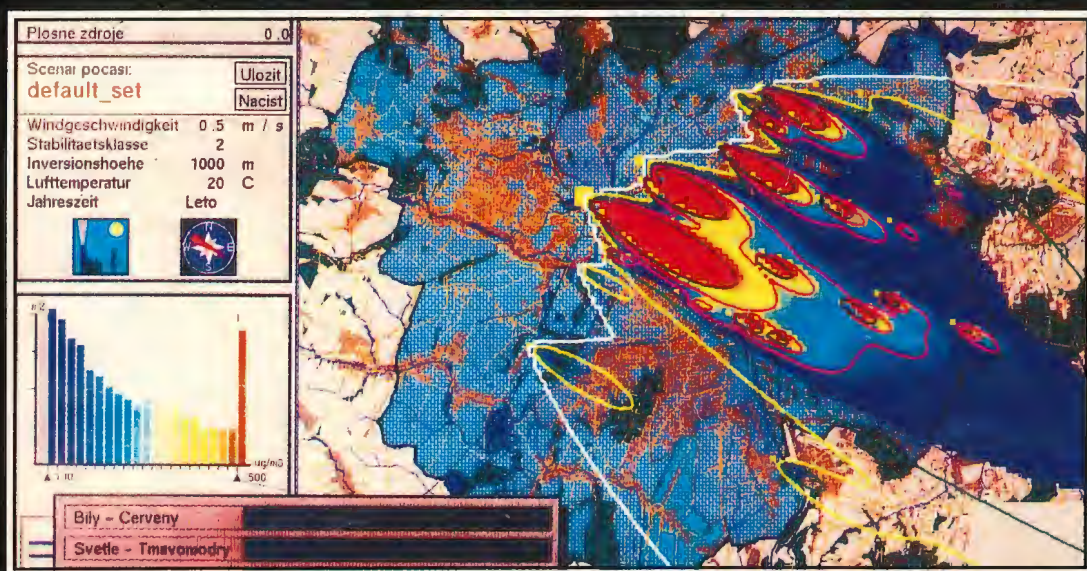


\* Polski Zespół ds. Współpracy z IIASA \*  
\* Instytut Badań Systemowych PAN \*

# ANALIZA SYSTEMOWA I JEJ ZASTOSOWANIA



INTERDYSCYPLINARNOSC \* DEMOGRAFIA \* PRZEKSZTALCENIA  
GOSPODARCZE \* SRODOWISKO \* LASY \* ENERGETYKA \*  
ZASOBY WODNE \* METODY I TECHNIKI SYSTEMOWE

*Materiały z konferencji "Dni Międzynarodowego Instytutu  
Stosowanej Analizy Systemowej"*

*Warszawa, Pałac Staszica, 20-21 kwietnia 1993*

**Redaktor**  
**JAN W. OWSIŃSKI**

\* Polski Zespół ds. Współpracy z IIASA \*  
\* Instytut Badań Systemowych PAN \*

---

---

# ANALIZA SYSTEMOWA I JEJ ZASTOSOWANIA

*Materiały z konferencji "Dni Międzynarodowego Instytutu  
Stosowanej Analizy Systemowej"  
Warszawa, Pałac Staszica, 20-21 kwietnia 1993*

Redaktor  
JAN W. OWSIŃSKI

Warszawa, grudzień 1993

**Niniejsza publikacja została wydana dzięki dofinansowaniu  
przyznanemu przez Komitet Badań Naukowych**

**© Polska Akademia Nauk**

**ISBN 83 - 85847 - 25 - 1**

*Na okładce wykorzystano fragment postaci ekranu z jednego  
z systemów oprogramowania przeznaczonych do celów  
przestrzennej analizy środowiskowej, opracowanego w ramach projektu  
IIASA - ZAAWANSOWANYCH ZASTOSOWAN KOMPUTEROWYCH  
we współpracy z zespołem z IBS PAN w składzie:  
P.Holnicki, A.Katuszko i A.Żochowski.*

42859

**Skład i opracowanie tekstu:  
Dział Wydawniczy Instytutu Badań Systemowych PAN**

**Druk i oprawa: ZWP SYNPRESS, Łomianki, ul. Łąkowa 17  
tel./fax 511-745**



# ŚRODOWISKO I ZASOBY NATURALNE

## STRATEGIE ROZWOJU ENERGETYKI A EMISJE GAZÓW POWODUJĄCYCH EFEKT SZKLARNIOWY\*

**Nebojša Nakićenović**

Międzynarodowy Instytut Stosowanej Analizy Systemów  
Laxenburg, Austria

### 1. Wprowadzenie

Dalszy rozwój społeczny i gospodarczy świata będzie prowadził do wzrostu globalnego zużycia energii. Z tego niewątpliwie wynika, że jeśli nie zostaną przedsięwzięte odpowiednie środki przeciwdziałające emisjom gazów prowadzących do efektu szklarniowego (GES), to emisje te będą nadal się powiększać w ciągu XXI wieku, być może osiągając poziomy powyżej norm akceptowalnych z punktu widzenia środowiska naturalnego. Tak więc, może okazać się koniecznym ograniczenie źródeł emisji gazów "szklarniowych", i to w możliwie największym stopniu, a równocześnie powiększenie możliwości absorpcji tych gazów przez naturalne układy absorbujące i zarazem stworzenie nowych takich układów, do

\* Niniejszy artykuł jest w znacznej mierze oparty na Nakićenović (1992b), tj. Nebojša Nakićenović, *Energy Strategies and Greenhouse Gas Emissions*. International Journal of Global Energy Issues, 1992, vol.4, no.4, ss.247-255.

celów magazynowania węgla usuniętego z paliw kopalnych. Istnieje wiele zagadnień, przed którymi stoi ludzkość, a przeto i dostępne - ograniczone - zasoby, które mogą być użyte w celach inwestycyjnych i konsumpcyjnych, muszą być odpowiednio rozdzielone. Niezbędne staje się przeprowadzenie porównawczej oceny różnych strategii przeciwdziałania globalnemu ociepleniu i dostosowania się do niego. Taka właśnie ocena stanowi główną część bieżącego studium prowadzonego w ramach projektu Środowiskowo Spójnych Strategii Rozwoju Energetyki (z angielskiego - ECS), prowadzonego w IIASA.

W artykule przedstawiono częściowy przegląd wyników prowadzonych prac badawczych w tym zakresie, począwszy od danych stanowiących podsumowanie obecnych emisji dwutlenku węgla i metanu na świecie. Dane te wskazują na znaczne różnice pomiędzy poszczególnymi krajami, a także pomiędzy Północą i Południem. Kraje uprzemysłowione, w których mieszka obecnie 20% ludności, emitują 80% całego dwutlenku węgla, jaki pojawia się w atmosferze ziemskiej ze źródeł sztucznych. Patrząc z nieco bardziej pozytywnego punktu widzenia należy stwierdzić, że względna intensywność zużycia energii i globalnej działalności gospodarczej zmniejszały się stale od początku rewolucji przemysłowej. Niestety, prędkość dekarbonizacji nie jest wystarczająca do przeciwdziałania wzrostowi emisji w liczbach bezwzględnych. Tak więc należy się spodziewać dalszego wzrostu, co zostanie zilustrowane niektórymi z najważniejszych scenariuszy dotyczących globalnego rozwoju w zakresie energii, zgodnie z wynikami corocznego seminarium roboczego nt. energii organizowanego przez IIASA (IEW - International Energy Workshop), na którym rozważa się, w szczególności, prognozy dotyczące rozwoju sektora energii i dynamikę tych prognoz.

