

Prof. dr hab. inż. Andrzej Grzegorz Chmielewski  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej  
Warszawa  
&  
Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej  
Politechniki Warszawskiej

## ENERGETYKA I ŚRODOWISKO POWER SECTOR AND THE ENVIRONMENT

*Abstract*

Population growth, higher standards of living, increased urbanization and enhanced industrial activities all contribute to the degradation of the environment. Fossil fuels, including coal, natural gas, petroleum, shale oil and bitumen, are the primary source of heat and electrical energy production and are responsible for emitting a large number and amount of pollutants into the atmosphere via exhaust gases from industry, power stations, residential heating systems and vehicles. During the combustion process, different pollutants such as CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> (including SO<sub>2</sub> and SO<sub>3</sub>), NO<sub>x</sub> (including NO<sub>2</sub>, NO and N<sub>2</sub>O), fly ash, VOCs and mercury are emitted. These emissions cause big environmental and human health hazard. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, some VOCs, CH<sub>4</sub> contribute to the global greenhouse effect, adding a new dimension to the environmental degradation resulting from the burning of fossil fuels. On the other hand some fossil fuels like oil and gas are the raw materials for industries and their reserves will be depleted soon. These problems regarding emissions inventory, their impact on the environment and human health, air pollution control technologies and costs, periods of fossil fuels depletion, role of renewable (including biofuels) and nuclear energy in the further civilization development are briefly discussed. The results of these analysis are not very optimistic.

*Key words; fossil fuels, power generation, renewable energy sources, biofuels, nuclear energy, environment degradation.*

### *Streszczenie*

Wzrost liczby ludności, wyższe standardy życia, rosnąca urbanizacja i rozwój przemysłu prowadzą do postępującej degradacji środowiska naturalnego. Paliwa kopalne, w tym węgiel, gaz naturalny, ropa, łupki bitumiczne są pierwotnymi nośnikami energii dla wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. Jednocześnie podczas ich spalania w przemyśle, energetyce, piecach domowych i silnikach samochodowych do atmosfery są emitowane duże ilości zanieczyszczeń. Są to CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> (obejmujące SO<sub>2</sub> i SO<sub>3</sub>), NO<sub>x</sub> (obejmujące NO<sub>2</sub>, NO i N<sub>2</sub>O), pył lotny, zanieczyszczenia organiczne (VOC), metale ciężkie, w tym rtęć. Te związki stanowią zagrożenie dla środowiska naturalnego i zdrowia człowieka. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, niektóre VOC, CH<sub>4</sub> mają swój udział w wywoływaniu zjawiska zwanego efektem cieplarnianym, co nadaje nowy wymiar zniszczeniom środowiskowym wywoływanym przez spalanie paliw kopalnych. Z drugiej strony gaz i ropa naftowa są cennymi surowcami dla przemysłu chemicznego, w wyniku prowadzonej przez człowieka gospodarki rabunkowej grozi im szybkie wyczerpanie. Powyższe problemy, dotyczące wielkości emisji zanieczyszczeń, ich efektów zdrowotnych, stosowanych technologii ochrony atmosfery, wyczerpywania złóż paliw kopalnych, roli źródeł odnawialnych (w tym biopaliw) i energetyki jądrowej w dalszym rozwoju cywilizacji, w skrótovej formie, ograniczonej założoną obszernością referatu, są dyskutowane w niniejszej publikacji. Wnioski wywodzące się z przeprowadzanych analiz nie napawają optymizmem.

