jest bardzo wysoki [13]. Inne uciążliwości to duże zapotrzebowanie na wodę oraz wysokie prawdopodobieństwo zanieczyszczenia powierzchniowych i głębinowych złóż wody przez ciecz hydrauliczną (stosowaną do szczelinowania łupków). Produkcji gazu łupkowego w żadnej mierze nie można zaliczyć do przedsięwzięć sprawdzonych, nadających się do szybkiej realizacji.

Wniosek [14]: substytucja węgla pochodzącego z istniejących już kopalń przez gaz łupkowy nie miałaby żadnego uzasadnienia z punktu widzenia potrzeby redukcji emisji GHG do atmosfery.

2.4. Wydzielanie i depozycja CO₂ [10, 12, 15]

Oba wymienione procesy (CCS) winne być powszechnie stosowane w elektrowniach zasilanych węglem lub gazem ziemnym. Trudności wynikają z niezbędnej dużej skali tego przedsięwzięcia. Obecnie depozycji podlega około kilkanaście milionów ton CO₂ rocznie. W krajach G8 (Francja, Niemcy, Japonia, Kanada, Rosja, USA, UK, Włochy) działa zaledwie pięć dużych instalacji, które w sumie dokonują depozycji 7 milionów ton CO₂/rok [15]. W stadium projektowym lub w budowie jest kilkadziesiąt instalacji. Dotychczasową ilość deponowanego gazu należałoby zwiększać stopniowo do 3–4 miliardów ton CO₂ w 2050 r.

Dwutlenek węgla jest od kilkadziesiąt lat (USA) zatłaczany do złóż ropy i gazu w celu intensyfikacji wydobywania, po czym pozostaje w tych złóżach. Ponadto może być także składowany w innych podziemnych strukturach, między innymi w złóżach węgla nie nadających się do eksploatacji. Wadą podziemnego składowania jest jednak to, iż niezwykle trudno określić jak długo gaz może być bezpiecznie przechowywany w podziemnej strukturze, bez wycieków na powierzchnię. Dwutlenek węgla w połączeniu z wilgocią złożową tworzy lekko kwaśny roztwór działający na skałę, co może przyczynić się do powstania wycieków. Inne trudności w intensyfikacji zastosowania CCS zostały zwięźle opisane [16].

Składowanie CO₂ pod ziemią jest jednak jedyną opcją, umożliwiającą wykorzystywanie paliw kopalnych w warunkach konieczności ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery.

2.5. Energia nuklearna

Energia nuklearna dostarcza nieco ponad 6 % produkowanej na świecie energii, w tym – 17% energii elektrycznej [10]. Na świecie działa około 500 siłowni nuklearnych. Z uwagi na wieloletni okres użytkowania, większość z nich wymaga przebudowy lub likwidacji. Z drugiej strony, z uwagi na potrzebę wzrostu produkcji niskoemisyjnej energii elektrycznej, należałoby co najmniej podwoić dotychczasową globalną zdolność produkcyjną energetyki jądrowej. Jest to zadanie szczególnie trudne i kosztowne, a także – ryzykowne. W dalszym ciągu bowiem problemem jest: awaryjność instalacji, grożąca ludziom i środowisku skażeniem promieniotwórczym; zapewnienie bezpiecznego przechowywania promieniotwórczych odpadów; groźba proliferacji broni jądrowej (produkowanej z plutonu, zawartego w zużyтым paliwie jądrowym) oraz ograniczone światowe zasoby rudy uranowej. Nieuzasadniony okazał się także pogląd, iż energia nuklearna jest zeroemisyjna. Analiza tzw. pełnego cyklu życia (LCA) energii nuklearnej [17], poczynając od wysoce energochłonnej produkcji materiałów konstrukcyjnych, budowy instalacji, wydobycia rudy uranowej, jej przetworzenia na paliwo, wreszcie likwidacji instalacji i zabezpieczenie odpadów promieniotwórczych, dowodzi co prawda jej niskiej emisyjności – ale na pewno nie zerowej emisyjności. Wykluczyć także trzeba możliwości szybkiego wdrożenia nowego (fuzja jądrowa), bardziej bezpiecznego sposobu produkowania energii.

W tej niełatwej sytuacji trzeba rozważyć, czy lepszym rozwiązaniem jest intensyfikacja produkcji energii z węgla, pod warunkiem jej ścisłego związku z depozycją geologiczną CO₂, czy też – rozbudowa energetyki jądrowej.