Większość scenariuszy przewiduje dalszy wzrost ilości dwutlenku węgla na skalę globalną. Wskazuje to na wielkość ewentualnych trudności przy próbach osiągnięcia rzeczywistych redukcji emisji na skalę światową w czasie nadchodzących dziesięcioleci. Przykłady polityk, które mogą być w tym kontekście realizowane obejmują podatek węglowy i schematy równej redukcji na głowę ludności. Artykuł zawiera odniesienia do możliwych alternatyw technologicznych, mających na celu osiągnięcie znacznej redukcji emisji. Zaliczyć tu należy poprawę sprawności użytkowania energii oraz przejście do źródeł energii o niższej intensywności węglowej, jak na przykład gaz ziemny. W dłuższej perspektywie, należy się spodziewać, że atrakcyjna może się stać opcja zero-węglowa, przy decydującym udziale energetyki atomowej oraz słonecznej, a także znacznym



wkładzie innych źródeł odnawialnych.\* Analiza tych wszystkich możliwości przybiera formę energetycznych ciągów technologicznych, poczynając od dostępnej energii, a kończąc na jej źródłach. Informacja użyta do tego celu została zgromadzona w bazie danych dotyczącej przeciwdziałania emisjom dwutlenku węgla, opracowanej w IIASA. Podane są reprezentatywne możliwości przeciwdziałania emisjom CO<sub>2</sub> i koszty realizacji tych możliwości, dla celów ilustracji wielkości - wspólnego - obciążenia gospodarczego związanego z redukcją emisji na skalę globalną.

Przy analizie oddziaływań między energetyką a środowiskiem należy także zwracać uwagę na zagadnienia dotyczące stylów życia i zachowań rzutujące na ostateczne zużycie energii, których zbadanie umożliwi zarówno wskazanie wielkości istniejącego potencjału w zakresie osiągania ekologicznie spójnych dróg rozwoju energetyki, jak i trudności z realizacją takich celów w praktyce.

## 2. Tło zagadnienia

Po niemal dwudziestu latach badań nad rozwojem energetyki na skalę globalną, regionalną i narodową, zmieniło się spojrzenie na główne siły napędowe przyszłej ewolucji systemów energetycznych. Kwestie odpowiedniej fizycznej i gospodarczej dostępności zasobów ustąpiły miejsca różnącej świadomości co do globalnych, długofalowych skutków środowiskowych produkcji, konwersji i użytkowania energii. Dotyczy to w szczególności rosnącego zaniepokojenia energetycznymi emisjami gazów powodujących efekt szklarniowy (GES), a więc zwłaszcza dwutlenku węgla, i ich ewentualnym wpływem na zmiany o charakterze globalnym.

W latach siedemdziesiątych głównym przedmiotem badań wielu projektów naukowych dotyczących energii była dostępność zasobów i hipotetyczne perspektywy czasowe wprowadzenia do użytkowania nowych źródeł energii. Akcentowano zwłaszcza aspekty techniczno-ekonomiczne formu-

\* W znacznej większości przypadków terminy "energetyka" czy "energetyczny", użyte w niniejszym tekście odnoszą się do całego cyklu gospodarczego produktów energetycznych i energii, a więc od wydobycia czy wytworzenia, poprzez przetwarzanie do konsumpcji końcowej, wraz z ich efektami, także ubocznymi (przyp. red.).



lowania polityk zmierzających rozwiązania problemu postrzeganego braku ropy naftowej oraz rosnących kosztów energii. W latach osiemdziesiątych akcent przesunął się z zaopatrzenia w surowce energetyczne, niezbędnego do przyszłego rozwoju systemów energetycznych, w kierunku sterowania popytem i bardziej racjonalnego użytkowania energii. Co może najbardziej ważne w tym kontekście, to fakt, że przedsiębrane badania wskazywały na wielki potencjał w zakresie poprawy sprawności, zwłaszcza jeśli idzie o końcowe użytkowanie energii, a także na wagę problemów zachowań społecznych dla przyszłej ewolucji systemów energetycznych.

Głównym zagadnieniem w obecnej chwili jest pytanie, czy będzie w ogóle możliwym kontynuowanie zużycia energii przy dzisiejszej, lub nawet wyższej, intensywności zużycia w przyszłości. Tym, co się w sposób zasadniczy, a nawet dramatyczny zmieniło, jest zastąpienie wielkości dostępnych zasobów surowców energetycznych jako ostatecznej bariery rozwoju systemów energetycznych przez ryzyko niekorzystnych zmian globalnych. Tak więc, to właśnie środowisko naturalne może być traktowane jako kluczowy zasób globalny, zastępując w tej roli pokłady surowców energetycznych.

Zawartość dwutlenku węgla w atmosferze jest obecnie oceniana na około 760 Gigaton (Gt) [miliardów ton] równoważnika węglowego, zaś roczne emisje węgla w postaci CO<sub>2</sub> wynikające z użytkowania kopalnych nośników energii wynoszą około 6 Gt. Należy zwrócić uwagę, że całkowita zawartość węgla w atmosferze jest mniej niż cztery razy większa od skumulowanych [w czasie] emisji węgla wynikających z użytkowania kopalnych źródeł energii (około 200 Gt). Stanowi to dobrą ilustrację rozmiarów zakłócenia cyklu węglowego w przyrodzie. W porównaniu do zaszczości w zakresie emisji węgla pozostały zasób tego pierwiastka, znajdujący się w ziemi w postaci surowców energetycznych jest większy o rzędy wielkości. W Tablicy 1 pokazano, że **ekonomicznie eksploatowane zasoby** energetyczne wynoszą około 540 Gt węgla, co odpowiada mniej więcej masie węgla w atmosferze. Dalsze trzy tysiące Gt węgla zawartych jest w ocenach **rozpoznanych zasobów**, których wartość i opłacalność eksploatacji nie jest jeszcze dokładnie ustalona, a następne pięć tysięcy Gt węgla odpowiada **dotatkowym**, raczej **hipotetycznym zasobom**, których wielkość została oszacowana, ale których dostępność techniczna i opłacalność eksploatacji nie zostały zbadane. Pokazuje to wyraźnie, że nawet obecnie znane zasoby energii z nośników kopalnych, jeśliby założyć, że zostaną zużyte, są wystarczające do podniesienia zawartości węgla



w atmosferze o rząd wielkości. Tak więc przyszłe polityki energetyczne muszą być oparte na zasadach zachowania ostrożności prowadzących do ograniczania, a nawet zmniejszania przyszłych emisji gazów powodujących efekt szklarniowy. W efekcie [świadomości co do powyższych faktów] ogłoszono cały szereg planów redukcji emisji dwutlenku węgla, których celem jest ustabilizowanie, a w niektórych przypadkach i zmniejszenie wielkości dalszych emisji.

### 3. Emisje dwutlenku węgla a globalne kwestie energetyki

Perspektywa ewentualnego ocieplenia klimatu na Ziemi była przez wiele lat przedmiotem prac Międzyrządowego Panelu Zmian Klimatycznych [IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change], Intergovernmental... (1990), w wyniku których, między innymi, poszerzona została wiedza w tej dziedzinie przez przeprowadzenie analiz globalnych emisji gazów powodujących efekt szklarniowy, ich zawartości w atmosferze, ich wpływu i potencjalnych strategii przeciwdziałania, a także opracowano szereg scenariuszy opisujących możliwe przyszłe drogi rozwoju sytuacji w zakresie globalnych emisji GES. W Scenariuszu Kontynuacji Trendów ["business-as-usual"] emisje GES powiększają się stopniowo, prowadząc do potrojenia ich zawartości w atmosferze, w porównaniu ze stanem obecnym, około roku 2100. Rys. 1 przedstawia przewidywany w ramach tego scenariusza rozwój emisji dwutlenku węgla wynikających ze zużycia energii. Wspomniany panel, IPCC, ocenia, że przy realizacji tego scenariusza średnia temperatura na Ziemi będzie rosła o około 0.3 stopnia Celsjusza na dziesięć lat i osiągnie poziom wyższy o 3 do 6 stopni niż w okresie przed rozwojem przemysłu.