*Słowa kluczowe: paliwa kopalne, odnawialne źródła energii, biopaliwa, energetyka jądrowa, degradacja środowiska.*

## 1. WSTĘP

Liczba ludności żyjącej na naszym globie przekroczyła 6 miliardów. Od dwu wieków to znaczy od lat 1800 – 1850, kiedy wynosiła ona jeden miliard, krzywa ilustrująca przyrost liczby ludności ma charakter niemalże eksponentialny. Wzrostowi zaludnienia globu towarzyszy wzrost industrializacji. Ludzie chcą żyć w lepszych warunkach, a temu towarzyszy wzrost zapotrzebowania na różne formy energii. Wzrost liczby ludności, wyższe standardy życia, rosnąca urbanizacja i uprzemysłowienie nie są bez znaczenia dla stanu środowiska naturalnego. Problemy związane z ochroną środowiska naturalnego i z wyczerpywaniem zasobów naturalnych stają się zmartwieniem ludzkości. Najtrudniejszym z nich jest rozwój energetyki, jej wpływ na środowisko i zużycie paliw kopalnych. Spalanie węgla, gazu i ropy naftowej związane jest z emisją olbrzymiej ilości zanieczyszczeń do atmosfery. Niestety jak wskazują prognozy, paliwa te będą głównym źródłem energii i w przyszłości [1]. Jedynym rozwiązaniem problemu jest większe wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw oraz energetyki jądrowej.

## 2. ŚWIATOWE ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ

Zapotrzebowanie energetyczne świata i główne źródła pierwotne stosowane do jej wytwarzania są podane w Tabeli 1 [2]. Udział transportu w ogólnej konsumpcji surowców energetycznych wzrósł z 24,2% w 1973 do ok. 30% w 2001. Światowe zużycie energii wzrasta mimo rosnącej efektywności pojazdów, instalacji przemysłowych i urządzeń domowych. Wzrost ten dotyczy zarówno krajów rozwiniętych, jak i rozwijających się. Tendencja ta zadaje kłopot twierdzeniom, że oszczędność energii jest jedynym antidotum na rozwiązanie kryzysu energetycznego. Obserwowane, pozytywne zjawisko wzrostu efektywności wykorzystania energii nie prowadzi do zahamowania zapotrzebowania na nią z uwagi na fakt, że rosnące standardy życia ludności wzmagają jej oczekiwania dotyczące zapewnienia jeszcze lepszych warunków pracy i odpoczynku. Przykładem może być program Euro 2012, popierany przez nas wszystkich, związany jednak z olbrzymimi, energochłonnymi inwestycjami typu stadionów, zaspokajających odwieczną potrzebę człowieka do uczestniczenia w igrzyskach. Dawniej w turniejach gladiatorów, teraz turniejach piłki nożnej. W biednych, rozwijających się krajach, programy elektryfikacji terenów wiejskich i miast, łącznie z rosnącym zapotrzebowaniem przemysłu i transportu, prowadzą do wzrostu zapotrzebowania na źródła energii. Mieszkańcy Europy Zachodniej przesiadają się z samochodów na rowery, a mieszkańcy Chin odwrotnie, z rowerów do samochodów. W wielu przypadkach wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną jest szybszy od przyrostu ludności. Jednakże dalej około 2,4 miliardów mieszkańców naszego globu wykorzystuje tradycyjnie biomasę do gotowania i ogrzewania mieszkań. Liczba ta wzrośnie do 2,6 miliardów w roku 2030. W krajach rozwijających się, biomasa dalej będzie zaspokajała połowę potrzeb domowych na energię przez następne 30 lat. Jeśli nie nastąpią zmiany w polityce wykorzystania energii, a wszystko na to wskazuje, że tak będzie, zapotrzebowanie na energię będzie stale rosło o około 1,7% rocznie, to znaczy nieco wolniej niż w ciągu ostatnich 30 lat kiedy wzrost ten wynosił 2,1% rocznie. Paliwa kopalne pozostaną głównymi źródłami pierwotnymi energii w następnym trzydziestolecu i zapotrzebowanie na nie wzrośnie do roku 2030 o ok. 90%.

