

Wojciech Suwała\*

## Długoterminowe perspektywy rozwoju energetyki w skali globalnej

**Long-term prospects for global energy sector:** The paper discusses the issues related to the future of global energy. It begins with a brief methodological introduction to energy forecasts construction. In the next sections the author analyses major factors affecting long-term fuels and energy sectors development. The article also draws on the analyses carried out by the European Commission, International Energy Agency as well as commercial companies such as Shell. Their reports on the future of fuels and energy sectors are discussed from the point of the main development directions and their effects on the economies.

\* Dr hab. inż., pracownik Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Wydział Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej, e-mail: suwala@meeri.pl.

---

### Wstęp

Na obecnym poziomie rozwoju gospodarczego i politycznego świata poszczególne kraje stają się elementami globalnej gospodarki i praktycznie nie mogą prowadzić niezależnej polityki energetycznej. Jest ona uwarunkowana wieloma czynnikami. Do najważniejszych z nich należą: dostępność energii pierwotnej, ceny nośników energii na rynkach światowych, poziom rozwoju technologii i wreszcie obecnie podstawowa determinanta rozwoju energetyki – polityka ekologiczna.

Zmiany klimatu stały się pierwszym problemem środowiskowym natury globalnej. Powszechność emisji gazów cieplarnianych, rozwój gospodarczy Chin i Indii stworzyły nowe perspektywy nie tylko gospodarcze i polityczne, ale przede wszystkim środowiskowe. Rozwinięte kraje OECD, będące dotychczas głównymi źródłami emisji dwutlenku węgla, w nieda-

lekiej przyszłości zostaną „pokonane” przez wspomniane kraje azjatyckie. Nie można przy tym oczekiwać, że kraje te ograniczą własny rozwój, nie tyle gospodarczy, co cywilizacyjny, dla zapobieżenia globalnym skutkom zmian klimatu. Wysiłek musi być tutaj wspólny, a zakres i skutki podjętych działań muszą być ocenione, zanim podejmie się odpowiednie decyzje.

Polityka energetyczna w skali globalnej dopiero się rodzi, praktycznie poprzez elementy polityki ekologicznej. Protokół z Kioto<sup>1</sup> i wcześniejsze umowy międzynarodowe o ograniczeniu emisji wpływają bardziej na kierunki rozwoju energetyki niż innych sektorów. Wszystkie tego typu porozumienia są wcześniej, mniej lub bardziej szczegółowo, badane pod względem wpływu na rozwój gospodarczy świata i skutków dla poszczególnych krajów. Poza tymi pracami poświęconymi tak określone mu celowi, organizacje międzynarodowe, a nawet rządy państw prowadzą regularne oceny perspektyw rozwoju energetyki. Ich celem jest analiza przebiegu pewnych obiektywnych procesów gospodarczych oraz ustalenie racjonalnej struktury systemu paliwowo-energetycznego, która spełni wymagania określone poziomem popytu na energię i ograniczeniami środowiskowymi. Prognozy i analizy perspektyw długoterminowych są jednak obciążone pewnymi błędami wynikającymi z niedostatecznej znajomości funkcjonowania procesów gospodarczych oraz nieprzewidywalnych czynników politycznych czy losowych. Badania tego typu są najczęściej projekcją czy ekstrapolacją obecnych poglądów na funkcjonowanie systemów gospodarczych. Znaczenia tych badań nie da się przecenić, zmniejszając one znacząco ryzyko w podejmowaniu decyzji długoterminowych i w ocenie perspektyw rozwojowych gospodarek świata.

Celem poniższego artykułu jest przybliżenie metod tworzenia długoterminowych scenariuszy zmian w systemie paliwowo-energetycznym oraz omówienie najnowszych opracowań w tej dziedzinie przygotowanych przez wiodące ośrodki prognostyczne. Przedstawiony przegląd raportów dotyczących długoterminowych perspektyw energetyki stanowi dobre tło do rozważań o przemianach, w które wpisać się musi także polska polityka energetyczna.

---

<sup>1</sup> Protokół z Kioto – uzupełnienie Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) i jednocześnie międzynarodowe porozumienie dotyczące przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Został wynegocjowany na konferencji w Kioto w grudniu 1997 r. Wszedł w życie 16 lutego 2005 r. Kraje uprzemysłowione, które ratyfikowały ten dokument, zobowiązały się do redukcji ogólnej emisji gazów powodujących efekt cieplarniany o 5,2% do roku 2012 w porównaniu z rokiem 1990.

## Metody badania długoterminowych perspektyw systemu paliwowo-energetycznego

Badanie perspektyw systemu paliwowo-energetycznego ma na celu oszacowanie ścieżek jego rozwoju lub określenie jego przyszłego stanu dla warunków zdeterminowanych wymogami ekonomicznymi i ograniczeniami zasobowymi i środowiskowymi. Stosowane są odpowiednie procedury i metody, których wybór zależy od celu badań. Oszacowanie ilościowe, w sensie prognoz wartości zmiennych charakteryzujących rozwój i stan systemu, wymaga stosowania metod modelowania lub budowania scenariuszy. Jeśli natomiast celem są perspektywy natury jakościowej, a więc ogólne kierunki rozwoju i zmiany o charakterze niemierzalnym, stosuje się metodę scenariuszową i *foresight*. Ta ostatnia metoda jest szczególnie predestynowana do oceny perspektyw o charakterze jakościowym, np. zmian technologicznych.

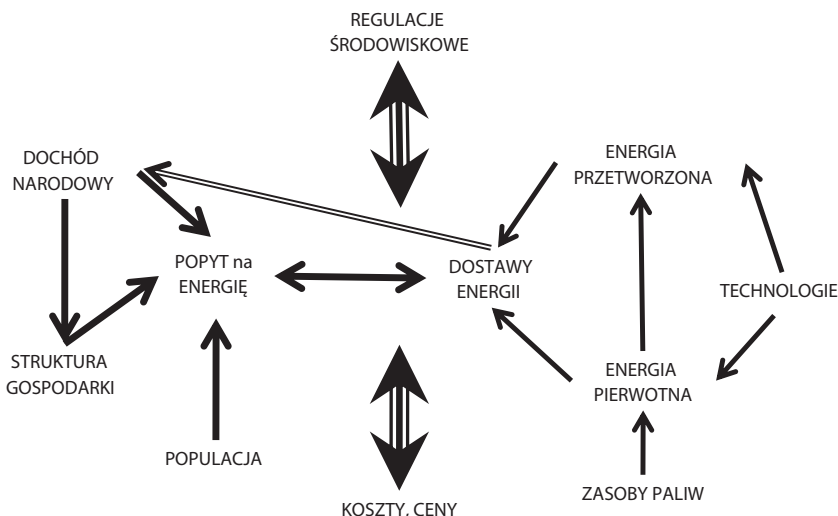
### Modelowanie

Modelowanie systemów paliwowo-energetycznych to jeden z najbardziej rozwiniętych kierunków w badaniach perspektyw rozwoju gospodarczego. Energetyka jest praktycznie jedynym sektorem gospodarczym o tak silnie rozwiniętych badaniach modelowych. Intensywność badań wynika z roli energii w rozwoju gospodarczym oraz z wzajemnych uzależnień dostaw i popytu na energię.

Współzależności gospodarki i systemu paliwowo-energetycznego są w większości badań ujmowane w sposób pokazany na wykresie 1.

O popycie na energię decydują trzy główne czynniki: poziom dochodu narodowego, struktura gospodarki i populacja. Wielkość dochodu i populacji oddziałują na poziom popytu wprost proporcjonalnie. Im większy dochód, tym większe zużycie energii. Populacja wpływa podobnie. Ta prosta relacja korygowana jest przez zmiany strukturalne zachodzące w obrębie gospodarki. Struktura gospodarcza zmienia się wraz z poziomem dochodu. We wczesnych okresach rozwoju dominuje rolnictwo, potem zwiększa się udział przemysłu, w przypadku gospodarek o wysokim dochodzie rośnie rola usług. Oznacza to relatywne zmniejszanie popytu na energię. Rolnictwo, a w większym stopniu przemysł charakteryzują się wysokim współczynnikiem zużycia energii na jednostkę wytworzonego dochodu, usługi wprost przeciwnie. W wyniku tego mechanizmu przy wzroście dochodu narodowego (wyrażonego *per capita*) maleje intensywność energetyczna gospodarki, czyli jednostkowe zużycie energii na jego wytworzenie.

**Wykres 1. Ogólny schemat współzależności systemów gospodarczego i paliwowo-energetycznego**



Popyt na energię musi być zbilansowany odpowiednimi dostawami zarówno energii pierwotnej, jak i końcowej. Pochodzą one bezpośrednio z kopalń eksploatujących zasoby paliw kopalnych, energii odnawialnej i jądrowej oraz z transformacji paliw na energię przetworzoną. W procesach tych główną rolę odgrywają technologie, których dobór jest jednym z ważniejszych problemów rozwoju energetyki. To zagadnienie, połączone z wyborem paliw, jest podstawowym zadaniem modeli rozwoju systemów paliwowo-energetycznych. Najczęściej głównymi kryteriami doboru paliw są minimalizacja kosztów dostaw lub bilansowanie rynków energii. Warunkami determinującymi dobór technologii są ich parametry ekonomiczne i charakterystyki emisyjne. Obecnie właśnie regulacje dotyczące emisji określają kierunki zmian w energetyce. Nowe technologie, np. tzw. czystego węgla, cechuje wyższa sprawność przemian energetycznych, a zatem niższe emisje. Większy udział surowców odnawialnych czy elektrowni jądrowych również przyczynia się do obniżenia emisji. Istotnym czynnikiem jest także popyt na energię. Konieczność redukcji emisji zwiększa ceny energii, a to wpływa na zmniejszenie zużycia energii, prowadząc również do zmniejszenia emisji. Oszacowanie skali tych zjawisk odbywa się za pomocą modeli. Inne metody nie pozwalają na jednoczesne rozważanie wszystkich ważnych czynników, ponadto nie dają oszacowań ilościowych.

Można wyróżnić trzy podstawowe metody modelowania:

- ▶ ekonometryczna, najstarsza metoda bazująca na statystycznej analizie danych historycznych i budowie modeli opisujących procesy ekonomiczne przede wszystkim dla celów prognostycznych,
- ▶ optymalizacyjna, najczęściej wykorzystująca metody programowania matematycznego dla ustalenia optymalnej struktury systemu w sensie zdolności produkcyjnych technologii, przepływu dóbr,
- ▶ symulacyjna, w której system jest odzwierciedlany za pomocą zbioru formuł opisujących pojedyncze, wzajemnie powiązane procesy, a prognoza jego rozwoju jest wyliczana jako wynik współdziałania tych procesów w czasie.

Modele systemów paliwowo-energetycznych wykorzystują przede wszystkim drugą z metod, choć trzecia jest obecnie coraz częściej stosowana. Programowanie matematyczne ma ograniczone możliwości odzwierciedlenia relacji o złożonym charakterze, tego ograniczenia nie ma symulacja, np. dynamika systemowa. Ta metoda nie dysponuje jednak narzędziami optymalizacji struktur systemów. Ostatnio próbuje się połączenia tych metod. Wyniki wskazują na zalety takich modeli, jednak brak odpowiedniego oprogramowania powstrzymuje ich rozwój.

Najważniejsze modele wykorzystywane do prognoz w skali regionalnej i globalnej to:

- ▶ World Energy Projections Plus (WEPS+) – model używany przez amerykański Departament Energetyki do przygotowania raportu *International Energy Outlook*.
- ▶ POLES – model opracowany w projektach Komisji Europejskiej i służący do prognoz globalnych, został zastosowany do projektów World Energy Technology Outlook 2030 – WETO 2030 i WETO H<sub>2</sub>,
- ▶ PRIMES – model opracowany w Państwowej Politechnice w Atenach i używany przez Komisję Europejską jako podstawowy model dla oceny skutków regulacji energetycznych i ekologicznych,
- ▶ WEM – World Energy Model używany przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (MAE, ang. IEA) do przygotowania publikacji *World Energy Outlook*.

Prognozy przygotowywane za pomocą wspomnianych modeli sprawdzają się rzadko, co może być do pewnego stopnia szokujące, lecz tak naprawdę ich zadaniem nie jest najczęściej prognozowanie, a raczej ustalenie działań, jakie należy podjąć dla osiągnięcia określonych celów, np. redukcji emisji do założonego poziomu przy spełnieniu warunku zbilansowania dostaw energii.

