



**POLSKA AKADEMIA NAUK**  
**Instytut Badań Systemowych**

# **ENERGIA, ŚRODOWISKO | EKONOMIA**

**Wiesław Ciechanowicz**

Warszawa 1995



**ENERGIA, ŚRODOWISKO**  
**I**  
**EKONOMIA**

**Wiesław Ciechanowicz**

Warszawa 1995

Opiniodawcy: Prof. dr hab. inż. Jan Łach  
Prof. dr hab. inż. Jan Madejski  
Członek rzeczywisty PAN

Wydano z wykorzystaniem dotacji  
KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH



~~Bibl. polska~~

43297

Wykonano z oryginałów tekstowych dostarczonych przez autora

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1995

ISBN 83-85847-06-5

Mojemu wychowawcy

Janowi Semce – bojującemu o polskość Ziemi  
Sztumskiej w czasie plebiscytu, Żołnierzowi Armii Krajowej,  
a następnie więźnowi politycznemu PRL.

# Wstęp

Celem niniejszej monografii jest omówienie zbioru źródeł energii i zbioru technologii jej użytkowania z punktu widzenia możliwości rozwoju sektorów konsumentów i producentów energii. Kładzie się przy tym nacisk na problematykę ochrony środowiska, a także warunki ekonomiczne wprowadzenia tych technologii i źródeł energii do gospodarki narodowej.

Energia jest podstawą rozwoju społeczeństwa. Poziom jej konsumpcji w dużym stopniu świadczy o postępie w rozwoju sił wytwórczych społeczeństwa, a także o postępie technologicznym. Okres lat 1950-70 charakteryzował się szybkim wzrostem konsumpcji energii. Jeżeli podczas całego okresu rozwoju cywilizacji, ludzkość zużytkowała energię w ilości równoważnej ponad 250 mld ton węgla, to 2/3 tej ilości przypada na lata po drugiej wojnie światowej. W 1985 roku łączne zużycie paliw kopalnych, a więc: węgla, ropy i gazu, stanowiło - w przeliczeniu na węgiel - około 11 miliardów ton. Przewiduje się, że zapotrzebowanie na energię może osiągnąć w przeliczeniu na węgiel: 13-15 mld ton w 2000 roku i 40-80 mld ton rocznie przy końcu XXI wieku. W sprostaniu przewidywanemu wzrostowi zapotrzebowania na energię w okresie następnych 30-50 lat znaczny udział będą zapewne miały paliwa kopalne. Znaczący udział może mieć także energia jądrowa, ale pod warunkiem, że będzie akceptowana przez społeczeństwo. Można oczekiwać, że będzie również wzrastał udział takich źródeł odnawialnych, jak energia: słoneczna, biomasy i wiatru.

Obok problemu energii powstaje i narasta problem środowiska naturalnego. W szerokim sensie jest on rozumiany jako związane z użytkowaniem energii, bezpośrednio lokalne oddziaływanie na zdrowie ludzkie, a to poprzez wpływ kwaśnych deszczów, oraz wpływ na biosferę i zmianę klimatu planety w wyniku narastania efektu cieplarnianego, powodowanego emisją dwutlenku węgla do atmosfery.

Z każdym rokiem stają się coraz bardziej zauważalne zagrożenia destrukcji bilansów ekologicznych tak w sensie globalnym jak i lokalnym. Przyczyna takiej sytuacji tkwi we wzrastającym zużyciu energii i strukturze zużycia jej nośników. Powstaje więc pytanie: **Co należy zrobić dziś, ażeby zachować naturę w przyszłości?** Rozwiązania problemu należy poszukiwać między innymi poprzez opracowywanie odpowiednich technologii użytkowania energii i wykorzystywania jej odnawialnych źródeł. Wymagać to jednak będzie niemałych nakładów finansowych. Powstaje więc obok problemu energii i środowiska problem ekonomii. Te trzy wzajemnie powiązane problemy mogą być rozwiązywane z punktu widzenia rozwoju gospodarki narodowej za pomocą badań systemowych, na podstawie których będzie możliwe:

1. *oszacowanie konsekwencji rozwoju sektorów konsumentów i producentów energii dla określonych scenariuszy rozwoju tych sektorów,*
2. *zweryfikowanie czy gospodarka narodowa będzie w stanie ponieść wyżej wymienione konsekwencje przy założonym scenariuszu rozwoju gospodarki,*  
a następnie
3. *w wyniku oceny regionalnego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego zasugerowanie regionalnej lokalizacji technologii redukcji zanieczyszczeń.*

Wśród szeregu decydentów i pewnej części społeczeństwa panuje konserwatywne przekonanie, iż w warunkach krajowych najkorzystniejsze są dotychczasowe technologie wykorzystywania paliw kopalnych, które są ponadto łatwo akceptowalne. Natomiast kwestia

wykorzystywania energii słonecznej, wiatru czy biomasy jest wciąż traktowana marginesowo, co po części wynika z braku odpowiednich informacji. Jednym z celów niniejszej monografii jest próba przynajmniej częściowego naświetlenia tej tak ważnej problematyki. Rozważane są bowiem zagadnienia: energii, środowiska i ekonomii, które coraz większego znaczenia nabierają w znajdywaniu odpowiedzi na następujące pytanie:

**Jakiego rodzaju decyzje winny być podjęte dziś, ażeby zapewnić w przyszłości odpowiednie warunki rozwoju gospodarki narodowej?**

Chciałbym wyrazić wdzięczność Panom: Profesorowi Janowi Madejskiemu i Profesorowi Janowi Łachowi – recenzentom niniejszej monografii – za szczegółowe i wnikliwe uwagi.

Dziękuję również moim kolegom z Instytutu Badań Systemowych PAN: dr. Piotrowi Holnickiemu, dr. Leonowi Stomińskiemu i mgr. Zygmuntowi Uhrynowskiemu oraz Panu mgr. Wiktorowi Lisowiczowi za pomoc w redagowaniu pracy.

Wiesław Ciechanowicz

## Rozdział 2

# Środowisko

*W rozdziale określa się ekosystem, charakteryzuje się jego biogeochemiczne cykle, omawia się także zagrożenia ekosystemu jak: efekt cieplarniany, dziury ozonowe, kwaśne deszcze, a także zagrożenie zdrowia ludzkiego. Rozdział kończą uwagi dotyczące potencjalnie możliwych działań pozwalających osłabiać zagrożenie środowiska.*

### 2.1 Uwagi wstępne

W rozdziale 1-szym dowiedzieliśmy się że:

- ludzkości nie grozi w przyszłości głód energii,
- istnieje szereg możliwych scenariuszy wykorzystywania określonych zasobów energii.

Wybór jednego z możliwych scenariuszy będzie zależał od szeregu uwarunkowań. Jednym z nich będzie ciągle narastająca konieczność ochrony środowiska. Temu zagadnieniu, a ściślej mówiąc określeniu środowiska i jego zagrożeń, poświęca się niniejszy rozdział 2-gi.

### 2.2 Ekosystem

Natura stworzyła mechanizmy mające za zadanie zachowanie w skali świata bilansów określonych pierwiastków. Zapewnione są więc warunki dla życia biologicznego na ziemi, a także utrzymywane są odpowiednie relacje pomiędzy światem żywym i martwym. Mechanizmami tymi są cykle węgla, azotu, fosforu i siarki. Tak zorganizowany system żywych organizmów i martwych substancji, mający za zadanie umożliwienie wymiany materii pomiędzy nimi, określa się mianem *ekosystemu*. Składa się on z czterech podstawowych elementów:

- *nieorganicznych zasobów - substancji martwych,*
- *organizmów producentów,*
- *organizmów konsumentów i*
- *organizmów dekomponentów.*

Organizmami producentami są bakterie i rośliny. Dokonują one syntezy składników organicznych i produkują materiały organiczne ze składników nieorganicznych. Podstawą działania organizmów produkujących jest fotosynteza i chemosynteza. Fotosynteza jest reakcją chemiczną, zachodzącą pod wpływem promieniowania słonecznego, w której wielkościami wejściowymi są dwutlenek węgla i woda. Chemosynteza jest zaś mechanizmem, dzięki któremu uzyskuje się związki organiczne z materii nieorganicznej poprzez działanie bakterii. Bakterie chemosyntezy czerpią energię z chemicznego utleniania związków nieorganicznych. Organizmami konsumentami są zwierzęta i ludzie. W sposób pośredni lub bezpośredni użytkują bowiem materiały organiczne wytwarzane przez rośliny. Organizmami dekomponentami są zaś bakterie i grzyby. Redukują one złożone molekuly organiczne, martwe rośliny i martwe zwierzęta do prostych składników organicznych, które



jako pożywienie podstawowe mogą być absorbowane przez rośliny. Stanowią one końcowe ogniwo w cyklu życia.