## 3. GŁÓWNE PIERWOTNE ŹRÓDŁA DLA PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Technologie produkcji energii elektrycznej wymagają specjalnej uwagi, ponieważ największa część populacji świata żyje w mega miastach i dla zasilania takich metropolii powinny być budowane duże elektrownie zawodowe. W innych przypadkach o wielkości elektrowni decyduje istnienie w pobliżu dużej kopalni odkrywkowej, jak ma to miejsce w przypadku Bełchatowa, czy też Turowa. Wpływ takich elektrowni, spalających paliwa kopalne, na środowisko naturalne jest przerażający. W Tabeli 2 przedstawiono, dla wybranych krajów świata, moc zainstalowaną według kategorii stosowanych źródeł pierwotnych energii. W Tabeli 3 podano takie dane dla całego globu. Około 1,6 miliardów ludzi – jedna czwarta populacji świata – nie ma w ogóle dostępu do elektryczności, 80% z nich żyje w Indiach i w Afryce subsaharyjskiej. W ostatnim z tych regionów zaczyna też brakować drewna na opał.

## 4. EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH I PYŁÓW

Dwutlenek węgla jest emitowanym w największych ilościach antropogennym gazem cieplarnianym, jego emisja od roku 1971 wzrosła o ok. 68%. Przewidywany w skali światowej wzrost emisji dwutlenku węgla, związany z wytwarzaniem energii, wyniesie 55% w przedziale czasowym między rokiem 2004 a 2030, co daje ok. 1,7% wzrostu rocznie, jak podaje scenariusz przyjęty przez IEA [2]. Emisja tego gazu wyniesie 40 gigaton w roku 2030, co daje wzrost rzędu 13 - 14 Gt ponad poziom emisji roku 2004 (Tabela 3). Energetyka która jest obecnie odpowiedzialna za około 40 - 50 % emisji całkowitej, będzie miała 50% udziału w tym wzroście (ca. 7 Gt). Emisja dwutlenku węgla ze środków transportu będzie odpowiedzialna za 25% tego wzrostu a sektory komunalny, handel i przemysł za pozostały przyrost. Nieco inaczej od trendów obserwowanych w ostatnim ćwierćwieczu, emisje będą rosły nieco szybciej (o 69%), niż popyt na pierwotne źródła energii (wzrost o 66%) co jest związane ze wzrostem zawartości węgla w surowcach energetycznych w stosunku do zawartości wodoru. Udział emisji ze spalania węgla wynosi ok. 40% począwszy od lat wczesnych siedemdziesiątych, podczas gdy udział emisji ze spalania gazu wzrósł z 14% w 1973 do 20% w 2001, a ze spalania pochodnych ropy naftowej zmalał z 51% do 42%.

Stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wzrosło od czasów epoki przed przemysłowej z 280 ppm do 379 ppm w roku 2005 i stężenie to przekracza stężenie naturalne obserwowane podczas ostatnich 650 000 lat (wahało się ono w zakresie od 180 do 300 ppm), jak wykazały badania odwiertów lodowcowych. Roczny przyrost stężenia dwutlenku węgla w okresie ostatnich 10 lat był większy (średnia 1995 - 2005: 1,9 ppm rocznie), od obserwowanego od chwili rozpoczęcia stałego monitoring jego stężenia w atmosferze (1960 - 2005: 1,4 ppm rocznie), chociaż należy zaznaczyć, że wartość przyrostu mierzona w różnych latach waha się w pewnym stopniu [3].

Inne zanieczyszczenia gazowe  $SO_2$  i  $NO_x$ , odpowiedzialne za występowanie kwaśnych deszczy w Europie, Chinach i Ameryce Północnej, głównie emitowane są podczas spalania węgla i ciężkich frakcji ropy naftowej. Dane dla wybranych krajów są podane w Tabelach 4 i 5. Problem ten dotyczy głównie takich krajów jak Polska, w której węgiel pozostaje głównym paliwem dla produkcji elektryczności i energii cieplnej.

Aktualnie rozpoznany problemem, jest emisja cząstek pyłu o wymiarach mniejszych od 2,5 mikrona, tzw. PM 2.5. Duże stężenie tych pyłów w powietrzu wdychanym przez człowieka, prowadzi do przykrych efektów zdrowotnych. W niektórych regionach Europy, np. na Śląsku, średni czas życia mieszkańców jest o kilka miesięcy krótszy od czasu życia przewidywanego dla mieszkańców żyjących w strefach czystych.