Można tu przywołać przykład słynnego raportu *Granice wzrostu*<sup>2</sup> z początku lat 70. Zastosowany w nim model opracowany metodą symulacji prognozował, że wskutek zanieczyszczenia środowiska, wzrostu populacji, wyczerpania zasobów, koniec cywilizacji nastąpi u schyłku XX wieku. Prognoza oczywiście nie sprawdziła się, ale jako tzw. raport dla Klubu Rzymskiego opracowanie to spowodowało intensyfikację działań rządów w zakresie ochrony środowiska i poprawy efektywności procesów technologicznych, przyczyniając się do skierowania rozwoju świata na tory rozwoju zrównoważonego.

Istotną przeszkodą w modelowaniu może być brak narzędzi komputerowych, algorytmów czy mocy obliczeniowych koniecznych dla przeprowadzenia odpowiednich obliczeń. Krążyły kiedyś anegdoty o bardzo dobrym modelu meteorologicznym, za pomocą którego prognozę na następny dzień obliczano trzy dni. Inny model miał ustalić optymalną dietę żołnierza – wynik uzyskany według tego modelu przewidywał spożycie 17 kg ziemniaków. Ta anegdota ilustruje problem niewłaściwej konstrukcji modelu. Tu wina leży po stronie zespołu budującego i wykorzystującego model. Ten ostatni błąd jest łatwy do naprawienia, jeśli jego skutki są łatwo rozpoznawalne. Niestety, czasem błędy są na tyle subtelne, że trudno je zidentyfikować. Każdy model przed jego wykorzystaniem poddawany jest procedurze weryfikacji, która ma za zadanie wykryć ewentualne wady i określić jego zdolności prognostyczne (w sensie błędów prognoz) czy znalezienia optymalnej struktury systemu.

Przyczyny rozmijania się wyliczeń, nawet najbardziej skomplikowanych modeli z rzeczywistymi wartościami zmiennych, są złożone, a do najważniejszych należą:

- ▶ brak teorii opisujących modelowane procesy, m.in. powiązania ze złożonymi rynkami energii i innych dóbr,
- ▶ brak lub błędne oszacowanie parametrów relacji charakteryzujących modelowane procesy,
- ▶ subiektywne czynniki w wyborach dokonywanych przez decydentów, podczas gdy modele zakładają wybory perfekcyjnie racjonalne,
- ▶ brak oprogramowania pozwalającego uzyskać wyniki w racjonalnym czasie,
- ▶ budowanie modeli dla określonego horyzontu czasowego, które odzwierciedlają odpowiednie procesy, dlatego w modelach średnio- i długoterminowych nie ma zjawisk o charakterze krótkoterminowym, powodujących odchylenia od wartości oczekiwanych w długim terminie,

---

<sup>2</sup> D. Meadows i in., *Granice wzrostu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1973.

- ▶ czynniki losowe w procesach gospodarczych,
- ▶ błędy popełniane w formułowaniu modeli.

Mimo tych zagrożeń modele pozwalają na oszacowanie skutków określonych działań, porównywanie różnych wariantów regulacji czy wybór racjonalnych działań i ich zakresu. Wyniki są najbardziej wiarygodne, jeśli potraktować je jako względną miarę pewnych oddziaływań, przy zachowaniu stałych innych warunków. Porównanie wyników dla dwu różniących się scenariuszy jest oszacowaniem oddziaływania parametrów różniących te właśnie scenariusze. Jeśli przeprowadzić obliczenia dla scenariusza bez pewnej regulacji oraz dla drugiego z uwzględnieniem tej regulacji, to, porównując wyniki, można określić względne zmiany wywołane tą regulacją, np. procentowy spadek poziomu emisji czy procentowy wzrost ceny energii. Takie informacje są niezmiernie istotne dla podjęcia decyzji o wprowadzeniu regulacji.

Wyniki modeli są danymi ilościowymi, a więc najbardziej pożądanymi, i jeśli nawet są obciążone pewnymi błędami, to wskazują na skalę przyszłych procesów i stanów systemu, co pozwala na względne oceny działań. Dlatego są najczęściej stosowanymi narzędziami w analizie perspektyw rozwoju gospodarek i energetyki. Również w Polsce do prognozowania rozwoju energetyki wykorzystuje się badania za pomocą modeli ENPEP<sup>3</sup>. Jednak są to modele skonstruowane w latach 80. i odbiegają strukturą i możliwościami od bardziej zaawansowanych modeli stosowanych obecnie w innych krajach.

### **Foresight**

Omówione powyżej metody modelowania nie są przydatne wtedy, gdy dominującą rolę w procesach zmian odgrywają czynniki o naturze jakościowej. Nie można ich opisać liczbowo, nieznane są dokładnie mechanizmy, jakie je determinują. Przykładem jest rozwój społeczny, kulturowy i cywilizacyjny. W obszarze energetyki są to głównie badania procesów innowacyjnych i rozwoju nowych technologii, nawet takich, jakie pozostają w danym momencie na etapie badań laboratoryjnych. Metoda *foresight* jest

---

<sup>3</sup> Prace te dla potrzeb rządu prowadzi Agencja Rynku Energii SA, najczęściej dla przygotowania dokumentów założeń polityki energetycznej. Dla potrzeb innych zainteresowanych – EnergSys sp. z o.o., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN oraz Wydział Energetyki i Paliw AGH. Jednak żaden ze stosowanych przez nie modeli nie odpowiada współczesnym wymogom. Wielokrotne starania o grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na implementację modelu TIMES dla Polski nie były jak dotąd skuteczne.

właśnie tą, która pozwala na prowadzenie tego rodzaju badań. Obejmuje ona wiele specyficznych metodyk budowania usystematyzowanych wizji długoterminowego rozwoju cywilizacyjnego, społecznego czy technologicznego. Wynikiem jej stosowania są scenariusze opisujące ogólnie ścieżki rozwoju oraz działania, jakie należałoby podjąć dla ich realizacji. Metoda ta, według niektórych autorów, służy wręcz kształtowaniu przyszłości poprzez integrowanie wyników postępu naukowo-technicznego z potrzebami rozwijających się społeczeństw<sup>4</sup>.

Najbardziej rozpowszechniony jest *foresight* technologiczny, początkowo wprowadzony dla celów oceny technik wojskowych, obecnie stosowany niemal we wszystkich dziedzinach gospodarki. Najczęściej wykonuje się go metodą delficką, czyli ankietowania specjalistów z danej dziedziny na temat procesów rozwojowych. Po przeprowadzeniu analizy statystycznej wyników i ponownym ankietowaniu ekspertów ustala się w końcu pewien konsensus w zakresie perspektyw technologii.

### Metoda scenariuszowa

Metoda scenariuszowa jest niekiedy uważana za jedną z metod *foresight*, niemniej ze względu na pewne różnice i obszary zastosowań omówiona zostanie oddzielnie. Ogólnie zaliczana jest do metod jakościowych, ale ma również cechy metody ilościowej. Polega na budowaniu, podobnie jak w scenariuszu filmowym, szeregu obrazów – stanów badanego systemu lub jego otoczenia i określaniu dróg przejścia między nimi. Wynik jest zbiorem możliwych obrazów przyszłości powiązanych w logiczną i chronologiczną sekwencję, często ze wskazaniem na zmiany ilościowe. Scenariusze opisowe ograniczają się do zobrazowania stanów, podczas gdy ciekawsze – normatywne mówią, co należy zrobić, aby pożądaný stan osiągnąć. Metoda ta jest dość często stosowana w dużych firmach dla znalezienia racjonalnych dróg ich rozwoju w niepewnych warunkach ich funkcjonowania.

Budowane scenariusze generalnie różnią się założeniami co do rozwoju otoczenia systemu (firmy) lub co do celów, jakie należy osiągnąć. W pierwszym przypadku budowany scenariusz ma charakter eksploracyjny, czyli opisuje, co się może zdarzyć w otoczeniu i jakie będą konsekwencje – stany systemu. Drugi kierunek to scenariusze antycypacyjne – przewidujące, co należy zrobić lub jakie zmiany wpłyną na osiągnięcie celu. Najczęściej budowane są zestawy scenariuszy, które mają określić pesymistyczne, opty-

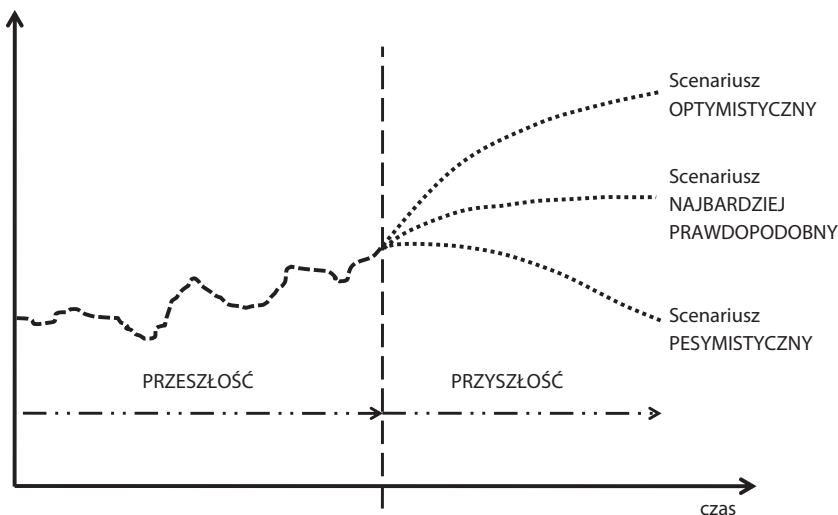
---

<sup>4</sup> B.R. Martin, (2001), *Technology foresight in a rapidly globalizing economy*, paper presented at Regional Conference on Technology Foresight for CEE and NIS countries. Vienna.



mistyczne i najbardziej prawdopodobne trajektorie rozwoju systemu lub otoczenia. W ten sposób określa się obszar, w którym powinny znaleźć się przyszłe stany badanego systemu lub jego otoczenia (wykres 2).

**Wykres 2. Schemat budowania scenariuszy**



## **Determinanty długoterminowego rozwoju systemów paliwowo-energetycznych**

Rozwój systemów paliwowo-energetycznych jest uwarunkowany wieloma czynnikami. Do najważniejszych z nich należą obecnie zasoby paliw, dostępne technologie oraz polityka energetyczna i ekologiczna. Hierarchia tych czynników nie jest stała, zmienia się w zależności od historii, stanu rozwoju systemów oraz uwarunkowań krajowych. I tak: polska energetyka oparta jest na węglu, co wynika z dostępności zasobów oraz przeszłego braku możliwości importu innych nośników w ilościach pozwalających na wielkoskalowe wykorzystanie do celów energetycznych. O ile jeszcze kilkanaście lat temu nie rozważano ograniczeń wynikających z możliwości wyczerpania zasobów paliw, dziś staje się to realną perspektywą. W przeszłości ograniczenia emisji nie determinowały rozwoju energetyki, dziś są podstawowym czynnikiem wpływającym na decyzje inwestycyjne.

Rozwój energetyki będzie wynikiem współdziałania wielu czynników, przy czym najważniejszą zmianą jakościową jest przejście od polityk krajowych czy lokalnych do globalnych.

## Zasoby energii pierwotnej

Wielkość zasobów energii pierwotnej, czyli paliw kopalnych (węgla, ropy, gazu) oraz energii odnawialnej i paliw jądrowych jest podstawowym czynnikiem determinującym stan i możliwości rozwoju gospodarki paliwami i energią. Niewystarczające zasoby wymuszają konieczność szukania substytutów, które mają zazwyczaj wyższe koszty pozyskania. Należy jednak zdecydowanie podkreślić, że wyczerpywanie zasobów nie prowadzi do katastrof gospodarczych i załamania cywilizacji. Zmniejszające się pozyskanie jakiegoś surowca wiąże się z jego wyższymi kosztami. Substytuty, które mają wyższe koszty, stają się konkurencyjne i stopniowo zastępują ubywający surowiec, a przy wzroście zdolności produkcyjnych i doskonaleniu technologii ich koszty maleją. Wycięcie lasów dla celów opałowych i przemysłowych w Wielkiej Brytanii pod koniec XVIII wieku nie załamało gospodarki tego kraju. Można by nawet postawić hipotezę, że przyczyniło się do rozwoju technologii opartych na węglu i stali. Podobnie pojawiające się nowe technologie, o wyższej sprawności, korzystające niekiedy nawet z surowców odpadowych itp., przyczyniają się do złagodzenia skutków wyczerpywania zasobów. Przykładem może tu być zestawienie ile aluminium i miedzi byłoby potrzebne w połowie lat 80., aby dać każdemu Chińczykowi czy Hindusowi dostęp do telefonu, a ile potrzeba dzisiaj. Rozwój telefonii komórkowej sprawił, że ten sam efekt można osiągnąć przy daleko mniejszym zużyciu materiałów.