Ponieważ wspomniane oceny globalnego ocieplenia są obarczone znacznym stopniem niepewności, zasada ostrożności, o której już wspomniałem, prowadzi do uznania zmniejszenia emisji za rozsądną reakcję na ewentualność zaistnienia konsekwencji, które byłyby niekorzystne dla ludzkości, jeśliby obecne tendencje się utrzymały. W związku z tym IPCC opracował także inne scenariusze, w których, na przykład, atmosferyczne zawartości GES stabilizują się na poziomie nieco powyżej dwukrotnego powiększenia ilości równoważnego dwutlenku węgla, a potem są jeszcze zredukowane. I tak, jednym z tych scenariuszy jest Scenariusz Przyspieszonych Polityk (zilustrowany również na Rys. 1), w którym obecne emisje dwutlenku węgla wynikające z użytkowania energii pochodzącej ze źródeł



kopalnych są w przybliżeniu obniżone do połowy, a więc do 6 Gt węgla, do roku 2050.

**Tablica 1. Zużycie energii ze źródeł kopalnych, zasoby i rezerwy energetyczne ze źródeł kopalnych (w Gt węgla) w odniesieniu do emisji węgla. Poszczególne pojęcia wyjaśniono w tekście artykułu. Źródło: Grubler i Nakićenovic (1991).**

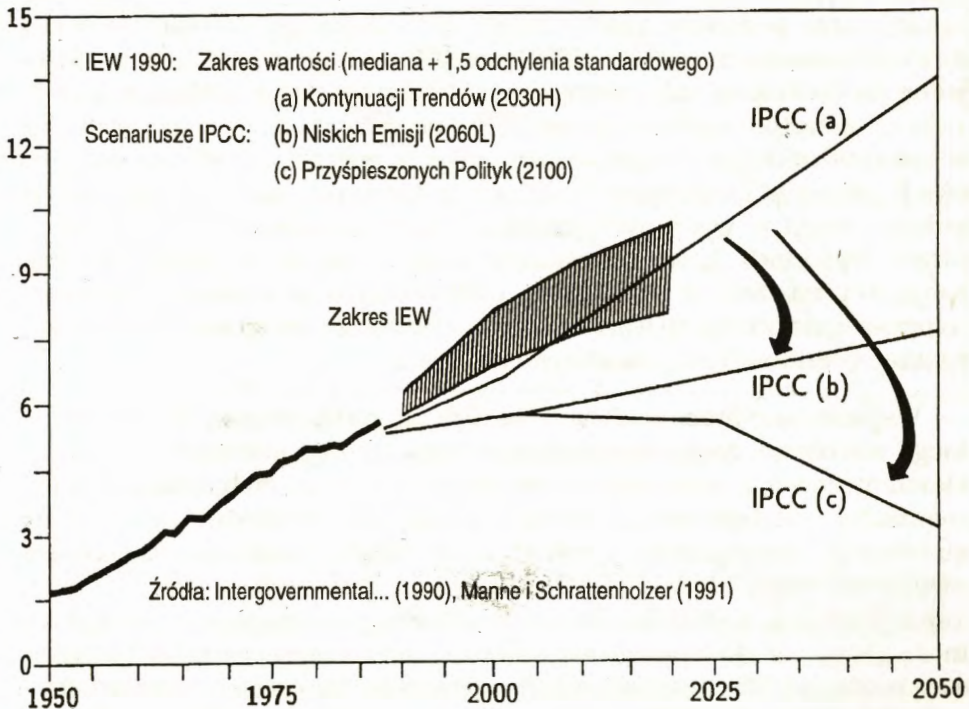
	Węgiel	Ropa naftowa	Gaz ziemny	Razem
<b>1860 - 1987</b>	<b>114.9</b>	<b>58.2</b>	<b>24.5</b>	<b>197.6</b>
<b>1987</b>	<b>2.5</b>	<b>2.4</b>	<b>1.0</b>	<b>5.9</b>
<b>Zasoby ekonomicznie eksploatowalne</b>	<b>391.6</b>	<b>92.1</b>	<b>58.5</b>	<b>542.2</b>
<b>Zasoby rozpoznane</b>	<b>2289</b>	<b>622</b>	<b>&gt;115</b>	<b>3026</b>
<b>Zasoby dodatkowe</b>	<b>&gt;3500</b>	<b>&gt;1000</b>	<b>&gt;700</b>	<b>&gt;5200</b>

Od roku 1981 Uniwersytet Stanforda i IIASA organizowały wspólnie Międzynarodowe Seminarium Robocze ds. Energii [IEW, International Energy Workshop], którego jednym z głównych celów było porównanie prognoz energetycznych opracowywanych przez różne grupy specjalistów na świecie i przeanalizowanie różnic między nimi, Manne i Schrattenholzer (1991). Mediana [wartość odpowiadająca środkowi rozkładu prawdopodobieństwa, w tym przypadku rozkładu opinii] globalnych wartości emisji dwutlenku węgla wyliczonych na podstawie ocen globalnego zużycia energii analizowanych przez IEW, co w naszej interpretacji jest traktowane jako bieżący "pogląd konsensowy", odpowiada rocznemu wzrostowi o jeden procent, to znaczy wzrostowi z obecnych 6 Gt węgla do około 9 Gt węgla w roku 2020, z zakresem możliwych wyników między 8 i 10 Gt, jak to pokazano na Rys. 1. Jakkolwiek ta prognoza wysnuta przez IEW układa się poniżej Scenariusza Kontynuacji Trendów IPCC dla tego samego roku,

to jednak zakres możliwych wartości podany przez IEW budzi wątpliwości co do tego, jak nakreślony trend mógłby zostać "zgięty" w dół, to znaczy, na przykład, zgodnie ze Scenariuszem Przyspieszonych Polityk IPCC. Wszystko to stanowi mocną podstawę do przypuszczeń, że jeśli nie podejmie się właściwych kroków, to globalne emisje węgla będą wzrastać, być może ponad poziomy uznane za dopuszczalne z punktu widzenia środowiska.

Tak więc spojrzenie na czynniki limitujące przyszłe użytkowanie energii zmieniło się, podczas gdy główne siły napędowe rozwoju w tej dziedzinie pozostały te same - wzrost liczby ludności i rozwój gospodarczy. Niektóre z podejmowanych środków i opracowywanych strategii, które wydawały się być pożądane w przeszłości, wydają się jednak zachowywać

Gigatony C



Rys. 1. Historyczne i przyszłe globalne emisje CO<sub>2</sub> związane z energetyką. Od roku 1950 do chwili obecnej emisje wzrastały o około 2% rocznie. Dane pochodzą z prac IEW i IPCC, wspomnianych w tekście.