Przy spalaniu węgla emitowane są również pewne ilości rtęci. W Stanach Zjednoczonych elektrownie opalane węglem emitują jedną trzecią rtęci emitowanej ze źródeł antropogennych (48 ton) [4]. W całym świecie w roku 1995, emisja rtęci zarówno ze źródeł antropogennych, jak i naturalnych wyniosła ok. 5 500 ton. Obawy dotyczące tej emisji są związane z faktem, że związki rtęci łatwo wbudowują się w łańcuch pokarmowy człowieka.

W końcu, nowym problemem związanym ze spalaniem paliw jest emisja lotnych zanieczyszczeń organicznych w tym wielopierścieniowych związków organicznych. Lista 18 związków o możliwych działaniach kancerogennych została ogłoszona przez EPA i WHO [5].

Emisja zanieczyszczeń gazowych powoduje znaczne straty ekonomiczne, wg danych niemieckich wynosiły one dla każdej wyemitowanej tony  $SO_2$ ,  $NO_x$  i  $PM_{2.5}$  odpowiednio 6000; 5000; 13000 USD (w cenach roku 1990). Straty EU-15 (1990) związane z efektem cieplarnianym wyniosły  $4,6 \times 10^9$  -  $1,7 \times 10^{11}$  USD. W Holandii liczba zgonów powodowanych przez  $PM_{10}$  jest większa od będącej wynikiem wypadków samochodowych [6]. Mapa opublikowana przez EU [7] przedstawia regiony w których przewidywany czas życia jest krótszy o 12 miesięcy w związku z dużymi stężeniami  $PM_{2.5}$ . To są ciche Czarnobyle, które spowodowały utratę większej liczby istnień ludzkich niż ta tragiczna w skutkach katastrofa roku 1986.

## 5. TECHNOLOGIE OCZUSZCZANIA SPALIN

Usuwanie  $SO_2$ ,  $NO_x$  i odpylanie, lotnych zanieczyszczeń organicznych i Hg, a wreszcie sekwestracja  $CO_2$  wymagają stosowania różnych, skomplikowanych i kosztownych technologii. Odsiarczanie i odazotowanie spalin opiera się głównie na metodach mokrych wapiennych (FGD) i redukcji katalitycznej (SCR). Jednakże rozwijane są nowe zaawansowane technologie [8] Oceniane koszty ograniczenia emisji  $NO_x$  w Europie są trzy razy większe od kosztów ograniczenia emisji  $SO_2$ . Sumaryczne koszty usuwania tych obu zanieczyszczeń wynoszą rocznie od 1 do 2% obecnego GDP [9].

Schemat sekwestracji CO<sub>2</sub> obejmuje trzy zasadnicze stadia: wychwycenie CO<sub>2</sub> emitowanego ze źródła wraz z jego oczyszczeniem, osuszeniem i sprężeniem, jego transport do miejsca magazynowania, wpompowania CO<sub>2</sub> w geologiczny zbiornik składowania. Typowy koszt wychwycenia CO<sub>2</sub> z gazów spalinowych elektrowni (przy użyciu najlepiej opanowanej technologii polegającej na absorpcji gazu w roztworze amin) wynosi ok. 40–60 Euro/t [10].

Technologie związane z usuwaniem rtęci polegają głównie na zastosowaniu sorbentów. Z kolei lotne zanieczyszczenia organiczne są emitowane w bardzo małych stężeniach i nie istnieją jeszcze metody ciągłego monitoringu on line. Niezbędne jest stosowanie żmudnych metod polegających na poborze próbek, zateżaniu zanieczyszczeń i analizie opartej o metodę GC/MS [11]. Dlatego też w praktyce ograniczenia dotyczą głównie emisji dioksan ze spalarni śmieci..