Wystarczalność zasobów energii pierwotnej jest dość trudna do oszacowania. Zmienia się nie tylko poziom produkcji, ale i stan zasobów (tabela 1). Stosunek zasobów do produkcji daje pewne oszacowanie wystarczalności, a wartości podane w tabeli 1 potwierdzają inne źródła. Oczywiście niektóre zasoby (np. łupki bitumiczne), dotychczas nieeksploatowane na większą skalę, zmieniają swoją wystarczalność, jeśli staną się przedmiotem intensywnej eksploatacji, porównywalnej z poziomem dla węgla czy ropy.

Oszacowane uproszczone parametry wystarczalności zasobów<sup>5</sup> wskazują, że tylko w przypadku klasycznej ropy naftowej wyczerpanie nastąpi za życia obecnych pokoleń. Jednak zasoby substytutów ropy, to jest ropy niekonwencjonalnej, oraz możliwości stosowania technologii przetwarzania węgla i gazu ziemnego w paliwa płynne powinny umożliwić łagodne przejście od wykorzystania ropy do zastosowania jej substytutów.

---

<sup>5</sup> Właściwe wskaźniki wystarczalności wymagają uwzględnienia oczekiwanych zmian zarówno poziomu zasobów, jak i przyszłej produkcji.

Tabela 1. Zasoby\* i produkcja głównych źródeł energii pierwotnej

Nośnik, jednostki	Pozycja, jednostki	Stan zasobów			% zmiany 2005 do 2002	Stosunek wielkości zasobów do rocznej produkcji (uproszczony wskaźnik wystarczalności)		
		2002	2005	2007		2002	2005	2007
Węgiel kamienny i brunatny, mld ton	Zasoby	909	847	826	-6,8	189	144	129
	Produkcja	4,8	5,9	6,4	22,9			
Ropa naftowa, mld baryłek	Zasoby	1 099	1 215	1 247	10,6	41	41	42
	Produkcja	26,7	29,6	29,7	10,9			
Łupki bitumiczne, mld baryłek	Zasoby	3 328	2 826	bd.	-15,1	832 000	565 200	
	Produkcja	0,004	0,005	bd.	25,0			
Bitumen naturalny, mld baryłek	Zasoby	247	246	bd.	-0,4	882	665	
	Produkcja	0,28	0,37	bd.	32,1			
Ciężka ropa, mld baryłek	Zasoby	48	60	bd.	25,0	229	261	
	Produkcja	0,21	0,23	bd.	9,5			
Gaz ziemny, bln m <sup>3</sup>	Zasoby	171	176	180	2,9	66	63	55
	Produkcja	3	2,8	3,3	-6,7			
Uran, tys. ton	Zasoby	3 169	3 297	3 338	4,0	88	79	81
	Produkcja	36	41,7	41,3	15,8			

\* Zasoby to *proved recoverable reserves* odpowiadające w polskiej terminologii zasobom operatywnym, czyli ilości surowców, jaka może być wydobyta.

Źródło: na podstawie *Survey of Energy Resources Interim Update 2009*, World Energy Council, [http://www.worldenergy.org/publications/survey\\_of\\_energy\\_resources\\_interim\\_update\\_2009/default.asp](http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_interim_update_2009/default.asp).

## Technologie

Właściwości technologii stanowią o tym, z jaką efektywnością i przy jakich emisjach pozyskuje się i użytkuje energię. Dobór technologii jest uwarunkowany wieloma czynnikami, począwszy od możliwości uzyskania odpowiedniej ilości środków produkcji, w tym paliw czy energii pierwotnej, po możliwość znalezienia odbiorcy produktu końcowego. Ogólnie są to warunki techniczne, środowiskowe, logistyczne i ekonomiczne. Trudno określić hierarchię tych warunków, ich działanie jest współzależne, żaden nie jest decydujący dla wyboru technologii, choć największej wagi przypisuje się warunkom ekonomicznym. Kumulują one do pewnego stopnia oddziaływanie innych czynników, tworząc swego rodzaju syntetyczne kryterium wyboru technologii.

Dostępność odpowiednich technologii stwarza możliwość realizacji wybranych celów czy polityk. Bez technologii energooszczędnych, odnawialnych, jądrowych czy sekwestracji dwutlenku węgla<sup>6</sup> nie można byłoby realizować polityki redukcji emisji gazów cieplarnianych. Alternatywą jest jedynie znaczna redukcja poziomu produkcji energii, a co za tym idzie ograniczenie wzrostu gospodarczego, czyli rozwiązanie, które obecnie jest nieakceptowane, zwłaszcza w krajach słabiej rozwiniętych.

## Regulacje środowiskowe

Począwszy od lat 70. ubiegłego wieku, a w Polsce od początku lat 90., jednym z podstawowych kryteriów rozwoju energetyki jest ograniczenie emisji, początkowo tlenków siarki i azotu, pyłów, a obecnie – dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Poza zapewnieniem ilości energii wymaganej dla rozwoju gospodarczego jest to drugie kryterium decydujące o możliwościach użytkowania nośników energii i stosowania technologii.

Regulacje środowiskowe wynikają z założeń przyjmowanych w politykach ekologicznych i energetycznych, które są z kolei pewną konsekwencją stanu środowiska i ocen oddziaływania energetyki. Do niedawna regulacje miały formę limitów i nakazów, obecnie wprowadzane są instrumenty rynkowe, które pozwalają osiągnąć cel ekologiczny, minimalizując koszty. Europejski system handlu uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla (ETS) jest tego przykładem, choć należy podkreślić, że wyniki jego stosowania są jak dotąd odmienne od oczekiwań. Pierwszy okres (2005–2007) zakończył

---

<sup>6</sup> Sekwestracja CO<sub>2</sub> – wychwytywanie dwutlenku węgla i składowanie w sposób, który uniemożliwia jego przeniknięcie do atmosfery. Jedną z technologii służących temu celowi to CCS (*carbon capture and storage*), polegająca na magazynowaniu CO<sub>2</sub> w głębokich, nieprzepuszczalnych utworach skalnych, szerzej zob. artykuł na s. 229–276.

się niepowodzeniem z powodu przyznania poszczególnym krajom limitów przekraczających ich potrzeby. Znane są problemy, głównie prawne, z uruchomieniem drugiego etapu. Mimo to system ten jest uważany za najlepszy, a przykłady, jak handel uprawnieniami do emisji dwutlenku siarki w USA, potwierdzają jego efektywność<sup>7</sup>, zwłaszcza przy stosowaniu w długim okresie, gdy system można doskonalić na podstawie doświadczeń.

## Długoterminowe prognozy rozwoju energetyki

W badaniach perspektyw energetyki przyjmuje się pewne założenia dotyczące stanu lub dynamiki systemu, tworząc rozmaite warianty (scenariusze) warunków zewnętrznych. W skali globalnej, zgodnie ze schematem podanym na wykresie 1, założenia takie dotyczą zwłaszcza poziomu wzrostu dochodu oraz populacji. Pod względem założeń raporty i studia są do siebie podobne w scenariuszach typu referencyjnego, odniesienia lub *business as usual*<sup>8</sup>. Tego należy się zresztą spodziewać, bo poglądy w tym zakresie nie mogą się zasadniczo różnić między poszczególnymi zespołami podejmującymi te badania. Rozbieżności będą dotyczyć polityk energetycznych i ekologicznych, zwłaszcza jeśli są one przedmiotem badań w danym raporcie.

W dalszej części artykułu omówiono kilka wiodących raportów prognostycznych, opracowanych przez renomowane ośrodki badawcze lub instytucje, które przedstawiają perspektywy zmian systemów paliwowo-energetycznych zachodzących w długim horyzoncie czasowym. Wybrano opracowania uznawane za najbardziej wiarygodne i zarazem stanowiące najczęściej powoływane źródło prognoz.

### **World Energy Outlook 2009 – Międzynarodowa Agencja Energetyczna**

Publikacja *World Energy Outlook 2009* (WEO)<sup>9</sup> została wydana w październiku 2009 r. i jest obecnie najświeższą analizą perspektyw energetyki, przygotowaną między innymi dla potrzeb szczytu klimatycznego w Kopenhadze. Publikacja Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) jest

<sup>7</sup> A.D. Ellerman, P.L. Joskow, D. Harrison, (2003), *Emissions trading in the U.S. Experience, Lessons, and Considerations for Greenhouse Gases*, Pew Center on Global Climate Change.

<sup>8</sup> B. Schade, T. Wiesenthal, *Comparison of Long-Term World Energy Studies. Assumptions and results from four world energy models*, European Commission Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, EUR 22938 EN – 2007.

<sup>9</sup> *World Energy Outlook 2009*, IEA, <http://www.iea.org/weo/2009.asp>.

jedną z najważniejszych analiz globalnych perspektyw energetycznych, opracowywaną niemal corocznie. Ma charakter dokumentu kierunkowego, z rozważaniami dotyczącymi polityki energetycznej zarówno w skali regionalnej, jak i globalnej.

### Scenariusze

Dwa założone scenariusze to: referencyjny (*reference*) i scenariusz nazywany 450, zakładający osiągnięcie zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze na poziomie 450 ppm (części na milion) w ekwiwalencie CO<sub>2</sub>. Podstawowym założeniem dla scenariusza referencyjnego jest brak zdecydowanych zmian w polityce energetycznej i ekologicznej poszczególnych krajów. Jest to kontynuacja obecnych tendencji, co oznacza brak wspólnej, międzynarodowej polityki przeciwdziałania zmianom klimatu. W drugim scenariuszu założono, iż dla obniżenia emisji CO<sub>2</sub> podejmowane będą radykalne i skoordynowane działania we wszystkich krajach. O ile w pierwszym scenariuszu oczekiwany wzrost temperatury do końca bieżącego stulecia wynosi 6°C, to w drugim tylko 2°C<sup>10</sup>, co przyczyni się znacząco do obniżenia negatywnych skutków dla gospodarki świata. Prognozowany poziom emisji w 2030 r. w drugim scenariuszu jest niższy o 13,8 Gt, to znaczy zmniejsza się o około 35% w stosunku do scenariusza referencyjnego. W tym scenariuszu przyrost emisji (11 Gt) pochodzi głównie z Chin (6 Gt), Indii (2Gt) oraz Bliskiego Wschodu (1 Gt), podczas gdy kraje OECD nieznacznie redukują emisję.

Scenariusz 450 zakłada zróżnicowaną politykę energetyczną regionów świata. Wynika to ze znaczących różnic w ich rozwoju gospodarczym i naturalnej tendencji do podnoszenia poziomu życia. Kraje mniej rozwinięte dążą do podwyższenia standardów cywilizacyjnych, co wymaga większego zużycia energii i w konsekwencji – emisji gazów cieplarnianych. Nie można od tych społeczeństw wymagać poświęcenia swoich celów w zakresie rozwoju cywilizacyjnego dla zrealizowania polityk globalnych. Oczekuje się jednak, że włączą się one w sprzyjającym okresie w realizację celów światowych, według następującego schematu:

- ▶ kraje OECD wraz z innymi krajami Unii Europejskiej do roku 2020 redukują emisję do ustalonego poziomu celów krajowych,
- ▶ inne duże kraje, to jest: Brazylia, Chiny, kraje Środkowego Wschodu, Rosja, Afryka Południowa, po roku 2020 przyjmują zobowiązanie przestrzegania limitów krajowych,

<sup>10</sup> Dokładniej: 50% prawdopodobieństwa ograniczenia wzrostu średniej światowej temperatury o 2°C.

- ▶ pozostałe kraje do roku 2030 podejmują działania dla realizacji krajowych celów emisji.

Przyjęcie takich założeń wydaje się stwarzać realne możliwości włączenia wszystkich krajów w politykę obniżenia emisji gazów cieplarnianych.