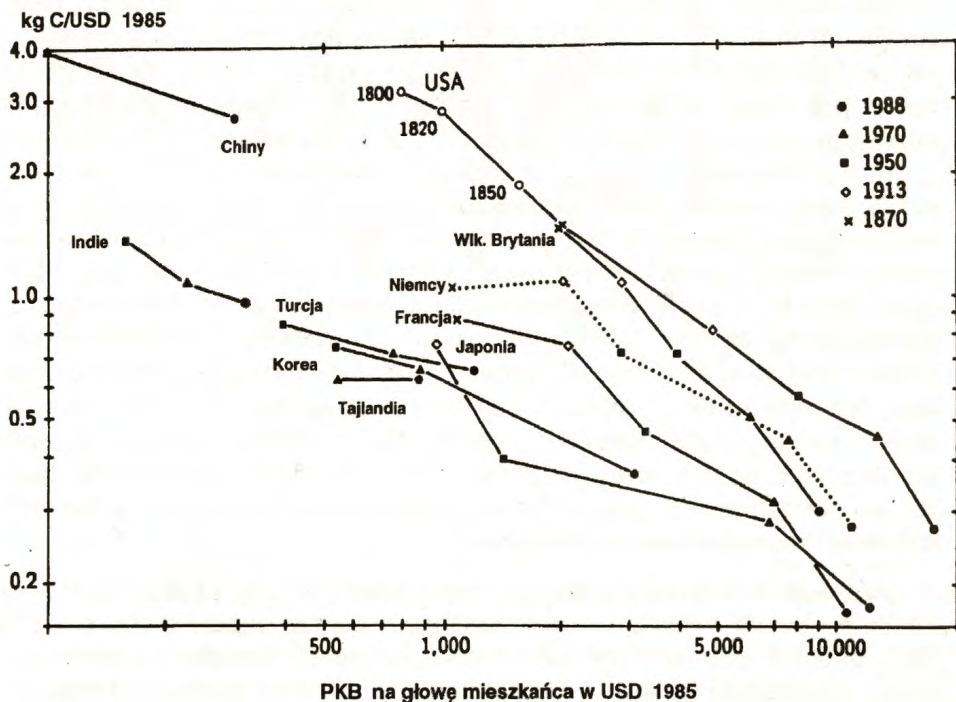
swoją ważność niezależnie od wspomnianych zmian w percepcji. I tak, na przykład, poprawa sprawności energetycznej i oszczędność energii są drogami do zmniejszenia zapotrzebowania na energię pochodzącą z zasobów kopalnych, a zatem i do zmniejszenia wielkości emisji.

#### **4. Strategie rozwoju energetyki zgodne z przesłankami środowiskowymi**

Wysiłek badawczy w dziedzinie energii i środowiska podjęty w Międzynarodowym Instytucie Stosowanej Analizy Systemowej, IIASA, skupia się na formułowaniu długofalowych możliwości wyboru i konkretnych strategii w zakresie takiego rozwoju energetyki, który byłby zgodny z przesłankami o charakterze środowiskowym. Celem tych prac w IIASA jest opracowanie podejścia analitycznego, pozwalającego oceniać polityki i strategie rozwoju energetyki, przede wszystkim w skali globalnej, nakierowane na opóźnienie lub zmniejszenie rozmiarów zmian globalnych. Jednym z konkretniejszych celów jest ocena przyszłych możliwości i wielkości w zakresie redukcji intensywności zużycia energii i węgla na świecie. Rys.2 pokazuje historyczne tendencje w kierunku poprawy sprawności zużycia węgla w wybranych krajach. Chodzi o przeanalizowanie przyszłych trajektorii, które odpowiadać będą zmianom w poszczególnych krajach i na świecie w całości, prowadzącym w kierunku dalszego usprawnienia produkcji wartości dodanej w sensie emisji na jej jednostkę, zgodnie z tendencjami pokazanymi na Rys.2.

Wspomniane prace badawcze bazują na kompleksowej ocenie szerokiego wachlarza *opcji* (dostępnych technologii, odpowiednich motywacji ekonomicznych, a także ram instytucjonalnych, w których następowałyby realizacja), niezbędnego do analizy globalnych możliwości w zakresie stabilizacji, zmniejszenia i ewentualnie nawet usuwania, zawartości dwutlenku węgla i innych GES z atmosfery, Nakićenović i John (1991). Takie podejście systemowe do oceny wkładu poszczególnych technologii może prowadzić do lepszego zrozumienia całkowitego potencjału zmniejszenia emisji GES w przyszłości. Znaczną część tej pracy stanowiło opracowanie inwentarza technologii usuwania emisji dwutlenku węgla. Ta baza danych będzie dostarczała informacji na temat charakterystyk technicznych różnych technologii, ich struktury kosztowej i oceny ekonomicznej, jak również profili środowiskowych, takich jak emisje jednostkowe. Szczególną cechą tego inwentarza technologii jest wskazywanie przezeń

możliwości zastosowania różnych technologii w rozmaitych warunkach technologicznych, gospodarczych czy kulturowych, a także specyfikacja horyzontu czasowego dostępności technologii i powiązań technologicznych, wstępujących i zstępujących, w obrębie systemu energetycznego,



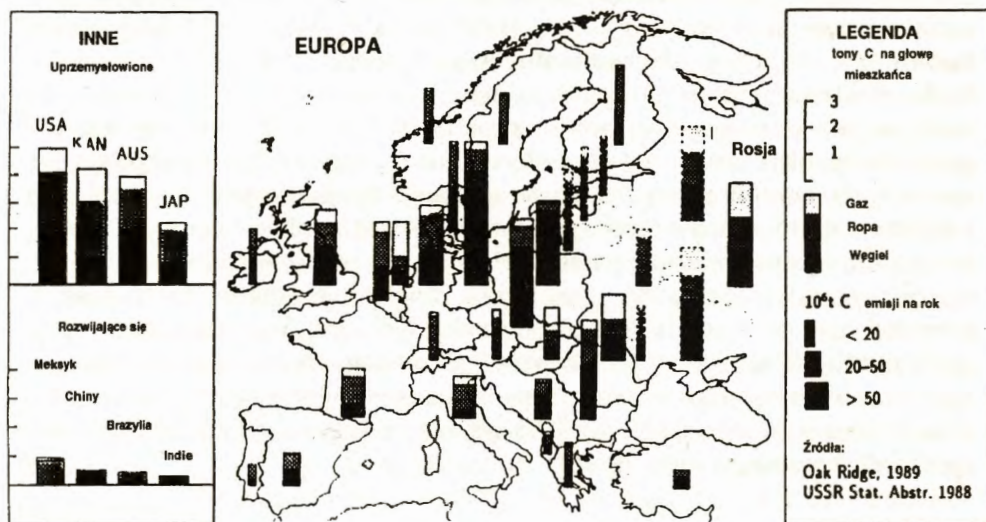
Rys. 2. Emisje CO<sub>2</sub> związane z energią na jednostkę Produktu Krajowego Brutto (PKB) w stałych dolarach USA 1985 w porównaniu z wartościami PKB na głowę mieszkańca, również w stałych dolarach USA 1985. Dane dotyczące energii obejmują również źródła niekomercyjne, takie jak drewno opałowe. W ogólności, węglchłonność działalności gospodarczej poprawia się w miarę jak wzrasta poziom rozwoju gospodarczego, ale pozostają znaczne różnice tego wskaźnika pomiędzy krajami o podobnych poziomach PKB na głowę mieszkańca. Pokazuje to, że kraje rozwinięte miały podobne węglchłonności, a zatem i emisje, na jednostkę PKB, we wczesnych fazach rozwoju [przemysłowego] do tych, jakie obecnie charakteryzują kraje rozwijające się, por. Grübler i Fujii (1991).



pozwalających na zastosowanie danej technologii.

Drugim podstawowym celem jest identyfikacja ograniczeń i warunków brzegowych na *strategie* zmierzające do osiągnięcia dróg rozwoju społecznego i ekonomicznego, które byłyby zgodne z przesłankami podtrzymalności ekologicznej. Strategie rozwoju będą określały różne ścieżki techniczno-ekonomiczne, społeczne [w tym i zachowań indywidualnych] i instytucjonalne prowadzące do odpowiednich dostosowań, w zależności od początkowych uwarunkowań technologicznych, gospodarczych i kulturalnych krajów o rozwiniętej przemysłowej gospodarce rynkowej, krajów w trakcie transformacji systemowej i krajów rozwijających się. Na Rys.3 pokazano wysoki stopień zróżnicowania pomiędzy krajami, jaki istnieje w zakresie emisji CO<sub>2</sub> związanych z energetyką. Porównano na tym rysunku emisje CO<sub>2</sub> na 1 mieszkańca dla różnych krajów, wskazujące zarazem zróżnicowanie charakteru systemów energetycznych, ale i struktur gospodarczych, a także uwarunkowań społecznych i kulturowych. Charakterystyczne jest tutaj zwłaszcza porównanie sytuacji USA i byłej NRD, w których to krajach poziomy emisji na głowę były podobne i najwyższe na świecie, jakkolwiek z zupełnie odmiennych przyczyn (por. podpis pod Rys. 3). Przy podobnych poziomach bogactwa narodowego niektóre inne kraje Europy Zachodniej oraz Japonia wykazują znacznie niższe emisje węgla, wskazując przez to, że dekarbonizacja, [a więc zmniejszenie węglochłonności gospodarki] i rozwój gospodarczy wzajemnie się nie wykluczają, pod warunkiem wszakże, że znajdzie się odpowiedni kształt zbioru realizowanych polityk.