#### 6. UDOKUMENTOWANE ZASOBY PALIW KOPALNYCH

Wiemy, że zasoby paliw kopalnych są ograniczone [12]. Oceniane zasoby ropy naftowej na dzień 1 stycznia 1997 wynosiły 1018,5-1160,1 miliardów baryłek ( $7,1 \times 10^{21}$  J). Średnia konsumpcja roku 1998 wynosiła 74,9 milionów baryłek dziennie ( $457 \times 10^{15}$  J/dobę,  $167 \times 10^{18}$  J/a). Oceniany okres do pełnego wyczerpania zasobów wynosił 42,5 roku. Oceniane zasoby ropy naftowej na dzień 1 stycznia 1999 wynosiły 967,5-1033,2 miliardów baryłek. Średnia konsumpcja roku 1998 to 73 643 milionów baryłek dziennie. Okres wyczerpania zasobów 38,4 roku. Oceniane zasoby gazu ziemnego na dzień 1 stycznia 1997 wynosiły 140 - 146 trylionów m<sup>3</sup> ( $5,37 \times 10^{21}$  J) Konsumpcja roku 1996 wyniosła 81,9 x 1018 J. Zasoby miały starczyć na 65,5 roku. Od tego czasu sytuacja nie zmieniła się wiele i jeszcze w tym wieku zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego zostaną całkowicie wyczerpane (Tabela 7). Ponad 68% zasobów ropy naftowej i 67% zasobów gazu naturalnego znajduje się w rejonie Bliskiego Wschodu i w Rosji.

Złóża węgla kamiennego istnieją niemalże w każdym kraju, ich eksploatacja jest możliwa w 70 krajach (Tabela 8) [13]. Przy obecnym poziomie wydobycia zasoby węgla wystarczą na 155 lat.

#### 7. ASPEKT OCHRONY ZASOBÓW SUROWCOWYCH

Z punktu widzenia nauki i techniki spalanie gazu oraz pochodnych ropy naftowej w dużych kotłach energetycznych jest szkodliwe społecznie. Proceder ten powinien być zakazany prawnie. Kopalne węglowodory są głównymi surowcami dla przemysłu chemicznego i petrochemicznego ( produkcja tworzyw sztucznych, nawozów sztucznych), ponadto stanowią one materiały napędowe dla środków transportu i są podstawowym źródłem ciepła dla gospodarstw domowych. Teoria maksimum Hubberta mówi, że dla danego regionu, dla zasobów od pojedynczego otworu do całości zasobów globalnych, wykres wydajności produkcji ropy w czasie ma kształt dzwonu. Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) przewiduje , że maksimum tego wykresu zostanie osiągnięte w roku 2010 [14]. Charakterystyczne, że politycy o ile podnoszą sprawę kryzysu energetycznego, zupełnie zapominają o powiązanim z nim kryzysem surowcowym [15].

#### 8. ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Wielkie oczekiwania wiązała ludzkość z wprowadzeniem odnawialnych źródeł energii, niestety ich rozwój jest wolniejszy od przewidywanego. Pewne ograniczenia ich stosowania podaje tabela 9. Rzeczywistą rolę w tej dziedzinie odegra energia wodna i produkcja biomasy. W niektórych krajach jednak energia potencjalna rzek została już wykorzystana w 100 %. Dlatego też globalny udział odnawialnych źródeł energii (łącznie z hydroenergetyką) w ogólnym bilansie energetycznym świata wynosi ok. 6 %.