#### *Scenariusz referencyjny – wyniki analiz*

Najnowsze wydanie WEO zwraca uwagę na skutki kryzysu gospodarczego, który spowodował obniżenie zużycia energii i w konsekwencji – emisji CO<sub>2</sub>. Zakłada się jednak, że od roku 2010 gospodarka światowa powróci do poprzednich kierunków rozwojowych, co można zaobserwować na podstawie popytu na energię w scenariuszu referencyjnym (wykres 3). Można zauważyć, że zjawiska wzrostu zużycia energii są nieco słabsze niż przed rokiem 2008, niemniej jest to w dalszym ciągu wzrost bardzo silny, od 12 000 Mtoe (milionów ton ekwiwalentu ropy) do 16 800 Mtoe w roku 2030, to jest o około 40%. Przyrost niemal całkowicie można przypisać krajom spoza OECD, głównie Chinom i Indiom. Kraje te, będące na ścieżce szybkiego rozwoju gospodarczego, zwiększają zużycie energii, podczas gdy państwa OECD rozwijają gospodarkę głównie w sektorach o niskich potrzebach energetycznych.

Podaż energii musi zaspokoić rosnący popyt, a przyrost pochodzi z różnych źródeł (wykres 4), lecz dominują węgiel i ropa naftowa. Pierwszy nośnik jest przeznaczany głównie do produkcji energii elektrycznej, produkty rafinacji ropy zaspokajają rosnące potrzeby transportu.

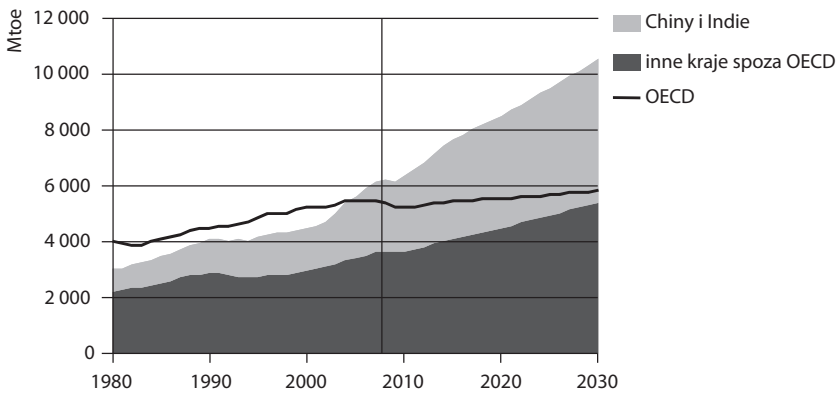
Zwraca uwagę spadek zużycia węgla i ropy w krajach OECD, co jest rekompensowane wzrostem zużycia gazu oraz biomasy i nośników odnawialnych. Przyrosty zużycia poza krajami OECD są proporcjonalne do wzrostu popytu.

Emisje CO<sub>2</sub> rosną wraz ze zwiększonym zużyciem energii, a źródłem przyrostu będą kraje spoza OECD. Przyrost jest proporcjonalny do wzrostu gospodarczego. W tym scenariuszu nie podejmuje się znaczących działań dla ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>.

Pewne zaburzenia w rozwoju energetyki mogą być wywoływane przez dwie przyczyny. Pierwszą jest brak funduszy inwestycyjnych, drugą oczekiwana nadpodaż gazu ziemnego.

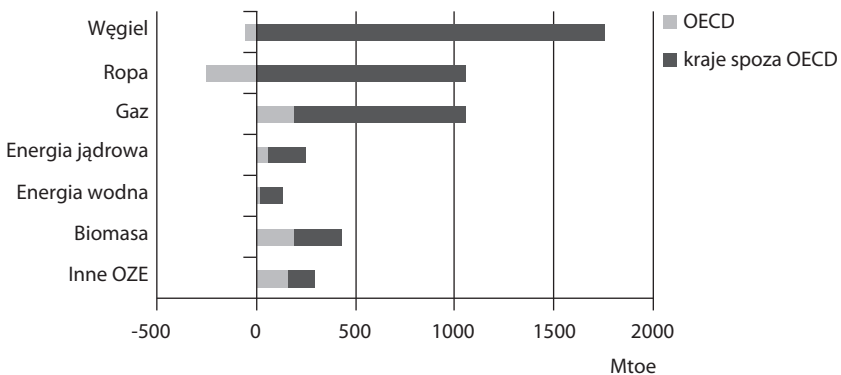
Oszacowane nakłady inwestycyjne na rozwój energetyki to 26 bln dolarów, z czego ponad połowa przypada na kraje słabiej rozwinięte. Jednym ze skutków kryzysu jest ograniczony dostęp do tanich i łatwych kredytów, stąd zwiększają się koszty kapitałowe inwestycji, co prowadzi do ich ograniczenia. Skutkiem będzie także zmniejszenie bezpieczeństwa energetycznego, przede wszystkim pewności dostaw energii.

**Wykres 3. Poziom popytu na energię w scenariuszu referencyjnym WEO**



Źródło: *World Energy Outlook 2009*, IEA, <http://www.iea.org/weo/2009.asp>.

**Wykres 4. Przyrosty zużycia nośników energii w scenariuszu referencyjnym WEO w latach 2007–2030**



Źródło: jak pod wykresem 3.

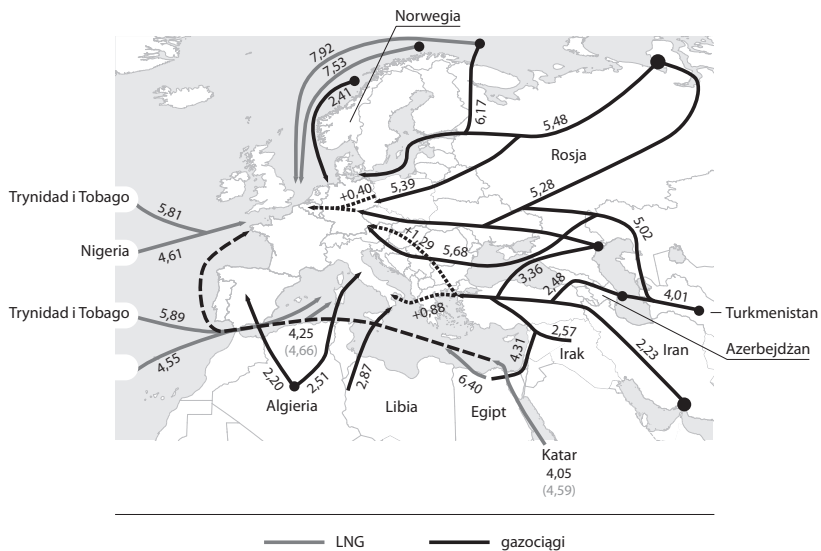
Sytuacja na światowych rynkach gazu ziemnego została zaburzona przez nieoczekiwane zmiany na rynku amerykańskim. Poziom produkcji z własnych konwencjonalnych zasobów gazu obniżył się zgodnie z oczekiwaniami, został jednak zbilansowany pozyskaniem ze źródeł niekonwencjonalnych. Eksporterzy gazu, którzy oczekiwali wzrostu popytu ze strony USA, będą mieli nadmiar mocy produkcyjnych i przesyłowych, co najprawdopodobniej wywoła silną konkurencję i spadek cen gazu. Warto podkreślić,



że sytuacja krajów europejskich jest bardzo korzystna, leżą one w obszarze o możliwościach dostaw gazu z wielu kierunków, zarówno rurociągami, jak i gazu skroplonego (wykres 5).

### Wykres 5. Możliwe kierunki dostaw gazu ziemnego i ceny

(dolarów/MBtu)



Źródło: jak pod wykresem 3.

Międzynarodowy obrót gazem skroplonym już jest porównywalny z dostawami rurociągowymi, a według szacunków WEO koszty tych dostaw mogą być konkurencyjne. Gaz dostarczany z Iranu i Iraku ma perspektywnie bardzo niskie ceny, jednak są to kraje niestabilne politycznie i trudno oczekiwać, że ich dostawy będą wystarczająco pewne.

Wyniki scenariusza referencyjnego są ostrzeżeniem przed skutkami kontynuacji obecnych trendów wzrostu zależności od importowanych paliw kopalnych oraz emisji gazów cieplarnianych. Może to doprowadzić do pogłębienia efektu zmian klimatycznych i zwiększenia powiązanych strat gospodarczych.

#### Scenariusz 450

W tym scenariuszu przyjęto, że dla ograniczenia wzrostu temperatury do 2°C konieczne jest ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> do poziomu 26,4 Gt w roku 2030. W związku z tym zużycie energii w stosunku do roku 2007 wzrośnie

tylko o 20%, czyli o połowę mniej niż w poprzednim scenariuszu, obniżenie wskaźnika emisji będzie możliwe głównie dzięki zmianie w strukturze paliw (tabela 2).

**Tabela 2. Porównanie wybranych danych dla scenariuszy referencyjnego i 450**

	Scenariusz					
	Referencyjny			450		
	Zużycie energii, Mtoe	Emisja CO <sub>2</sub> Gt	Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub> t/toe	Zużycie energii Mtoe	Emisja CO <sub>2</sub> Gt	Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub> t/toe
2007	12 000	28,8	2,40	12 000	28,8	2,40
2030	16 800	40,2	2,39	14 400	26,4	1,83
Różnica	4 800	11,4		2 400	-2,4	
(Różnica w %)	40%	40%		20%	-8%	

Źródło: na podstawie: *World Energy Outlook 2009*, IEA, <http://www.iea.org/weo/2009.asp>.

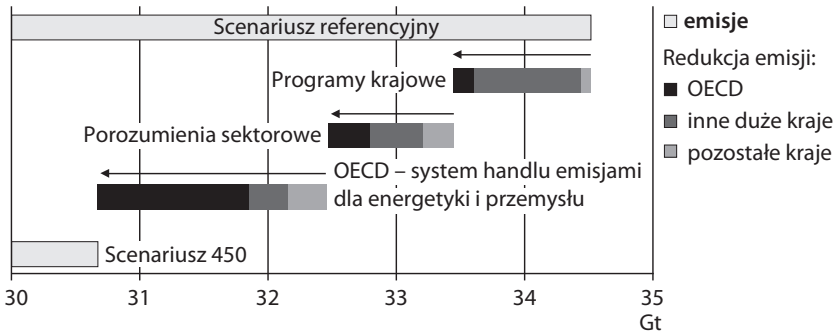
Osiągnięcie zamierzonego poziomu emisji wymaga zastosowania odpowiednich narzędzi na poziomach międzynarodowym i krajowych. Porozumienia w sprawie obrotu pozwoleniami na emisję i ograniczeń sektorowych, wreszcie środki podjęte przez poszczególne państwa i wykorzystanie ich potencjału są konieczne dla osiągnięcia tego celu.

Już obecnie działający europejski system handlu uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla jest przykładem takich działań, a szacowana w WEO cena uprawnienia – 50 dolarów/t CO<sub>2</sub> nie odbiega od przyjmowanych w innych opracowaniach<sup>11</sup>. Pewnym wsparciem dla realizacji tego scenariusza jest kryzys gospodarczy. Obecne obniżenie wzrostu gospodarczego skutkuje ograniczeniem emisji (aż o 10% do roku 2030). Podejmowane już teraz działania państw spoza OECD, np. Chin, przyczynią się znacząco do obniżenia poziomu emisji CO<sub>2</sub>, przy czym wkład tych krajów jest bardzo istotny (wykres 6).

Realizacja takich zamierzeń wymagać będzie znacznie większych nakładów inwestycyjnych niż w poprzednim scenariuszu, szacowanych na około 10,5 bln dolarów (więcej o 40% niż zakłada scenariusz referencyjny). Ponie-

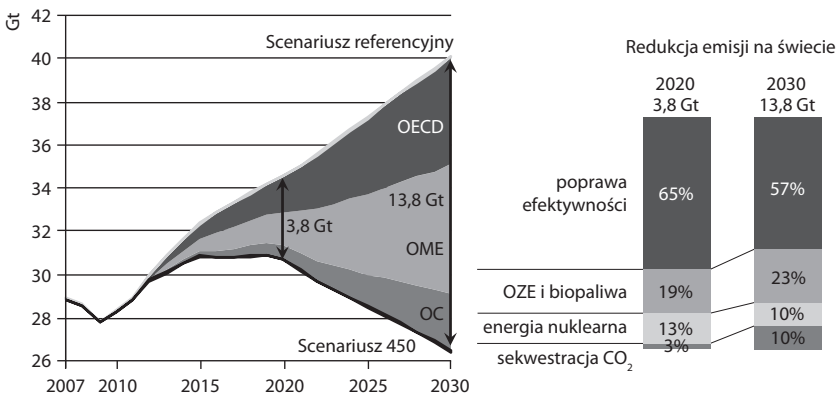
<sup>11</sup> W raportach oceniających skutki wprowadzenia pakietu klimatycznego przyjęto cenę 40 euro/t CO<sub>2</sub>.