Szczególnie uderzający jest rozdział między Północą a Południem co do wielkości emisji węgla z energetyki. Obecne emisje węgla na głowę różnią się o około 9 razy (średnio 3.3 tony węgla rocznie na głowę mieszkańca kraju uprzemysłowionego w porównaniu do 0.4 tony dla kraju rozwijającego się). Obciążenie [jakie niesie ze sobą przyszłość] dla krajów rozwijających się jest podwójne. Muszą one podnieść zużycie energii na głowę, aby poprawić poziom życia swoich obywateli, ale zarazem są znacznie bardziej narażone na konsekwencje zmian klimatycznych. Kraje uprzemysłowione są w znacznie lepszej sytuacji wyjściowej do osiągnięcia większych poziomów redukcji emisji w porównaniu z resztą świata, po pierwsze dlatego, że mają już wysokie poziomy emisji na głowę, a po drugie - mają znacznie większe możliwości gospodarcze i technologiczne. Jednocześnie, kraje uprzemysłowione mają większe możliwości przeciwdziałania i adaptacji w przypadku zmian klimatycznych.



Rys. 3. Emisje dwutlenku węgla na głowę mieszkańca wynikające z komercyjnego zużycia energii, dla wybranych krajów i według nośnika (w tonach węgla na rok na głowę mieszkańca). Graficzna prezentacja emisji węgla na głowę mieszkańca wskazuje znaczne zróżnicowanie sytuacji. Wynika to z różnych poziomów rozwoju gospodarczego, poziomów intensywności zużycia energii i sprawności jej użytkowania, jak również z odmienności struktur podaży nośników (a więc węgłochłonności tych struktur). Rysunek ilustruje też wyraźnie rozdział między Północą i Południem w dziedzinie emisji CO<sub>2</sub> związanych z energetyką. Warto też zauważyć wysokie wartości emisji na głowę mieszkańca w Europie Wschodniej, wynikające na ogół ze stosowania węgla. Nawet jednak jeśli emisje na 1 mieszkańca są podobne co do wartości, wynika to często z różnych przyczyn. I tak, na przykład, zarówno była NRD jak i USA mają na rysunku emisje na głowę przekraczające 5 ton węgla na rok. W przypadku USA wynika to z wysokiego poziomu konsumpcji energii i energochłonnego stylu życia, w tym, między innymi, dużego popytu na ropę do celów prywatnego transportu samochodowego. W byłej NRD natomiast było to wynikiem przede wszystkim struktury produkcji przemysłowej, nastawionej głównie na sektor dóbr inwestycyjnych, a także struktury podaży nośników energetycznych, z dominującą pozycją węgla brunatnego w bilansie energetycznym, por. Nakićenović i John (1991).



Powyższe rozważania sugerują, że przy braku odpowiednich środków zapobiegających, globalne emisje GES będą nadal wzrastać jeszcze przez wiele dziesiątków lat, być może osiągając poziom nieakceptowalny z punktu widzenia środowiska. Tak więc może okazać się rozsądnym zredukowanie emisji GES w możliwie największym stopniu, a jednocześnie rozbudowanie potencjału naturalnych możliwości absorpcyjnych dwutlenku węgla i stworzenie nowych takich możliwości, aby móc przechowywać węgiel uwolniony z paliw kopalnych. To, czy przyszły rozwój gospodarki światowej będzie odbywał się przy użyciu energetycznie sprawnych technologii opierających się na źródłach ubogich w węgiel, czy też przy użyciu mniej sprawnych i wysoce węgłochłonnych technologii, jest zatem sprawą wielkiej wagi. Ludzkość ma przed sobą zresztą i inne ważne zagadnienia, a zatem ograniczone zasoby jakie mamy do dyspozycji powinny być w sposób rozsądny rozdzielane [na rozwiązywanie tych zagadnień]. Należy więc przedsięwziąć porównawczą ocenę różnych strategii przeciwdziałania i adaptacji do ewentualnego ocieplenia globalnego. Ocena taka stanowi część prac IIASA w zakresie strategii energetycznych zgodnych z wymaganiami ekologii.

## **5. Inwentarz środków zapobiegawczych**

Środki i sposoby zapewniające rozwój zgodny z wymaganiami środowiska - a zwłaszcza w dziedzinie energetyki - obejmują szeroki wachlarz dostosowań i reakcji techniczno-ekonomicznych, jak również społeczno-behawioralnych. W szczególności, obejmują one środki technologiczne i ekonomiczne zmierzające do minimalizacji emisji GES związanych z energetyką. Potrzebna jest przy tym kompleksowa ocena innowacji technologicznych, biorąca pod uwagę ich bieżące zaawansowanie, możliwości wdrożenia, stosowalność w różnych warunkach geograficznych, gospodarczych i kulturowych, możliwość transferu do krajów rozwijających się, strukturę kosztów, efektywność techniczną, potencjał rynkowy, horyzont czasowy ich dostępności, jak również niezbędne powiązania z innymi technologiami w systemie energetycznym. Wspomniana ocena mogłaby być wykorzystana do opracowania inwentarza obejmującego pełny zestaw środków technologicznych i gospodarczych dotyczących takich zagadnień jak poprawa sprawności energetycznej i gospodarczej, oszczędność energii, zwiększenie udziału nośników niskowęglowych, niewęglowe źródła energii i innych kierunków działań, takich jak zalesienia i powiększenie wydajności różnych innych możliwych sposobów absorpcji węgla.