A zatem pozostaje wykorzystanie biomasy, której produkcja musi jednakże uwzględnić pewne ograniczenia i wpływ zużycia pewnych produktów roślinnych na ceny żywności. Dotyczy to głównie produkcji paliw płynnych. Ceny oleju rzepakowego w EU wzrosły w ciągu ostatnich pięciu lat dwukrotnie, to powoduje konflikt między producentami żywności a producentami bioenergii. Pierwsi z nich oskarżają rządy EU , że poprzez politykę akcyzową promują produkcję biopaliw [16]. Problem zrównoważonego rozwoju przemysłu biopaliw przedstawia ostatni raport wydany przez ONZ [17]. Poza zwykłym spalaniem biomasy, takiej jak słoma czy zrębki drewna, można z biosurowców wytwarzać bardziej szlachetne nośniki energii, takie jak biogaz, bioetanol, biobutanol, biodiesel, używać jako biopaliwo oleje roślinne , czy też wytwarzać gaz drzewny. Bioetanol jest dodatkiem do paliwa w wielu krajach, w Brazylii wymagane jest aby silniki samochodowe mogły spalać mieszankę zawierająca do 25% etanolu, a w niektórych stanach USA do 10%. Trzeba pamiętać jednak, że ciepło spalania etanolu (19,6 MJ/L) jest o 34 % mniejsze od ciepła spalania benzyny (32 MJ/L). Wyższą wartość ciepła spalania ma biodiesel (33 MJ/L), ale też będącą o 9 % niższą od ciepła spalania

normalnego paliwa do silników diesla, produkowanego z ropy naftowej. Rynek biopaliw zaczyna się rozwijać i w Polsce [18]. Ważne jest, że do technologii biopaliw mogą mieć dostęp kraje o różnym stopniu rozwoju, a koszty inwestycyjne nie są wysokie [19].

## 9. ENERGETYKA JĄDROWA

Energetyka jądrowa, sprawdzona technologia dla bazowej produkcji energii elektrycznej, zaczyna odgrywać z powrotem bardzo ważną rolę. Dalszy jej rozwój zależy od akceptacji społecznej i poparcia rządowego. Polska będzie uczestniczyła w budowie elektrowni jądrowej na Litwie i rozważa budowę własnej elektrowni. Brak energetyki jądrowej w Polsce jest tragicznym skutkiem zatrzymania budowy EJ w Żarnowcu, mimo dużego stopnia jej zaawansowania. podobny reaktor został zbudowany w Paks na Węgrzech i pracuje do dnia dzisiejszego.

Nowa elektrownia jądrowa może produkować energię za cenę mniejszą od 5 centów US za kWh, jeśli koszty budowy i eksploatacji są dobrze zaplanowane i utrzymane przez inwestora. Przy tej cenie będzie ona tańsza od produkowanej w elektrowni gazowej (\$ 4,70 na MBtu) i dalej droższa od produkowanej w elektrowni węglowej (przy cenie węgla \$ 70 za tonę). Będzie jednak tańsza od produkowanej w elektrowni węglowej, jeśli zostaną wprowadzone opłaty za emisję CO<sub>2</sub>. Przewiduje się, że moc zainstalowana w elektrowniach jądrowych w świecie wzrośnie z 348 GW w roku 1995 do 378 GW w roku 2020 i 416 GW w roku 2030. Jednakże w ogólnym bilansie udział energetyki jądrowej zmaleje z uwagi na fakt, że co prawda zostaną wybudowane nowe reaktory, ale szereg starszych zostanie zamkniętych. Koszty inwestycyjne w przypadku EJ są bardzo wysokie, budowa reaktora kosztuje od 2 do 3,5 miliardów USD. Z drugiej strony koszty produkcji są niższe z uwagi na niższe ceny paliwa. Ponadto zasoby uranu są duże i szeroko rozprzestrzenione w świecie. W przypadku zastosowania reaktorów powielających, starczy go na więcej niż 1000 lat. A zatem jeśli zostaną rozwiązane zagadnienia związane z bezpieczeństwem pracy reaktora, składowaniem odpadów i ryzykiem profiliracji, energetyka jądrowa stanie się znaczącym źródłem energii [2].

## 9. PODSUMOWANIE

Spółeczeństwa, politycy i przemysł powinien traktować problematykę dotyczącą bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska bardzo poważnie. Przemysłowy i cywilizacyjny rozwój świata doprowadził do wielkiej degradacji środowiska naturalnego, wyczerpania zasobów naturalnych i pogorszenia zdrowia ludności, mimo wydłużenia czasu życia człowieka, będącego wynikiem rozwoju medycyny oraz pokoju światowego panującego przez ostatnie półwiecze.