**Wykres 6. Środki i zakresy obniżenia emisji CO<sub>2</sub> do 2020 r.**



Źródło: jak pod wykresem 3.

**Wykres 7. Poziom emisji w rozważanych scenariuszach i techniki obniżenia emisji CO<sub>2</sub>** (OME – inne duże kraje; OC – pozostałe kraje)



Źródło: jak pod wykresem 3.

waż kraje rozwijające się nie będą w stanie ponieść tak wysokich nakładów, konieczna jest pewna forma pomocy państw rozwiniętych. Nie mogą to być jednak klasyczne dotacje, potrzebne będą mechanizmy transferu funduszy poprzez handel uprawnieniami do emisji czy zmodyfikowany mechanizm czystego rozwoju ustalony w Protokole z Kioto. Istotny wkład w inwestycje powinny mieć gospodarstwa domowe, nawet rzędu 40%, głównie będzie to zakup pojazdów o niskich emisjach.

Technologie energetyczne muszą stać się bardziej efektywne, zwłaszcza po stronie użytkowania w budynkach, przemyśle i transporcie. Poprawa w tym zakresie daje ponad połowę całkowitej redukcji emisji, a drogą jest

ulepszenie istniejących i wprowadzanie nowych technik, np. rozpowszechnienie samochodów hybrydowych i elektrycznych (wykres 7).

Elektroenergetyka powinna przechodzić na paliwa o mniejszej zawartości węgla i rozpocząć stosowanie sekwestracji dwutlenku węgla.

Niektóre elementy rozwoju w scenariuszu 450 ulegają w porównaniu ze scenariuszem referencyjnym pewnym zmianom, ale nie można tu mówić o zmianach rewolucyjnych, a jeśli, to raczej w sferze politycznej – zakłada on bowiem istotny wzrost współdziałania w skali globalnej, kosztem partykularnych polityk krajowych.

### **World Energy Technology Outlook**

Komisja Europejska w ramach badań programów ramowych przygotowała dwa raporty: *World Energy Technology and Climate Policy Outlook – WETO 2030* w roku 2003 i następny *WETO H<sub>2</sub>*<sup>12</sup> trzy lata później. W dalszej części omówiony zostanie drugi z raportów, ciekawszy ze względu na skoncentrowanie się na problemach rozwoju technologii wodorowych, które są niekiedy uważane za swego rodzaju panaceum na problemy redukcji emisji gazów cieplarnianych.

W projekcie tym zrealizowanym w ramach 6. Programu Ramowego UE wykorzystano model POLES do analizy trzech scenariuszy:

- ▶ **referencyjny** – kontynuacja kierunków rozwoju gospodarki i energetyki, z krótkoterminowymi zaburzeniami na rynkach ropy i gazu oraz z umiarkowaną polityką ograniczania emisji gazów cieplarnianych,
- ▶ **ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>** (*carbon constrained*) – przewidywane znaczące wysiłki dla zmniejszenia emisji, aż do osiągnięcia stabilizacji zawartości CO<sub>2</sub> na poziomie 500 ppm,
- ▶ **wodorowy (H<sub>2</sub>)** – wariant scenariusza ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> jak poprzednio, z szybkim postępem w technologiach wodorowych i obniżeniem ich kosztów, prowadzącym do wzrostu ich zastosowania, zwłaszcza w transporcie.

We wszystkich scenariuszach zakładano podobny wzrost gospodarczy świata, zróżnicowany dla regionów. Motorem wzrostu jest przyrost ludności świata z 6,1 mld w roku 2001 do 8,9 mld w roku 2050 oraz wzrost średniego dochodu narodowego na głowę z 6400 euro (2001 r.) do 17 100 (2050 r.),

---

<sup>12</sup> *World Energy Technology and Climate Policy Outlook – WETO 2030*, European Commission, 2003, [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto_final_report.pdf); *World Energy Technology and Outlook – WETO H<sub>2</sub>*, European Commission, 2006, [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf).

prowadzący do wzrostu globalnej produkcji z 39 100 mld euro do 151 600 mld euro. Rozwój regionów jest zróżnicowany, najwyższy w Azji, nieco mniejszy w Afryce, Środkowym Wschodzie i Ameryce Łacińskiej. Tempo wzrostu będzie malało, ze względu na wyczerpanie przez regiony rozwijające się możliwości szybkiego wzrostu gospodarczego oraz starzenie się ludności. Wynikiem tego będzie malejące tempo przyrostu dochodów *per capita*, szczególnie w krajach rozwiniętych. Wszystkie te procesy przyczynią się do zmniejszenia różnic w dobrobycie społeczeństwa. Jednak w dalszym ciągu nie będą to poziomy porównywalne: dla roku 2050 PKB *per capita* oszacowano na 40–60 tys. dolarów w obecnych regionach rozwiniętych, rzędu 15 tys. dolarów w krajach obecnie rozwijających się oraz 4,5 tys. dolarów w Afryce.

#### *Analizy scenariusza referencyjnego*

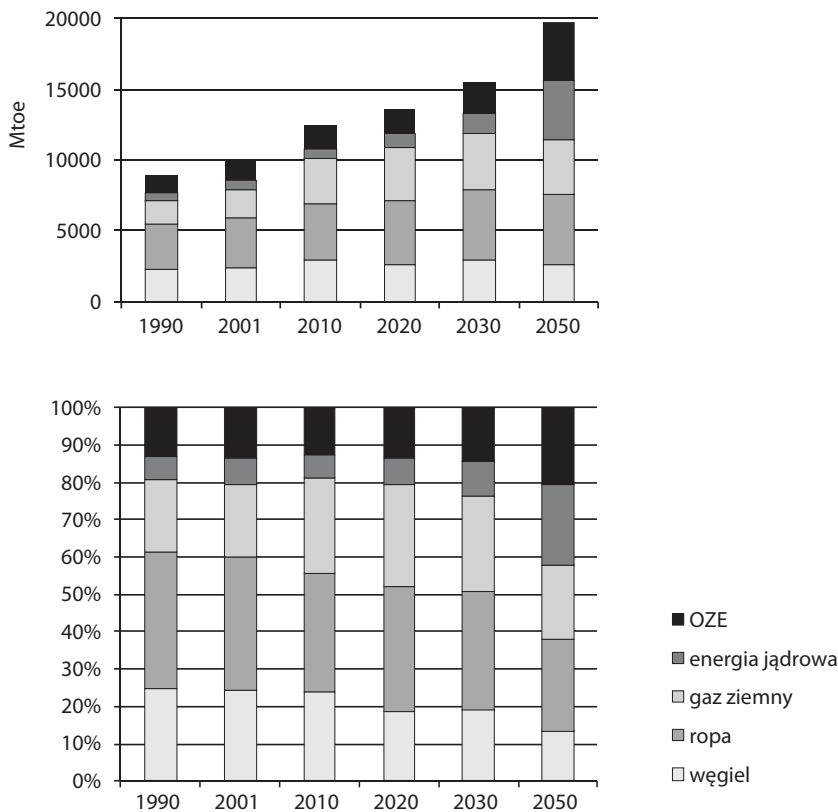
Problem zmian klimatycznych nie jest w tym scenariuszu pomijany, choć przewidywany stopień aktywności na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu jest mniejszy niż w innych scenariuszach. Założono, że zgodnie z obecnymi prądami w politykach regionalnych Unia Europejska będzie przewodzić w działaniach na rzecz obniżenia emisji dwutlenku węgla, ale i inne kraje nie pozostaną bezczynne. Środkiem jest wprowadzenie opłaty lub kosztu zakupu pozwolenia na emisję o wartości zróżnicowanej regionalnie i w czasie. Prowadzi to do relatywnego wzrostu efektywności ekonomicznej inwestycji w technologie o niskich emisjach.

Zużycie energii do roku 2050 wzrośnie ponad dwa razy, przy czterokrotnym wzroście dochodu światowego, co oznacza dwukrotne zmniejszenie energochłonności dochodu. Jest to efektem postępu technicznego, zmian strukturalnych w gospodarce, wyższych cen energii i działań politycznych na rzecz poprawy efektywności użytkowania energii. Rośnie (w wartościach bezwzględnych) zużycie wszystkich głównych nośników, ale struktura zużycia energii pierwotnej zmienia się, choć są to zmiany ewolucyjne o ograniczonym zakresie (wykres 8). Maleje udział ropy i gazu, zwiększa się produkcja w elektrowniach nuklearnych. Skutkiem wyczerpywania się zasobów ropy jest wzrost pozyskania substytutów, piasków bitumicznych i tzw. ciężkiej ropy, których duże zasoby stają się coraz bardziej atrakcyjne również z powodu wzrostu cen ropy.

Węgiel, mimo stosowania instrumentów redukcji emisji CO<sub>2</sub>, jest nadal ważnym źródłem energii, przede wszystkim do produkcji energii elektrycznej. Jej poziom rośnie niemal pięciokrotnie (wykres 9), a w strukturze produkcji zaczynają dominować energetyka jądrowa i źródła odnawialne.

Stosowanie polityk redukcji emisji gazów cieplarnianych jedynie w ograniczonej skali daje skutek w postaci podwojenia emisji i zwiększenia

**Wykres 8. Zużycie energii pierwotnej i jego struktura (scenariusz referencyjny)**



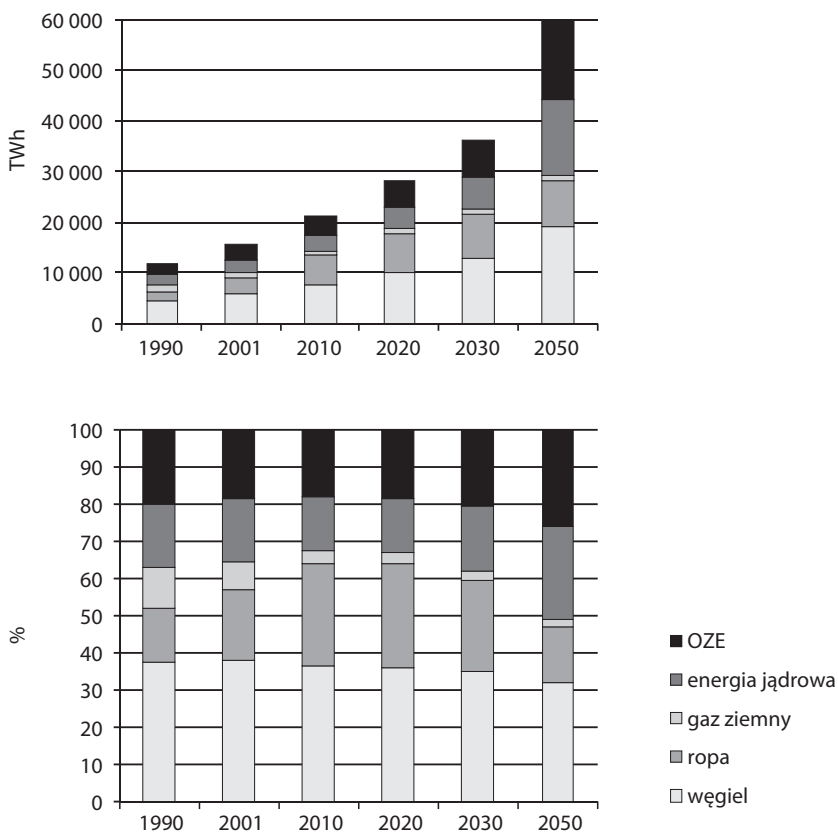
Źródło: na podstawie *World Energy Technology and Outlook – WETO H<sub>2</sub>*, European Commission, 2006, [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf).

stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze do poziomu 900–1000 ppm, co znacznie przekracza poziomy dziś uznawane za dopuszczalne. Przyrost emisji występuje wyłącznie poza krajami Europy i Ameryki Północnej, przede wszystkim w Azji (Chiny i Indie).