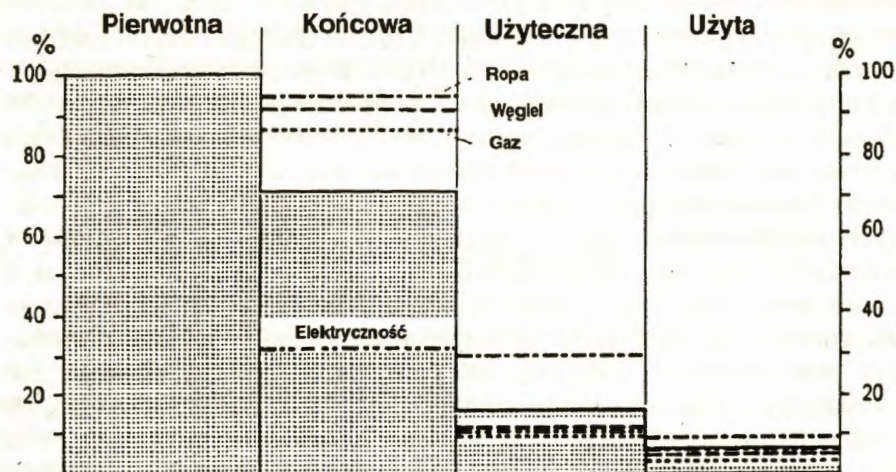
Analiza dostępnych środków zapobiegawczych obejmuje całościowo systemy energetyczne, od nośników energii do faktycznych źródeł energii, a więc różne procesy konwersji, transport, dystrybucję i systemy użytkowania końcowego. Jest to istotne dla możliwości oceny całościowego potencjału przeciwdziałania ewentualnym negatywnym skutkom środowiskowym. I tak, na przykład, końcowe etapy procesu produkcji i konsumpcji energii są obecnie najmniej sprawnymi jego elementami, stąd konieczność włączenia technologii w zakresie transportu, energetyki przemysłowej i mieszkaniowej do oceny możliwości obniżenia oddziaływań negatywnych. Dokładne badania sprawności systemów energetycznych przeprowadzone w krajach OECD pokazują, że sprawność przekształcania energii pierwotnej w końcową formę, użytą przez klienta, wynosi około 70%. Jednak sprawność użytkowania tej końcowej formy energii przy posługiwaniu się nią do konkretnych celów jest znacznie niższa i prowadzi do całkowitej sprawności transformacji energii w użytek, jaki się z niej robi, w wysokości niewiele ponad 10%. W gospodarkach rozwijających się i w przekształcających się krajach europejskich ta całkowita sprawność systemów energetycznych jest jeszcze niższa. Faktyczna sprawność jest także niższa, jeśli bierze się pod uwagę różne charakterystyki "jakościowe" poszczególnych nośników energii i jej form dostarczanych użytkownikowi. Rys. 4 pokazuje, że całkowita sprawność w krajach OECD wynosi zaledwie kilka procent teoretycznego maksimum, a być może nawet tylko jeden procent w krajach rozwijających się. Pokazuje to jak znaczne są możliwości w zakresie sprawniejszego użytkowania energii, a zwłaszcza w odniesieniu do poprawy technologii ostatecznego wykorzystania energii. Inwentarz środków przeciwdziałania i baza danych technologicznych są specjalnie tak zaprojektowane, aby móc integrować obecne i ewentualne przyszłe techniki i technologie transportu, konwersji, dystrybucji i wykorzystania w ramach istniejącej lub projektowanych systemów energetycznych, a w wyniku dawać oceny konkretnych strategii redukcji zużycia energii i niepożądanych emisji.

Całkowita sprawność energetyki w krajach OECD mogłaby zostać podwojona, gdyby zastosować najlepsze pod tym względem technologie dostępne obecnie. Prędkość, z jaką takie usprawnienia mogą być realizowane zależy w dużej mierze od struktury wiekowej środków trwałych w naszych gospodarkach oraz od szybkości rozchodzenia się innowacji i transferu technologicznego. Rysunek 5 pokazuje długofalowe trendy poprawy energochłonności na jednostkę wartości produktu. W długim okresie czasu (ok. 200 ostatnich lat) poprawa w krajach uprzemysłowionych następowała z średnią prędkością 1% na rok. Obserwujemy jednak w tym



okresie zarówno przyspieszenia (do 2-3% rocznie), jak i zastoje, a nawet pogorszenia - co ma, na przykład, miejsce obecnie w niektórych krajach rozwijających się. Poprawa była szybsza w jednych dziedzinach, a wolniejsza w innych. I tak, na przykład, w ciągu ostatnich 20 lat producenci samolotów byli w stanie poprawiać sprawność energetyczną odrzutowców użytkowanych przez linie lotnicze o 3-4% rocznie. W dziedzinie produkcji energii elektrycznej analogiczna poprawa wynosiła 2.5 do 3% rocznie między rokiem 1930 a wczesnymi latami siedemdziesiątymi. Te wartości są, jak się wydaje, najwyższymi obserwowanymi w ostatnich dziesięciole-

### ENERGIA



Rys. 4. Bilanse energetyczne dla krajów OECD w r.1986 (dotyczy porównania teoretycznie dostępnej energii pierwotnej z jej faktyczną dostępnością, w %). Jak widać, sprawność dostarczania energii końcowej jest już dość wysoka, natomiast sprawności użytkowania, a zwłaszcza ostatecznego wykorzystania, są niskie. Tak pojęta sprawność systemu energetycznego w krajach OECD jest oceniana na kilka procent. Analogiczne wielkości dla byłego ZSRR i krajów rozwijających się są prawdopodobnie jeszcze niższe. Wskazuje to na istnienie teoretycznych możliwości poprawy sprawności 20 a może i 100 razy. Realizacja tych możliwości zależy będzie od wdrożenia wielu opcji technologicznych i innowacji organizacyjnych. Techniczne i gospodarcze zależności między nimi, koszty i rozłożenie w czasie wymagają dokładnego zbadania, por. Nakićenović i in. (1990).



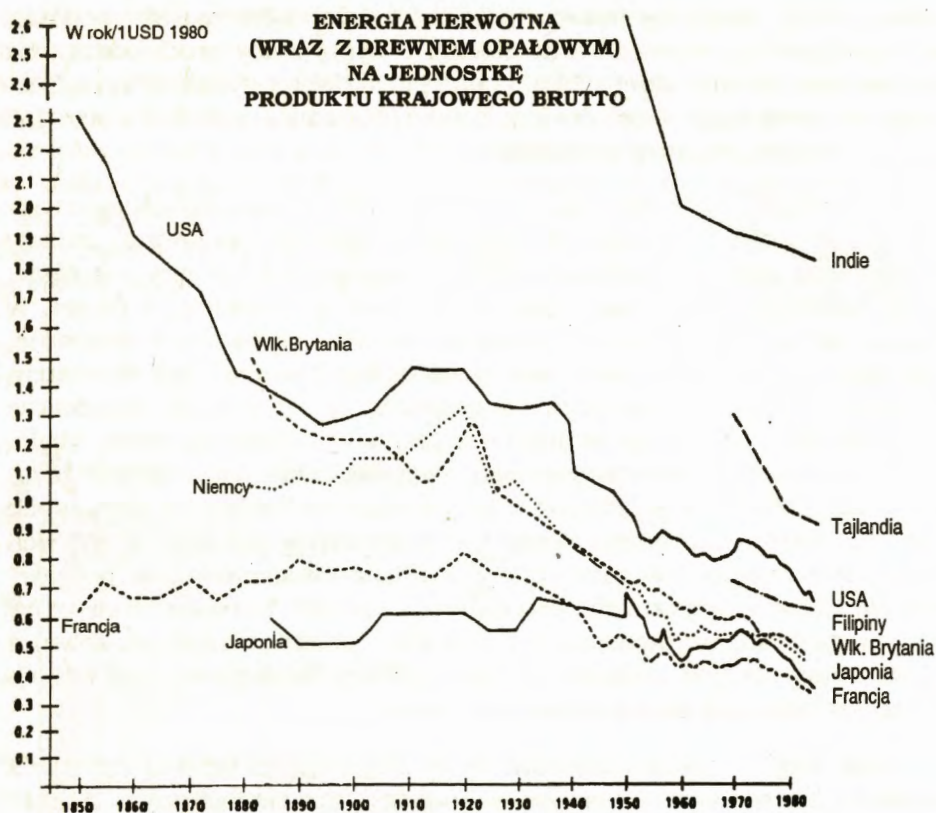
ciach. Gdyby założyć poprawę energochłonności o 3% rocznie, produkt wartości jednego dolara USA [w cenach stałych] byłby produkowany za pięćdziesiąt lat przy użyciu 20% tej energii co dzisiaj. Wielkość ta, odniesiona do emisji węgla do atmosfery, byłaby jeszcze niższa, jeśliby wziąć pod uwagę zmianę struktury nośników.