Zasoby ropy naftowej i gazu zostaną wyczerpane w ciągu następnych 60 lat. Przyszłe pokolenia będą produkowały węglowodory z CO<sub>2</sub> i wody, powstałych ze spalania węglowodorów kopalnych. J jest to tak szalony scenariusz, że mógł go napisać tylko człowiek.

Zgodnie z raportem IPCC, która to organizacja otrzymała nagrodę Nobla w roku 2007, populacja globu osiągnie rekordową liczbę 8,7 miliarda w połowie wieku XXI, aby następnie zmaleć do 7,1 miliarda po roku 2100. Czy będzie to kara, czy nagroda za działania naszego pokolenia?

## 11. LITERATURA

1. Chmielewski A. G., Environmental effects of fossil fuel combustion, in Environmental and Ecological Sciences, Engineering and Technology Resources, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK, 2004, [<http://www.eolss.net>].
2. International Energy Agency, World Energy Outlook 2006, <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/table12.html>
3. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO/UNEP
4. [http://www.fossil.energy.gov/programs/powersystems/pollutioncontrols/overview\\_mercurycontrols.html](http://www.fossil.energy.gov/programs/powersystems/pollutioncontrols/overview_mercurycontrols.html)
5. Stephen H., Safe, Hazard and Risk Assessment of Chemical Mixtures Using the Toxic Equivalency, Environ.Health.Perspect., 1998, 106 (suppl.4), 1051 – 1058.
6. Brunkreef B.; Holgate S.T. Air pollution and health, The Lancet, 2002, 360 (9341), 1233-1242
7. [http://ec.europa.eu/environment/news/efe/20/article\\_2434\\_pl.htm](http://ec.europa.eu/environment/news/efe/20/article_2434_pl.htm)

8. Chmielewski A.G., Application of ionizing radiation to environment protection. , Nukleonika, 2005, 50, Suppl. 3, s17-s24 .
9. Van Harmelen T., Bakker J., De Vries B., Van Vuuren D, Elzen M., Mayerhofer P. , Long-term reductions in costs of controlling regional air pollution in Europe due to climate policy, Environmental Science & Policy 2002, 5, 349–365
10. Damen K., Faaij A., van Bergen F., Gale J., Lysen E., Identification of early opportunities for CO<sub>2</sub> sequestration—worldwide screening for CO<sub>2</sub> -EOR and CO<sub>2</sub> -ECBM projects, Energy, 2005, 30(10), pp.1931-1952
11. Chmielewski A.G., Ostapczuk A., Licki J., Kubica K., Emisja lotnych związków organicznych z kotła energetycznego opalanego pyłem węglowym (Emission of volatile organic compounds (VOCs) from a coal-fired power station boiler). Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 2003, 37, pp. 142-147.
12. Oil and Natural Gas Proven Reserves, Energy Information Administration, January 9, 2007
13. Coal Facts 2006 Edition with 2005 data, [www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)
14. Association for the Study of Peak Oil and Gas, IV Workshop on Oil and Gas Depletion, 19-20 May 2005, Lisbon, Portugal
15. Swieboda P., The EU's Strategic Challenge Shaping the External Dimension of Energy Policy, demos EUROPA, Warsaw, 2006
16. El Amin A., Food industry calls for a more balanced biofuel policy, FoodProductionDaily.com., 05 Feb 2007
17. Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers, UN Energy, April 2007
18. Krajowa Izba Biopaliw, [www.kib.pl](http://www.kib.pl)
19. Society of Chemical Industry, Global Biopact on Biofuels can Bring Benefits to Both Rich and Poor Nations, February 20, 2008, <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080220091427.htm>

PODZIĘKOWANIE. Ta praca została wykonana w ramach projektu PBZ-MEiN-3/2/2006

“Inżynieria procesów ograniczania emisji oraz utylizacji gazów szkodliwych i cieplarnianych”.