*Analizy scenariusza ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>*

Zmniejszenie emisji jest zazwyczaj wynikiem procesów zmiany paliw, zmniejszenia produkcji, poprawy sprawności produkcji i użytkowania energii. Instrumenty polityczne, możliwe tu do zastosowania mogą mieć charakter nakazowo-rozdzielczy lub ekonomiczny. W ostatnich latach niemal wyłącznie stosuje się instrumenty ekonomiczne, zwłaszcza handel

**Wykres 9. Poziom i struktura produkcji energii elektrycznej (scenariusz referencyjny)**



Źródło: jak pod wykresem 8.

uprawnieniami do emisji, które pozwalają w sposób najbardziej efektywny osiągnąć ustalony cel środowiskowy. W projekcie WETO takim instrumentem jest podatek węglowy, czyli opłata za emisję lub koszt zakupu uprawnienia. Wartość została ustalona tak, aby osiągnąć poziom 500 ppm zawartości dwutlenku węgla w powietrzu do roku 2050, i jest zróżnicowana w czasie i dla regionów (tabela 3).

Wynikiem przewidywanych działań jest zmniejszenie emisji dwutlenku węgla z obecnego poziomu około 29 Gt do 26 Gt w roku 2050, podczas gdy w scenariuszu referencyjnym emisje te byłyby na poziomie 44 Gt. Europa i pozostałe kraje OECD obniżają zasadniczo poziom emisji już od roku 2010, początkowy przyrost emisji jest wynikiem rozwoju gospodarczego w krajach spoza OECD. Jednak i te kraje redukują emisje po roku 2025 (wykres 10).

Tabela 3. Wartości podatku węglowego euro/t CO<sub>2</sub>

Rok	Scenariusz					
	referencyjny			ograniczenie emisji CO <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub>		
	Europa	inne kraje aneksu B*	pozostałe kraje	Europa	inne kraje aneksu B	pozostałe kraje
2005	5	0	0	5	5	0
2010	10	5	0	15	15	0
2020	15	8	4	50	50	15
2030	20	10	7	100	100	25
2050	30	15	15	200	200	200

\* Kraje aneksu B do Protokołu z Kioto to 39 państw rozwiniętych, w tym kraje transformacji gospodarczej.

Źródło: jak pod wykresem 8.

Tak znacząca redukcja jest wynikiem działania wielu czynników, z których najważniejsze pokazano na wykresie 11. Największy wkład wnoszą tu technologie sekwestracji, będąca jednak etapem pośrednim w drodze do uzyskania technologii bezemisyjnych. Zmniejszenie popytu na energię, które należy uznać za drugi pod względem ważności czynnik, to efekt wyższych cen energii oraz, co ważniejsze, poprawy efektywności użytkowania energii. Inne ważne czynniki to: wykorzystanie energii odnawialnej, jądrowej i zmiana paliw w elektrowniach.

Zużycie energii obniża się w porównaniu ze scenariuszem referencyjnym o 12%, przy istotnych zmianach w strukturze nośników energii (wykres 12). Udział węgla i ropy maleje na rzecz energii jądrowej i odnawialnej. Wpływa to odpowiednio na strukturę produkcji energii elektrycznej, w której dochodzi do wzrostu znaczenia technologii jądrowych i bazujących na surowcach odnawialnych.

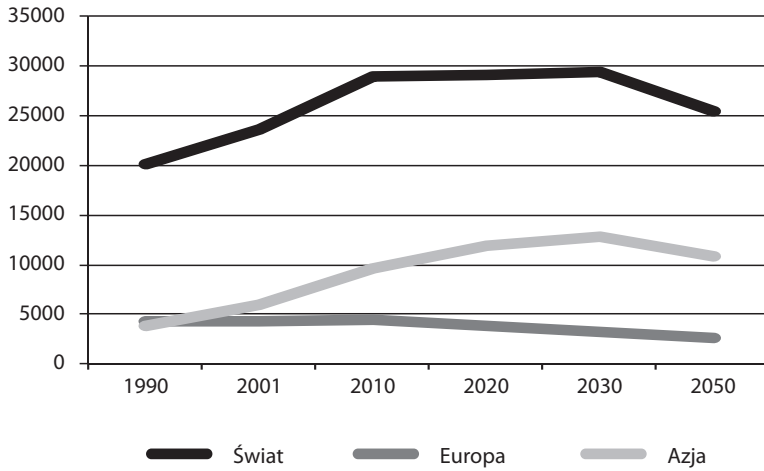
#### Scenariusz H<sub>2</sub>

Od dziesięcioleci, w okresach kryzysów pojawiają się opinie o konieczności szerokiego wdrażania technologii wodorowych, które mają stanowić lekarstwo na problemy energetyczne. Na początku XXI wieku opinie takie powróciły w odpowiedzi na problem zmian klimatu. Technologie wodoro-  
we nie są jednak obecnie rozwinięte na poziomie komercyjnym pozwalającym na ich szerokie stosowanie. Badania rozwijające te technologie są prowadzone od wielu lat, nie ma jednak perspektyw na ich zakończenie w bliskiej przyszłości, co oddala w czasie moment osiągnięcia poziomu komercyjnego.

W scenariuszu H<sub>2</sub> założono znaczne przyspieszenie badań w dwu kierunkach. Pierwszy to wytwarzanie wodoru w procesach bazujących na ko-

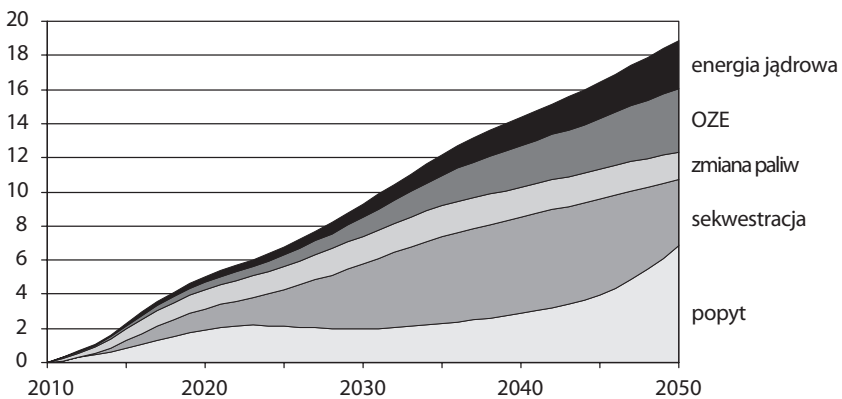


**Wykres 10. Emisja CO<sub>2</sub>** (Mt)



Źródło: jak pod wykresem 8.

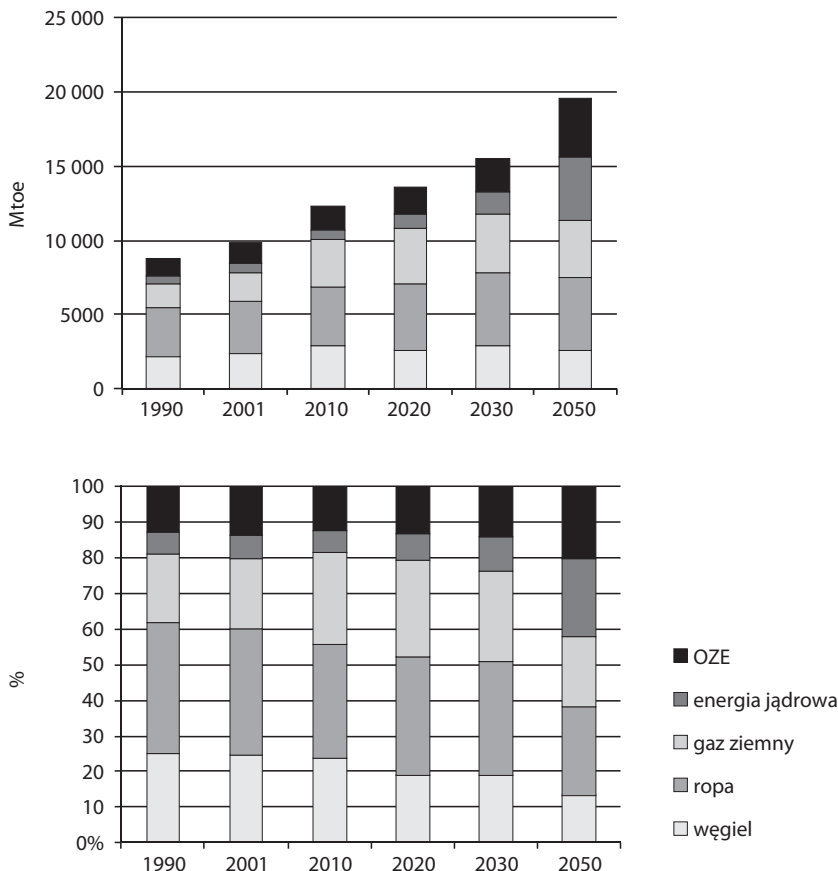
**Wykres 11. Struktura czynników zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> w scenariuszu ograniczenia emisji** (%)



Źródło: jak pod wykresem 8.

palnych paliwach stałych. Odpowiednie technologie są już znane, konieczne jest jednak ich usprawnienie dla obniżenia kosztów. Energia elektryczna ze stacjonarnych ogniw paliwowych staje się konkurencyjna dla źródeł tradycyjnych. Efekt doskonalenia technologii sprawia, że wodór jest stosowany także jako paliwo dla transportu. Druga droga wprowadzania wodoru bazuje na elektrolizie i termoelektrolizie wody, wykorzystując energię z elektrowni nuklearnych pracujących poza szczytem zapotrzebowania oraz

**Wykres 12. Zużycie energii pierwotnej i jego struktura w scenariuszu ograniczenia emisji**



Źródło: jak pod wykresem 8.

z niejednostajnie pracujących źródeł odnawialnych. Produkcja wodoru rośnie aż do 1000 Mtoe w roku 2050 (z wykorzystaniem jedenastu technologii, spośród których dominujące znaczenie mają zgazowanie biomasy i wysokotemperaturowa elektroliza na bazie elektrowni jądrowych). Wodór ma być użytkowany niemal wyłącznie w transporcie. Należy jednak podkreślić, że dla roku 2050 udział wodoru w zużyciu energii wynosi tylko 6,6%, choć i tak jest ponad dwukrotnie większy niż w scenariuszu ograniczenia emisji.

Zapotrzebowanie na energię jest w scenariuszu H<sub>2</sub> takie samo jak w scenariuszu ograniczenia emisji, podobna jest również struktura zużywanych nośników.

## Studium firmy Shell

Firmy energetyczne poza swoją działalnością komercyjną często prowadzą prace badawcze, które wnoszą istotny wkład w poznanie problemów energetyki. Firma British Petroleum corocznie udostępnia zbiór danych o światowych rynkach energii, zwłaszcza ropy i gazu<sup>13</sup>, który jest często cytowany na równi z danymi instytucji zajmujących się statystyką zawodowo. ExxonMobil publikuje swoje analizy rynku paliw, wyjaśniając ich mechanizmy i problemy<sup>14</sup>. Shell bada systematycznie co kilka lat wizje rozwoju systemu paliwowo-energetycznego opracowane metodą scenariuszową z elementami analizy ilościowej (Shell scenarios<sup>15</sup>). Ostatni taki raport został opublikowany w roku 2008 – *Shell energy scenarios to 2050*<sup>16</sup> i omawia dwa scenariusze nazwane: Scramble, czyli swego rodzaju „przepychankę” lub „szamotaninę”, w której nie ma jednolitej i skoordynowanej polityki energetycznej, oraz Blueprints, czyli rozwój kierowany planami strategicznymi, gdzie podejmowane są skoordynowane działania dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju energetycznego.

Rozróżnienie takich scenariuszy odpowiada dwu skrajnym politykom. W pierwszym scenariuszu jest to w zasadzie brak spójnej polityki, reagowanie w sytuacjach zagrożenia, głównie podaży energii potrzebnej do utrzymania standardów życia w krajach rozwiniętych i dla wzrostu gospodarczego w krajach rozwijających się. W drugim scenariuszu, następuje identyfikacja problemów na różnych szczeblach od lokalnych po globalne i jednocześnie się dla ich rozwiązania. Uwzględnia się przy tym rolę procesów rynkowych, m.in. wprowadzenie podatku węglowego jako elementu handlu międzynarodowego, stosowanego dla zapobieżenia procesom „wycieku emisji”, czyli przenoszenia wysokoemisyjnych gałęzi produkcji do krajów o liberalnym ustawodawstwie ekologicznym. W scenariuszu tym Indie i Chiny, kraje o najszybszym przyroście zużycia energii, korzystają z nowych technologii, a ich rozwój można określić jako zrównoważony. Sytuację taką ilustruje wykres 13, pokazujący relacje między dochodem i zużyciem energii na mieszkańca w wybranych krajach. Te, które osiągają później poziom dochodu krajów rozwiniętych, korzystają z tych samych

<sup>13</sup> *Statistical Review of World Energy 2009*, <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>.