Podczas gdy poprawa sprawności jest podstawowym sposobem redukcji emisji węgla, zwłaszcza w średnim horyzoncie czasowym, istnieje niewątpliwa potrzeba perspektywicznej zmiany źródeł energii na takie, które zawierają mało węgla, jak na przykład gaz ziemny, a nawet, w końcu, na bezwęglowe, a więc hydroenergetykę, elektrownie słoneczne, atomowe czy też podtrzymywalną eksploatację biomasy. Tak więc strukturalne zmiany technologiczne i gospodarcze będą miały zasadnicze znaczenie dla poprawy sprawności energetycznej i obniżenia emisji węgla. Inwentarz środków przeciwdziałania i związana z nim baza danych technologicznych są zaprojektowane w taki sposób, by dostarczyć jednolitych ram do oceny całkowitego stopnia ewentualnych redukcji w różnych horyzontach czasu i w różnych regionach, z uwzględnieniem poprawy sprawności energetycznych, oszczędności energii, wprowadzania paliw niskowęglowych, użytkowania bezwęglowych źródeł energii, jak również innych opcji, w tym zalesiania i intensyfikacji funkcjonowania innych sposobów absorpcji węgla atmosferycznego.

Baza danych zawiera dokładne opisy efektywności działania różnych technologii w sensie technicznym, ekonomicznym i ekologicznym, a także dane charakteryzujące obecne i przyszłe możliwości tych technologii w zakresie innowacji, sprzedaży i szybkości ich rozchodzenia się. Dodatkowe zbiory danych zawierają odniesienia do literatury źródłowej, jak również oceny wiarygodności danych i odpowiednie zakresy niepewności. Opisywana baza danych jest zrealizowana w postaci interakcyjnego pakietu oprogramowania, który pozwala na wprowadzanie, aktualizowanie i otrzymywanie informacji na temat technologii redukcji emisji CO<sub>2</sub> i jego usuwania, por. Messner i Strubegger (1991a,b).

Szczególną zaletą bazy danych opracowanej w IIASA jest możliwość dostarczania przez nią uszeregowania środków zapobiegawczych w odniesieniu do ich [potencjalnych] efektów globalnych, a przeto i ustanowienie podstaw do oceny globalnych możliwości wyboru w zakresie zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> i zarazem opcji ekonomicznych. Kompleksowy katalog całościowych opcji strategicznych, który ma być opracowany w następnym etapie badań, pozwoli na przeanalizowanie najbardziej gospodarczo i technologicznie sprawnych strategii globalnych, nakierowanych na

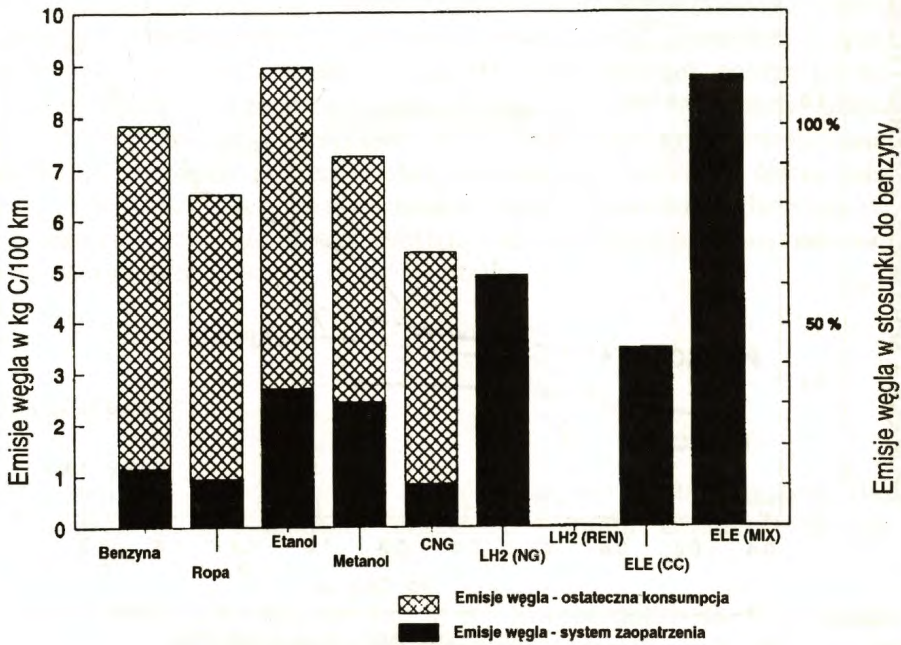




Rys. 5. Energochłonność na 1 dolar USA [1980] produktu, w odniesieniu do energii pierwotnej (z uwzględnieniem energii biomasy). Wskaźnik ten malał średnio o 1% na rok. Oznacza to, że obecnie produkcja o wartości 1 dolara USA jest wytwarzana przy użyciu 1/5 energii jaka była do tego potrzebna 200 lat temu. Od początków lat siedemdziesiątych jednak energochłonność poprawiała się w tempie 2-3% rocznie. Rysunek powyższy ilustruje ponadto wyraźne różnice ścieżek uprzemysłowienia poszczególnych krajów. Tak więc faktyczna sprawność danej gospodarki względem zużycia energii na jednostkę wartości dodanej jest zależna od jej ścieżki rozwoju. Obecne energochłonności, jak również możliwości ich poprawienia, są bardzo zależne od przeszłości, od konkretnej drogi uprzemysłowienia, od sposobu rozwoju osadnictwa, zwyczajów konsumpcyjnych społeczeństw itp. Fakt, że w USA zużywa się około dwa razy więcej energii na 1 dolar wartości produkcji dodanej niż w krajach Europy zachodniej czy w Japonii nie oznacza jednak, że w USA można łatwiej osiągnąć oszczędności energetyczne niż w innych krajach. W krajach rozwijających się obserwujemy historycznie podobne poziomy energochłonności co w krajach uprzemysłowionych, dla tych samych poziomów rozwoju gospodarczego i dochodu na głowę, por. Nakićenović i in. (1990).

zmniejszanie efektów klimatycznych przyszłych systemów energetycznych.

Wspomniana baza danych może ułatwić ocenę strategii redukcji emisji CO<sub>2</sub> przez tworzenie kombinacji wielu pojedynczych technologii, to znaczy przez umożliwienie analizy przedsięwziętych środków wzdłuż całego łańcucha transformacji energetycznych, począwszy od wydobycia nośników energii pierwotnej, a skończywszy na poprawie sprawności ostatecznego



Rys. 6. Emisje węgla związane z różnymi paliwami w dziedzinie transportu.

Objaśnienia:

Etanol - produkowany z trzciny cukrowej;

Metanol i ciekły wodór LH2(NG) - z gazu ziemnego;

CNG - sprężony gaz ziemny;

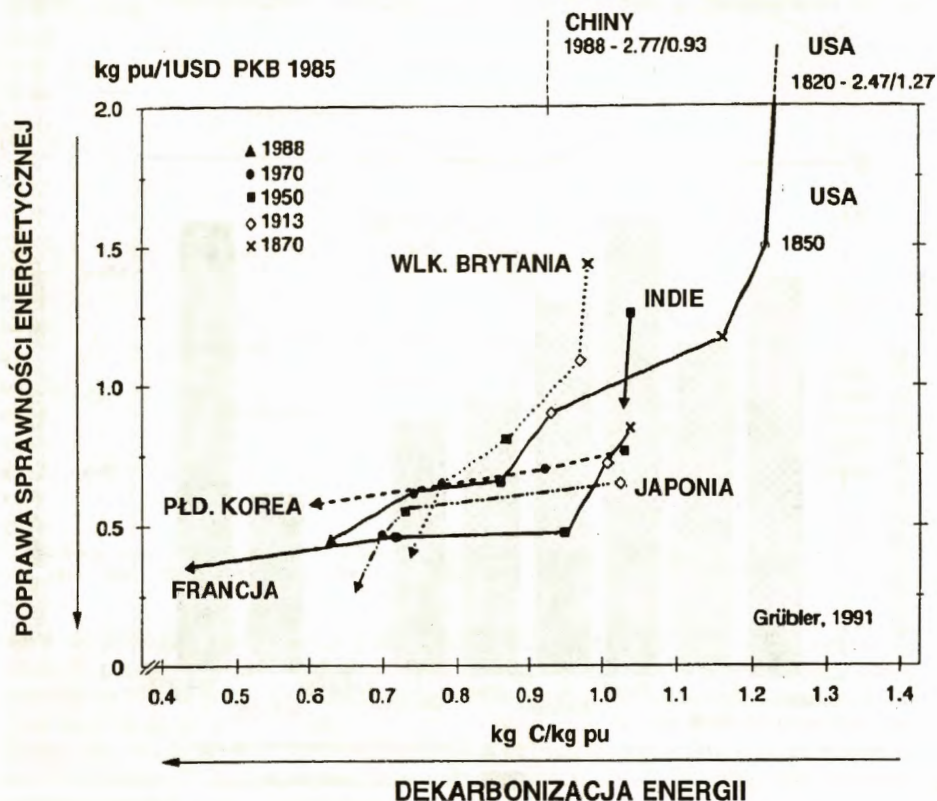
LH2(REN) - ciekły wodór ze źródeł odnawialnych;