2.6. Odnawialne surowce energetyczne [10, 12]

Równoległe ze wspomnianymi działaniami (p. 1 do 5), niezbędny jest wzrost produkcji energii z innych źródeł (hydro, geotermia, biomasa, wiatr i słońce). W każdym z tych działów należałoby wielokrotnie zwiększyć produkcję energii w porównaniu ze stanem obecnym. Dotychczas (lata 2006–2010) wszystkie wymienione źródła łącznie dostarczają zaledwie około 8–9% globalnej rocznej produkcji energii [11c]. Nie oznacza to jednak, że będzie można zwiększać produkcję w sposób nieograniczony ze wszystkich wyżej wymienionych surowców odnawialnych. Hydro- i geotermia są ograniczone naturalnymi zasobami i warunkami eksploatacji. Największe możliwości rozwojowe ma energia wiatrowa i solarna, natomiast dużo mniejsze – biomasa/biopaliwa [10, 12]. W przypadku biopaliw, podstawową trudność stanowi zapotrzebowanie ziemi uprawnej – wynoszące 250 milionów ha – dla produkcji biomasy, a z niej biopaliw eliminujących paliwa naftowe. Te 250 milionów ha stanowi 1/6 globalnej powierzchni ziemi ornej (całkowita powierzchnia orna wynosi 1,5 miliarda ha czyli 15 milionów km²). Ponadto w ostatnich latach ubywa powierzchni rolnej na skutek urbanizacji, rozwoju sieci dróg, a także pustoszczenia części ziem uprawnych pod wpływem ocieplenia klimatu, np. w Afryce. Równocześnie, wzrost zaludnienia powoduje, iż na jednego mieszkańca Ziemi przypada coraz mniejsza część hektara ziemi ornej. W tych okolicznościach nasila się wyrąb lasów (na wyspach Oceanii, w Afryce i Ameryce Łacińskiej) w celu pozyskania ziemi dla upraw biopaliwowych. Inwestorem lub inicjatorem jest przemysł naftowy i samochodowy. Najwidoczniej uznano, że ratowanie ich

obecnej wygodnej sytuacji, poprzez substytucję ropy naftowej przez biopaliwa, jest ważniejsze od ratowania środowiska przyrodniczego i klimatu dla potrzeb wszystkich ludzi. Produkcja biomasy nie jest wolna także od innych negatywnych wpływów na środowisko, polegających na zapotrzebowaniu dużej ilości wody i nawozów sztucznych (produkcja nawozów pochłania znaczne ilości energii z paliw kopalnych) oraz insektycydów i herbicydów.

Bardzo ważnym krokiem są ostatnie zalecenia Komisji Europejskiej, dotyczące wprowadzenia systemu licencjonowania biopaliwa. Umożliwi to eliminację szkodliwej i niewłaściwej ich produkcji [18].

Duży potencjał rozwojowy ma energia solarna oraz wiatrowa; tu postępy w technologii i wzroście produkcji są dokonywane szybko. Przykładem jest dziesięciokrotny spadek kosztów produkcji energii elektrycznej z wiatrów w okresie 1988–2004 w USA [10]. Jednak start do wzrostu odbywa się z bardzo niskiego poziomu: świat produkował w 2008 r. mniej niż 1% energii elektrycznej z siły wiatrów [11d]. Utrudnieniem w osiągnięciu wysokiego udziału produkcji energii solarnej i wiatrowej jest także problem przechowywania wytworzonej energii na okres niedostatecznego zasilania (dni bezwietrzne, pochmurne, słabe nasłonecznienie w okresach zimowych). Trudność tę mogłyby wyeliminować systemy hybrydowe, zastępujące okresowe niedobory energii słonecznej lub wiatrowej energią z paliw kopalnych.

Można się zatem spodziewać, że dzięki intensywnemu wzrostowi produkcji energii, nie z jednego ale ze wszystkich surowców odnawialnych, będzie można obniżyć docelowo roczną emisję CO₂ (w 2050 roku) o 3,7 miliarda ton.