<sup>14</sup> *The Outlook for Energy: A View to 2030*, [http://www.exxonmobil.com/Corporate/energy\\_o.aspx](http://www.exxonmobil.com/Corporate/energy_o.aspx).

<sup>15</sup> [http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/previous\\_scenarios/previous\\_scenarios\\_30102006.html](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/previous_scenarios/previous_scenarios_30102006.html).

<sup>16</sup> [http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/dir\\_global\\_scenarios\\_07112006.html](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/dir_global_scenarios_07112006.html).

doświadczeń i technologii energooszczędnych, co daje znacząco mniejsze zużycie energii.

Wyniki dla obu scenariuszy zamieszczono na wykresie 14 oraz w tabeli 4 i tabeli 5. Globalne zużycie energii rośnie od 80 do 110%, a struktura zmienia się znacząco na korzyść energii odnawialnej, której udział wzrasta.

W latach 90. Shell określał sytuację rozwojową energetyki jako TINA (*There Is No Alternative*), brak alternatywy dla szybkiego rozwoju krajów Azji i liberalizacji rynków energii. Obecna sytuacja to TANIA (*There Are No Ideal Answers*) – nie można znaleźć idealnego rozwiązania dla obecnych problemów energetyki i gospodarki. Wyrazem tych problemów jest między innymi kres dominacji trzech głównych nośników: węgla, ropy i gazu. Przyszłe lata przyniosą zróżnicowanie źródeł energii, znacząco wzrośnie rola energii jądrowej i odnawialnej.

**Tabela 4. Zużycie energii w scenariuszu Scramble** (Mtoe)

Nośnik	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Ropa	3510	4203	4442	4275	3821	3367
Gaz ziemny	2101	2627	3176	3200	2961	2579
Węgiel	2316	3439	4752	5015	5874	6280
Energia jądrowa	669	740	812	860	907	1027
Biomasa	1051	1146	1409	2197	2531	3128
Energia słoneczna	0	0	48	621	1481	2245
Energia wiatru	0	48	215	430	645	860
Inne odnawialne	310	454	669	907	1218	1552
Razem energia pierwotna	9958	12680	15522	17528	19462	21014

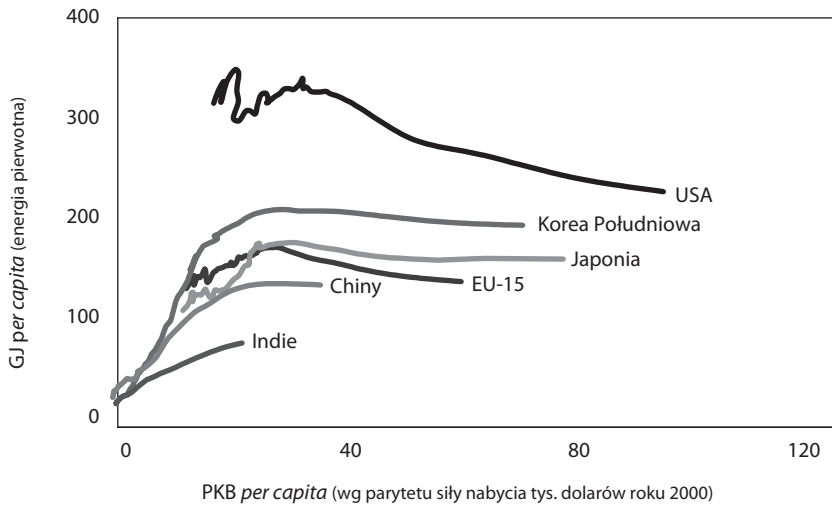
Źródło: jak pod wykresem 13.

**Tabela 5. Zużycie energii w scenariuszu Blueprints** (Mtoe)

Nośnik	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Ropa	3510	4227	4561	4585	4466	3749
Gaz ziemny	2101	2603	3319	3415	3224	2913
Węgiel	2316	3272	4107	4442	4824	4967
Energia jądrowa	669	716	716	812	979	1194
Biomasa	1051	1194	1242	1409	1290	1361
Energia słoneczna	0	24	167	525	1003	1767
Energia wiatru	0	24	215	406	669	931
Inne odnawialne	310	430	693	955	1194	1481
Razem energia pierwotna	9958	12513	14997	16525	17623	18364

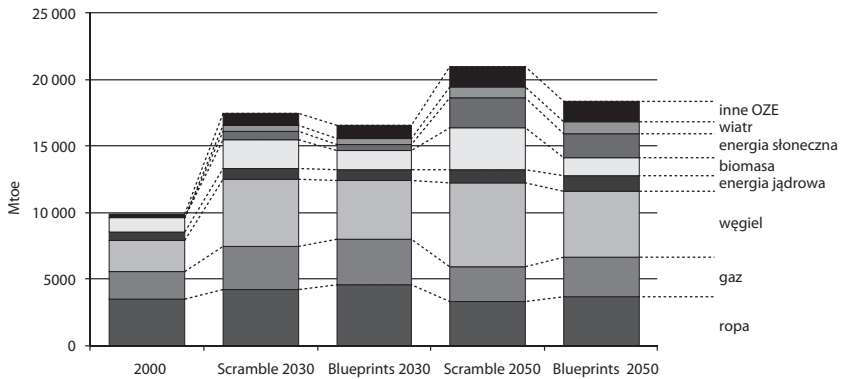
Źródło: jak pod wykresem 13.

**Wykres 13. Zużycie energii per capita w wybranych krajach w perspektywie roku 2050**



Źródło: Shell energy scenarios to 2050, [http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/dir\\_global\\_scenarios\\_07112006.html](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/dir_global_scenarios_07112006.html).

**Wykres 14. Zużycie energii w analizowanych scenariuszach**



Źródło: jak pod wykresem 13.

### Tendencje cen paliw

Jednym z ważniejszych aspektów polityki energetycznej są ceny paliw, szczególnie ropy naftowej wrażliwej na sytuację polityczną i rynkową. W omawianych wyżej opracowaniach, poziom cen paliw jest kształtowany przez procesy długoterminowe, czyli decyduje stan zasobów i koszty pozycy-

skania energii. Jeśli nie ma ograniczenia bazy surowcowej, przedsiębiorcy w ciągu kilku lat, nawet z pewnym wyprzedzeniem, są w stanie dostosować zdolności produkcyjne do popytu<sup>17</sup>. Dlatego też w opracowaniach sprzed roku 2007 nie przewidziano znacznego wzrostu cen ropy i późniejszego jej spadku<sup>18</sup>.

Cena ropy powinna wzrastać w miarę wyczerpywania jej zasobów, a ponieważ jest ona pewnym punktem odniesienia, rosnąć będą też ceny gazu i innych nośników. Skala tych wzrostów jest podobna. W raporcie WETO H<sub>2</sub> przyjęto trzy różne ścieżki wzrostu, przy czym reprezentują one obecnie rozważane prognozy (wykres 15).

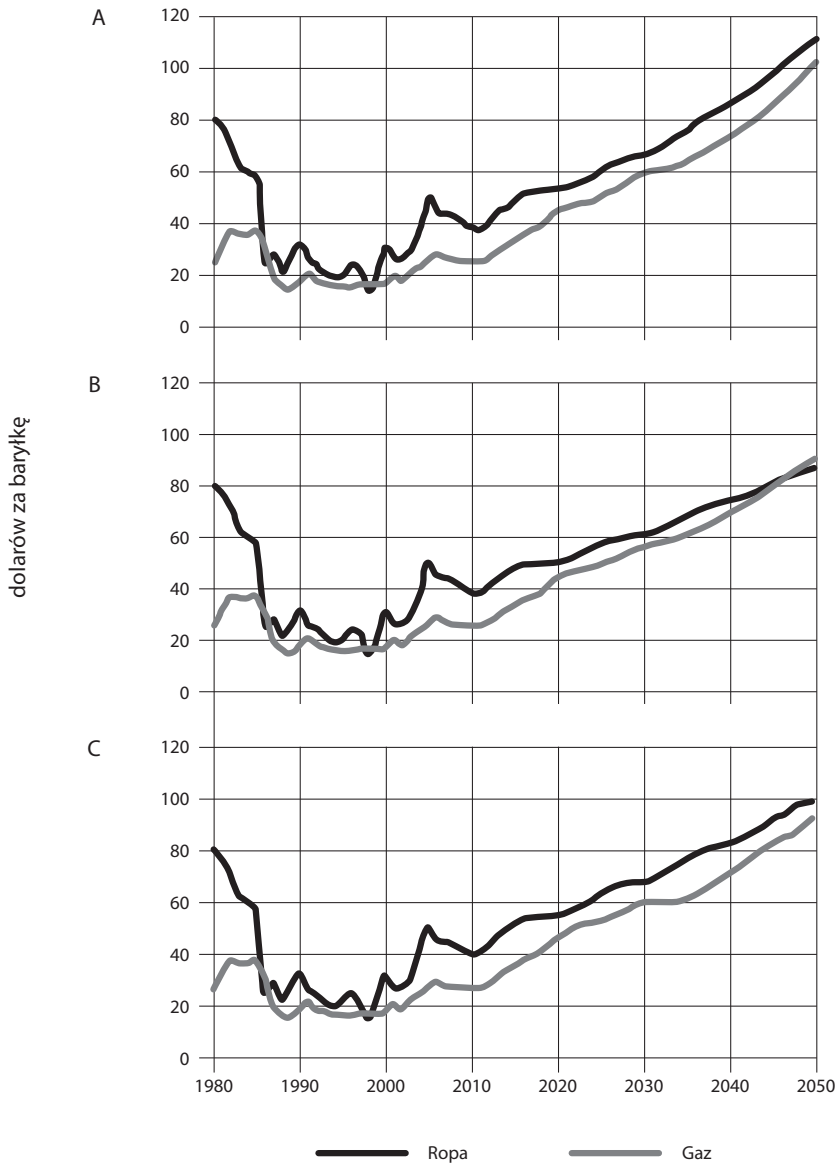
Ceny nośników energii mają systematycznie rosnąć wskutek wyczerpywania zasobów i konieczności rozwoju technologii wydobycia i przemian energetycznych. Wzrost cen w trzech scenariuszach WEO 2009 oraz według polskich założeń do polityki energetycznej<sup>19</sup> pokazano na wykresie 16. Widoczne są na nim pewne różnice w stosunku do poprzednio pokazanej prognozy, lecz ogólne tendencje pozostają podobne. Granice górne i dolne scenariuszy WEO zakresu cen posłużyły do pewnych analiz wrażliwości, jednak można je potraktować jako oczekiwane zakresy zmian. W scenariuszu odniesienia jedynie w przypadku węgla kamiennego oczekuje się niewielkiego spadku cen (10%) między rokiem 2008 a 2030. Ceny ropy i gazu powinny wzrosnąć odpowiednio o 20% i 40%. Należy jednak zauważyć, że od roku 2000 do 2008 ceny wzrosły trzykrotnie i nie był to wynik drastycznego wzrostu kosztów technologii pozyskiwania i przetwarzania energii. Poziomy cen roku 2008, złagodzone przez równoczesny spadek kursu dolara, nie są uważane za przyczynę kryzysu, jednak wydają się być górnym pułapem cen, akceptowalnym przez gospodarkę. Pokazane na tym tle prognozy przyjęte dla Polski są zasadniczo zbieżne, nawet pokrywają się w odniesieniu do gazu ziemnego (WEO, scenariusz odniesienia). Polska prognoza cen ropy jest powyżej cen odniesienia, ale poniżej scenariusza wysokiego. Ceny węgla (w imporcie do Polski) pokrywają się z cenami scenariusza wysokiego WEO (średnie ceny dostaw do krajów OECD), co z jednej strony wydaje się być usprawiedliwione dodatkowymi kosztami transportu, ale z drugiej

<sup>17</sup> Wystarczy wspomnieć sytuację znacznego ograniczenia produkcji w przemyśle stalowym w roku 2008 lub rozbudowy zdolności eksportowych gazu ziemnego w roku 2009 w oczekiwaniu na przewidywany deficyt dostaw gazu w USA, które zresztą nie będą wykorzystane.