ELE(CC) - pojazd elektryczny napędzany prądem z elektrowni na gaz ziemny;

ELE(MIX) - pojazd elektryczny napędzany prądem z przeciętnej elektrowni amerykańskiej używającej średniej kombinacji paliwowej.



wykorzystania dostarczonej energii. Rys.6 stanowi ilustrację możliwości zastosowania inwentarza środków zapobiegawczych do oceny całkowitych emisji dwutlenku węgla z samochodów osobowych, Schäfer (1992). Rysunek ten ilustruje fakt, że istnieją poważne możliwości redukcji ilości dwutlenku węgla emitowanych z samochodów osobowych przez zmianę



Rys.7. Trendy historyczne energochłonności i węgluchłonności w różnych krajach. Zasadniczymi drogami zmniejszenia emisji węgla są: poprawa sprawności energetycznej i substytucja paliw. Rysunek pokazuje różne warianty trajektorii opartych na tych dwóch drogach. I tak, Francja wydaje się iść w kierunku dekarbonizacji, podczas gdy Japonia - głównie w kierunku poprawy sprawności. Wszystkie pokazane kraje osiągnęły postęp na obu drogach. Zasadniczym celem prac w IIASA prowadzonych w tej dziedzinie jest ocena warunków, które skierowałyby przyszłe trajektorie rozwoju w stronę początku układu współrzędnych na tym rysunku, Grübler i Nakićenović (1991).

rodzaju paliwa. Emisje węgla, związane z poszczególnymi rodzajami paliw dotyczą nie tylko bezpośredniego spalania w silniku samochodu, ale i całego ciągu przetwarzania energii, transportu i dystrybucji. Przejście na wodór lub elektryczność jako źródła energii samochodów nie tylko zmniejszyłoby całkowitą sumę emisji, ale także przesunęłoby znakomitą część tych emisji od etapu spalania w silniku do urządzeń, w których dokonuje się konwersji, w których odpowiednie technologie usuwania i magazynowania węgla są zarówno możliwe, jak i być może nawet kosztowo efektywne. Taka ocena porównawcza różnych opcji i środków zmierzających do zmniejszenia i usunięcia emisji może doprowadzić do identyfikacji przyszłych systemów technologicznych i trajektorii rozwoju charakteryzujących się niskimi jednostkowymi zapotrzebowaniami na energię i niewielkim szkodliwym wpływem na środowisko naturalne. Osiągnięto pewien postęp w zakresie zwiększenia sprawności energetycznej [tj. zmniejszenia energochłonności] i dekarbonizacji systemów gospodarczych, co pokazuje, na przykład, Rys.7. Wszystkie kraje przytoczone tym rysunku wykazały postęp w obu dziedzinach. Głównym celem naszych badań w IIASA jest ocena warunków, które spowodowałyby skierowanie trajektorii przyszłego rozwoju w stronę dalszej dekarbonizacji i zmniejszenia energochłonności na skalę światową.

## Literatura

- Ausubel, J.H., Grübler, A i Nakićenović, N. (1988): Carbon Dioxide Emissions in a Methane Economy. *Climatic Change*, Vol. 12, ss. 245-263.
- Fujii, Y. (1990): An Assessment of the Responsibility for the Increase in the CO<sub>2</sub> Concentration and Intergenerational Carbon Accounts. IIASA WP-90-55, Laxenburg.
- Grübler, A i Fujii, Y. (1991): Inter-generational and Spatial Equity Issues of Carbon Accounts. *Energy*, Vol. 16, No. 11-12, ss.1397-1416.
- Grübler, A i Nakićenović, N. (1991): Energy an the Environment in the 21st Century. IIASA, Laxenburg.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1990): *Climate Change - The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.



- Manne, A. i Schrattenholzer, L. (1991): International Energy Workshop: Overview of Poll Responses. IIASA, Laxenburg.
- Marchetti, C. i Nakićenović, N., (1979): The Dynamics of Energy Systems and the Logistics Substitution Model. IIASA RR-79-13, Laxenburg.
- Messner, S. i Strubegger, M. (1991a): Potential Effects of Emission Taxes on CO<sub>2</sub> Emissions in OECD and LCDs'. Energy, Vol. 16, No. 11-12, ss. 1379-1395.
- Messner, S. i Strubegger, M. (1991b): User's Guide to CO<sub>2</sub>DB: The IIASA CO<sub>2</sub> Technology Data Bank (Version 1.0). IIASA WP-91-31a, Laxenburg.
- Nakićenović, N. (1992a): Energy Strategies for Mitigating Global Change. IIASA WP-92-1, Laxenburg.
- Nakićenović, N. (1992b): Energy Strategies and Greenhouse Gas Emissions. International Journal of Global Energy Issues, 1992, vol. 4, no.4, ss.247-255.
- Nakićenović, N. (1990): Dynamics of Change and Long Waves. W: T. Vasko, R. Ayres i L. Fontvielle (red.): Life Cycles and Long Waves. Springer-Verlag, Berlin.
- Nakićenović, N. i John, A. (1991): CO<sub>2</sub> Reduction and Removal: Measures for the Next Century. Energy, Vol. 16, No. 11-12, ss. 1347-1377.
- Nakićenović, N., Bodda, L., Grübler, A i Gilli, P.-V. (1990): Technological Progress, Structural Change and Efficient Energy Use: Trends Worldwide and in Austria. International part of a study supported by the Österreichische Elektrizitätswirtschaft AG, IIASA, Laxenburg.
- Schäfer, A., (1992): Carbon Emissions in the Passenger Transport Sector: Technology and Alternative Fuels. IIASA WP-92-04, Laxenburg.

IBS

ANALIZA SYSTEMOWA I JEJ ZASTOSOWANIE 42859 A

**WPROWADZENIE**

Leszek Kuźnicki  
Peter E. de Jánosi  
Miroslaw Mossakowski  
Jan Owskiński

**INTERDYSCYPLINARNOŚĆ**

Nathan Keyfitz

**DEMOGRAFIA**

Christopher Prinz  
Jerzy Z. Holzer

**TRANSFORMACJA GOSPODARCZA**

János Gács  
Józef St. Zegar

**ŚRODOWISKO I ZASOBY NATURALNE**

Nebojša Nakićenović  
Jacek Marecki  
Janusz Cofała  
Maciej Nowicki  
Sten Nilsson  
Andrzej Szujecki  
Wojciech Galiński i Manfred Küppers  
Laszlo Somlyódy  
Zdzisław Kaczmarek

**METODY I TECHNIKI SYSTEMOWE**

Andrzej Ruszczyński  
Marek Makowski  
Andrzej P. Wierzbicki  
Zdzisław Pawlak  
Kurt Fedra i Elisabeth Weigkricht

ISBN 83 - 85847 - 25 - 1