Podsumowanie

Wspomniane dziedziny (efektywność w produkcji energii i w transporcie; częściowa substytucja węgla przez gaz ziemny; energia nuklearna; wydzielanie i depozycja CO₂; energia z odnawialnych surowców, w tym wiatrowa i słoneczna) dysponują znanymi niskoemisyjnymi technologiami. Ta korzystna sytuacja tworzy szansę na to, iż w zakresie kilku tych dziedzin nastąpi sukcesywna redukcja emisji i w 2050 roku świat osiągnie zdolność redukcji o 22 miliardy ton CO₂/rok. Stąd – i tylko z „technologicznego” punktu widzenia – można zatem oczekiwać, że konieczna stabilizacja koncentracji CO₂ zostanie osiągnięta i odpowiednio długo na tym poziomie będzie utrzymywana. Czy jednak ludzkość zechce podjąć i potrafi zrealizować ten ogromny wysiłek?

Miejmy nadzieję, że zechce i potrafi – i w ten sposób ograniczy niebezpieczny wzrost średniej globalnej temperatury.

Istnieje wszakże jeszcze jedno zagrożenie dla stabilizacji koncentracji CO₂ w atmosferze. Jest ono związane z wielkością globalnej produkcji energii i wynikającą z niej emisją. W związku z tym, wzrost produkcji energii w każdym okresie pierwszej połowy XXI w., musi być ściśle podporządkowany możliwości redukcji emisji.

A zatem, w polityce energetycznej celem nadrzędnym staje się stabilizacja koncentracji GHG w atmosferze względem innego celu – wzrostu PKB, jeśli byłby on uzależniony od znacznego wzrostu produkcji energii i emisji GHG. Innymi słowy, trzeba „wyjść poza PKB jako pomiar postępu w zmieniającym się świecie” [cytat z poz. 19].

Literatura

- [1] Energy Watch Group: Crude Oil – The Supply Outlook. Revised ed. February 2008.
www.energywatchgroup.org (szukać: Oil Report)
- [2] Sovacool B.K., 2009 – Sound climate, energy, and transport policy for a carbon constrained World. *Policy and Society* vol. 27, issue 4, pp. 273–285.
- [3] Sorrell S. et al., 2010 – Global oil depletion: A review of the evidence. *Energy Policy*, vol. 38, pp. 5290–5295.
- [4] Energy Information Administration, US Government Dept of Energy 2010 – Crude Oil Production 1973–2008; www.eia.doe.gov/emeu/international/contents.html
- [5] IEA World Energy Outlook 2008; www.worldenergyoutlook.org/2008.asp
- [6] Kjell Aleklett et al., 2010 – The peak of the Oil Age – Analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008. *Energy Policy*, vol. 38, pp. 1398–1414.
- [7] Kjarstad J., Johnsson F., 2009 – Resources and future supply of oil. *Energy Policy*, vol 37, pp. 441–464.
- [8] IPCC Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers (dostępny w internecie).
- [9] Cicerone R., 2010 – Climate Science in the Political Arena. Testimony of the President of NAS before the US House of Representatives, May 20; www.nationalacademies.org/ następnie: search Cicerone Testimony May 20.
- [10] Gohniem A.F., 2010 – Needs, resources and climate change: Clean and efficient conversion technologies. *Progress in Energy and Combustion Science*, in print, doi: 101016/j.pecs.2010.04.17.
- [11] Energy Information Administration, US Gov. Dept of Energy 2008.
 - a) World Carbon Dioxide Emission from the Consumption of Fossil Fuels 1980–2006.
www.eia.doe.gov/international/carbondioxide.html
 - b) www.eia.doe.gov/emeu/international/reserves.html
 - c) EIA International Energy Outlook 2009. Table C2 and Table B8.
 - d) Energy in Brief, June 2010; www.eia.doe.gov/energy_in_brief/wind_power/cfm
- [12] Pacala S., Socolow R., 2004 – Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. *Science*, vol 305, issue 5686.
- [13] US DOE Office of Fossil Energy 2010: Modern Shale Gas Development in the US.
- [14] Howarth R.W., 2010 – Preliminary Assessment of the GHG Emissions from Natural Gas obtained by Hydraulic Fracturing. Cornell University, 17 April.
- [15] International Energy Agency, 2010 – IEA Report to the Muskoka 2010 G8 Summit, “Carbon Capture and Storage, Progress and Next Steps.
- [16] UK Parliamentary Office of Science and Technology 2009 – CO₂ Capture, Transport and Storage; www.parliament.uk/
- [17] Sovacool B.K., 2008 – Valuing the greenhouse gas emission from nuclear power. *Energy Policy*, v. 36, p. 2940–2953.
- [18] EU Commission on biofuel sustainability, 10 June, 2010.
- [19] EU 2009 – GDP and beyond: Measuring progress in a changing world; <http://www.beyond-gdp.eu/>