TABELA 1. Światowe zapotrzebowanie na pierwotne źródła energii. (Miliony ton ekwiwalentu olejowego)

	<b>1971</b>	<b>2002</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>
Węgiel	1 407	2 389	2 763	3 193	3 601
Ropa naftowa	2 413	3 676	4 308	5 074	5 766
Gaz	892	2 190	2 703	3 451	4 130
EJ	29	692	778	776	764
Hydro	104	224	276	321	365
Biomasa i	687	1 119	1 264	1 428	1 605

odpady					
Inne odnawialne	4	55	101	162	256
Razem	5 536	10 345	12 194	14 404	16 487

TABELA 2. Produkcja energii elektrycznej [GWh] w wybranych krajach wg International Energy Agency

Country	USA	D	F	PL	ChRL	InD	IrAN	SAU
Węgiel	2082782	314209	29744	142592	1514897	432799	0	0
Ropa naftowa	137560	4712	8673	2456	57417	29084	24415	82021
Gaz	670191	58505	17143	2425	5575	72802	117056	70979
Biomasa	46029	4468	1760	454	2472	1877	0	0
Odpady	24644	8884	3285	286	0	0	0	0
EJ	787818	165060	441070	0	43342	17780	0	0
Hydro	305724	24440	64338	3294	283681	75339	11098	0
Geotermia	14870	0	0	0	0	0	0	0
Słoneczna Volt	2	333	8	0	0	4	0	0
Słoneczna ciepła	548	0	0	0	0	0	0	0
Inne źródła	11300	18859	881	124	0	3590	0	0
Razem	4081468	599470	566902	151631	1907384	633275	152569	153000

TABELA 3. Moc zainstalowana z podziałem na źródła produkcji energii elektrycznej.

Paliwo	Moc (GW)		
	Zainstalowana w 1995	Ocena dla roku 2020	Wzrost netto
Węgiel	870	1836	966
Gaz	435	1296	861
Ropa naftowa	435	648	213
Hydro	667	1026	359
EJ	348	378	30
Inne	145	216	71
Razem	2900	5400	2500

TABELA 4. Światowa emisja dwutlenku węgla z energetyki.

	1980	1990	2000	2004	2030
(Miliardy Ton)	18 333,26	21 426,12	23 851,46	27 043,57	40 000

TABELA 5. Emisja SO<sub>2</sub> w roku 2003, w wybranych krajach.

Kraj	SO <sub>2</sub> [1000 t]	Kraj	SO <sub>2</sub> [1000 t]
------	--------------------------	------	--------------------------

USA	10646	Polska	1564
Niemcy	616	Turcja	1346
Francja	492	EU-15	5420

TABELA 6. Emisja NO<sub>x</sub> w roku 2003, w wybranych krajach

Kraj	NO <sub>x</sub> [1000 t]	Kraj	NO <sub>x</sub> [1000 t]
USA	4532	Polska	1220
Niemcy	1428	Turcja	951
Francja	805	EU-15	9269

TABELA 7. Udokumentowane zapasy ropy naftowej i gazu.

Rok		1997	1998	2005	2006	2007
Ropa naftowa	Miliardy baryłek	1,018 - 1,160	967 - 1033	1,119 - 1,201		1,317
Gaz	Tryliony, m <sup>3</sup>	140 - 146		176 - 180	181	175

TABELA 8. Możliwe do eksploatacji zasoby węgla kopalnego .

	Antracyt i bitumen	Węgiel brunatny	Razem
Miliony Ton	479781	425155	904936

TABELA 9 Obecny status odnawialnych źródeł energii i EJ

	Ogniwa fotowoltaiczne	Energia wiatrowa	EJ
Wymagany obszar pod budowę	20 m <sup>2</sup> /kW 130 km <sup>2</sup> /1000 MW	500 m <sup>2</sup> dla dwu jednostek 250 kW (wysokość 30 m, średnica śmigła 28 m)	0.4 km <sup>2</sup> /1000MW
Roczne wykorzystanie mocy zainstalowanej	ca.12% brak generacji w nocy	20 – 25% Prędkość wiatru > 6 m/s	ca.80%