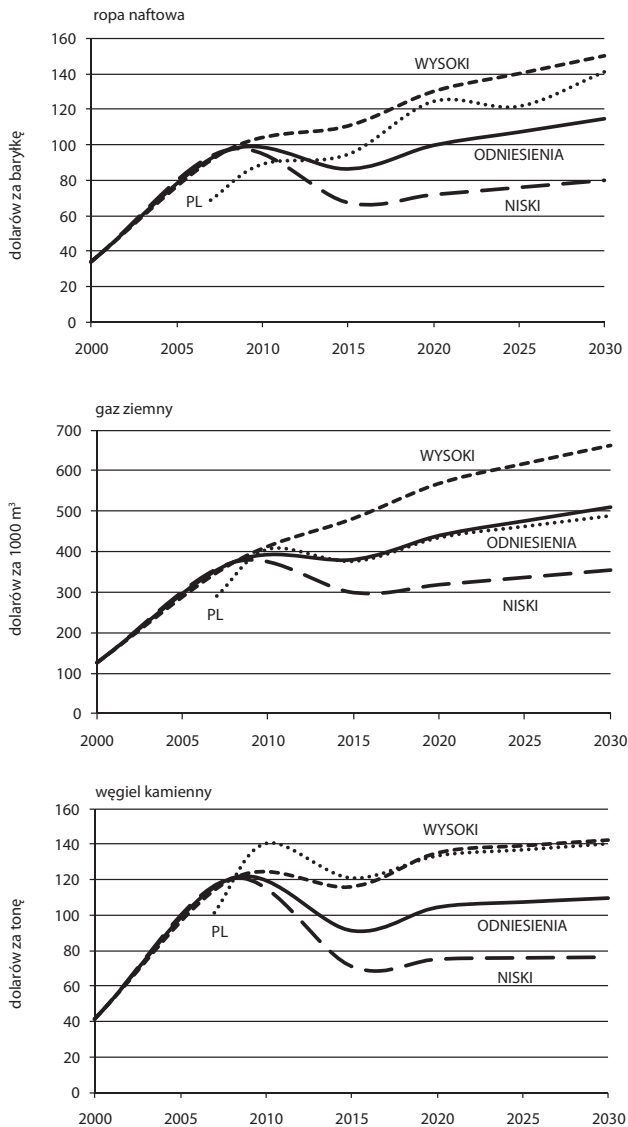
<sup>18</sup> Należy tu jednak podkreślić, że modele i opracowania krótkoterminowe powinny taki wzrost przewidzieć.

<sup>19</sup> „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2 do projektu „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, 2009.

**Wykres 15. Tendencje wzrostu cen ropy w raporcie WETO H<sub>2</sub> w scenariuszach A – referencyjnym, B – ograniczeń emisji, C – H<sub>2</sub>**



**Wykres 16. Tendencje wzrostu światowych cen nośników przyjęte w raporcie *World Energy Outlook 2009* oraz w polskiej prognozie zapotrzebowania (PL)**



Źródło: *World Energy Outlook 2009*, IEA, <http://www.iea.org/weo/2009.asp>; „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2 do projektu „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, 2009.



strony poprawia konkurencyjność węgla krajowego. Według cytowanego dokumentu ceny węgla krajowego mają osiągnąć parytet importowy już w roku 2010, co przy wysokich cenach importowych stwarza możliwość wydobycia przy wyższych kosztach lub zyskach. Jeśli jednak światowe ceny węgla będą się kształtowały na poziomach scenariusza odniesienia WEO (czyli będą ponad 20% niższe), to dla polskiego górnictwa będzie to istotne pogorszenie konkurencyjności.

## Wnioski dla Polski

Najważniejszym wnioskiem dla Polski jako kraju, którego energetyka opiera się na węglu kamiennym i brunatnym, jest to, że paliwa te pozostaną nadal znaczącym nośnikiem energii. W większości przedstawionych prognoz całkowita ilość zużywanego węgla rośnie w scenariuszach zakładających brak polityk redukcji emisji dwutlenku węgla. Wprowadzenie takich polityk zmniejsza ilości spalane go węgla, ale nawet w perspektywie roku 2050 nie jest on całkowicie eliminowany.

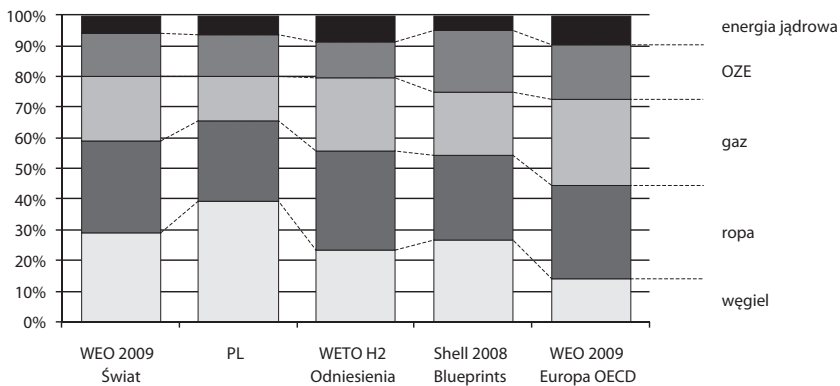
Porównanie struktur zużycia energii pierwotnej dla roku 2030, czyli dla horyzontu polskiej prognozy (wykres 17) pokazuje, że w przypadku Polski udział węgla w dostawach energii pierwotnej (39%) jest duży, prawie trzykrotnie większy niż w europejskich krajach OECD (14%), ale nie odbiega aż tak bardzo od średniej globalnej (24–29%).

Udział gazu ziemnego jest mniejszy niż w innych krajach. Jedną z przyczyn jest jego cena. Należy jednak rozważyć zwiększenie zużycia i dywersyfikację dostaw gazu – zwiększenie liczby dostawców przez dalszą rozbudowę terminali LNG. W najbliższych latach dostawy tą drogą mogą stać się konkurencyjne dla dostaw rurociągami do Polski<sup>20</sup>. Liczba potencjalnych dostawców wzrasta, wielu eksporterów, wobec braku innych możliwości eksportu, rozwija tę technologię. Gaz ziemny pozwala produkować energię elektryczną i ciepło w technologiach skojarzonych przy niskich emisjach i wysokich sprawnościach przetwarzania. Dla oczekiwanej polityki redukcji emisji CO<sub>2</sub> stosowanie gazu w generacji jest pewną perspektywą, zwłaszcza że w dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”<sup>21</sup> planuje

<sup>20</sup> Według informacji „Rzeczpospolitej” cena skroplonego gazu z Kataru na rynkach spot w Wielkiej Brytanii wynosiła 75 dolarów/1000 m<sup>3</sup>, podczas gdy cena dla długoterminowych kontraktów z GAZPROM-em wynosiła od 220 do 240 dolarów/1000 m<sup>3</sup>, *Katar odbiera Rosji część europejskiego rynku gazu*, „Rzeczpospolita” z dn. 15 grudnia 2009 r., s. B5.

<sup>21</sup> „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, 2009.

**Wykres 17. Prognozy struktury zużycia energii pierwotnej w roku 2030 na świecie i w Polsce (PL)**



Źródło: na podstawie *World Energy Outlook 2009*, IEA, <http://www.iea.org/weo/2009.asp>; *World Energy, Technology and Outlook – WETO H<sub>2</sub>*, European Commission, 2006, [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf); *Shell energy scenarios to 2050*, 2008, [http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/dir\\_global\\_scenarios\\_07112006.html](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/dir_global_scenarios_07112006.html); „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2 do projektu „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, 2009.

się promowanie energetyki skojarzonej, w tym z zastosowaniem jednostek o mocach rzędu 1MW i mniejszych.

Znaczny wzrost bezwzględnej ilości i udziału energii odnawialnych stwarza pewne wyzwania, zwłaszcza dla Polski. Zasoby energii odnawialnej nie pozwalają na uzyskanie dominującego poziomu przyszłych dostaw energii z tych źródeł. Niemniej udział rządu 15% w roku 2030 i ilość 16 Mtoe przy obecnej około 5 Mtoe to wzrost ponadtrzykrotny. Polska nie dysponuje własnymi technologiami (może poza energią wodną i geotermalną), co stawia ją w sytuacji importera technologii. Nie należy też oczekiwać, że przy obecnych nakładach na naukę uda się szybko opracować technologie konkurencyjne dla dostępnych na globalnym rynku. Pewną szansą mogą stać się technologie niszowe, specyficzne dla warunków Polski. Konieczne jest wsparcie odpowiednich prac badawczych, a potem aplikacyjnych.

## Podsumowanie

Zaprezentowany przegląd raportów o perspektywach energetyki wskazuje na zróżnicowanie poglądów na temat kierunków jej rozwoju i prognoz dotyczących aspektów ilościowych i jakościowych.

Nowym problemem energetyki będzie ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, których energetyka jest największym źródłem. Skutki emisji dwutlenku węgla mają zasięg globalny, stąd i problemy rozwoju energetyki nie mogą być już rozwiązywane wyłącznie na poziomie krajowym. Potrzebna jest globalna polityka zrównoważonego rozwoju energetycznego, która z jednej strony będzie dążyć do redukcji emisji gazów cieplarnianych, a z drugiej nie ograniczy rozwoju gospodarczego krajów obecnie mniej rozwiniętych. Zróżnicowanie priorytetów polityki energetycznej i ekologicznej oraz uzależnienie ich od poziomu rozwoju, staje się rozwiązaniem umożliwiającym zaangażowanie wszystkich krajów w realizację celu globalnej redukcji emisji gazów cieplarnianych. Przyczynia się do poprawy stanu środowiska bez negatywnych skutków dla rozwoju gospodarczego całego świata.

Polskie prognozy rozwoju energetyki są zbieżne ze studiami globalnymi. Podobne stawia się priorytety, zbliżone są wyniki. Struktura dostaw energii odbiega od średniej światowej, a zwłaszcza europejskiej. Powodem tego jest duży udział węgla kamiennego, który jednak i w świecie pozostanie znaczącym nośnikiem dla wytwarzania energii elektrycznej.

## Bibliografia

A.D. Ellerman, P.L. Joskow, D. Harrison, (2003), *Emissions trading in the U.S. Experience, Lessons, and Considerations for Greenhouse Gases*, Pew Center on Global Climate Change.

B.R. Martin, (2001), *Technology foresight in a rapidly globalizing economy*, paper presented at Regional Conference on Technology Foresight for CEE and NIS countries. Vienna.

Meadows i in., *Granice wzrostu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1973.

B. Schade, T. Wiesenthal, Comparison of Long-Term World Energy Studies. Assumptions and results from four world energy models, European Commission Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, EUR 22938 EN – 2007.

Katar odbiera Rosji część europejskiego rynku gazu, „Rzeczpospolita” z dn. 15 grudnia 2009 r., s. B5.

*The Outlook for Energy: A View to 2030*, [http://www.exxonmobil.com/Corporate/energy\\_o.aspx](http://www.exxonmobil.com/Corporate/energy_o.aspx).

*Shell energy scenarios to 2050*, 2008, [http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/dir\\_global\\_scenarios\\_07112006.html](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/dir_global_scenarios_07112006.html).

Shell scenarios, [http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our\\_strategy/shell\\_global\\_scenarios/previous\\_scenarios/previous\\_scenarios\\_30102006.html](http://www.shell.com/home/content/aboutshell/our_strategy/shell_global_scenarios/previous_scenarios/previous_scenarios_30102006.html).

*2007 Survey of Energy Resources*, World Energy Council 2007, [http://www.worldenergy.org/documents/ser2007\\_executive\\_summary.pdf](http://www.worldenergy.org/documents/ser2007_executive_summary.pdf).

*Survey of Energy Resources, Interim Update 2009*, World Energy Council 2009, [http://www.worldenergy.org/publications/survey\\_of\\_energy\\_resources\\_interim\\_update\\_2009/default.asp](http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_interim_update_2009/default.asp).

Stany Zjednoczone Ameryki, Departament Energetyki, prognozowanie, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/forecasting.html>.

*Statistical Review of World Energy 2009*, <http://www.bp.com/productionlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>.

*World Energy Outlook 2009*, IEA, <http://www.iea.org/weo/2009.asp>.

*World Energy Technology and Climate Policy Outlook – WETO 2030*, European Commission, 2003, [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto_final_report.pdf).

*World Energy Technology and Outlook – WETO H<sub>2</sub>*, European Commission, 2006, [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf).

„Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, 2009.

„Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2 do projektu „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Ministerstwo Gospodarki, 2009.