Światło, które pada na rośliny w jest 98%-tach odbijane i tylko około 2% jest absorbowane. Z tych dwóch procent promieni światła tylko połowa charakteryzuje się częstotliwością, która może być przyswajana przez chlorofil (przekształcający energię świetlną w energię chemiczną) w procesie fotosyntezy. Są to zakresy fal o długości w pobliżu 6700 i 4300 angstromów (1 angstrom= $10^{-8}$ cm). Oznacza to, że sprawność ekologiczna zielonych roślin osiąga wartość poniżej 1% [2.1]. W większym stopniu światło jest odbijane i rozpraszane na dużych powierzchniach wody i oceanach. W konsekwencji sprawność



Rys.2.1. Zakresy widma promieniowania elektromagnetycznego.

ekologiczna na oceanie wynosi średnio tylko 0,18% [2.2]. Na rys. 2.1 podano zakresy widma promieniowania elektromagnetycznego, w tym zakres fal podczerwonych, w którym występuje promieniowanie przyswajalne przez chlorofil.

## 2.3 Cykle biogeochemiczne

### 2.3.1 Cykl węgla

Węgiel, jako kluczowy element świata żywego, krąży pomiędzy światem roślinnym, zwierzęcym i nieorganicznym. Istnieje w atmosferze jako  $\text{CO}_2$  i w tej postaci jest absorbowany bezpośrednio w protoplazmę (podstawową substancję żywych komórek roślinnych i zwierzęcych) w procesie fotosyntezy.

Głównymi elementami cyklu węgla są:

1. węgiel nieorganiczny występujący w atmosferze pod postacią  $\text{CO}_2$ ,
2. proces fotosyntezy, przemieniający węgiel nieorganiczny w węgiel organiczny,
3. możliwe ścieżki transformacji węgla organicznego, występującego w świecie roślinnym.

W ramach tych ścieżek węgiel organiczny może ulegać następującym transformacjom:

- być konsumowanym przez świat zwierzęcy, przechodzić proces fermentacji i być asymilowanym przez świat roślinny,
- powracać do atmosfery jako  $\text{CO}_2$  w wyniku oddychania,

- pozostawać w martwych organizmach, a następnie powracać do atmosferycznego CO<sub>2</sub> poprzez utlenianie lub dekompozycję (w wyniku działania bakterii lub grzybów),
- być związanym chemicznie i pozostawać w postaci nieorganicznej węglanów (muszle) przez dłuższy okres czasu, następnie powracać do cyklu węglowego poprzez proces erozji lub rozpuszczanie, w wyniku czego niektóre gatunki roślin wodnych mogą absorbować węglany rozpuszczone,
- być gromadzonym w organicznych depozytach pod postacią węgla, ropy lub gazu, a więc pod postacią paliw kopalnych, mając możliwość pozostawania w tej postaci przez miliony lat,
- powracać do atmosfery w wyniku spalania paliw kopalnych lub biomasy [2.3].

### 2.3.2 Cykl azotu

Azot jest jednym z podstawowych elementów protoplazmy - substancji żywej komórki roślinnej lub zwierzęcej. Istotnymi elementami cyklu azotu są:

- azot atmosferyczny,
- transformacja azotu atmosferycznego w związki chemiczne poprzez:
  - działanie bakterii,
  - proces fizyczny,
  - działanie przemysłowe,
- przetwarzanie związanego azotu przez świat roślinny w protoplazmę,
- dekompozycja odpadów zwierzęcych i martwych organizmów do amoniaku,
- powrót azotu do atmosfery w wyniku działania bakterii.

Azot atmosferyczny wiąże się w związki chemiczne, jak np. amoniak, które mogą być wykorzystywane przez świat roślinny. Wiązanie azotu następuje poprzez działanie takich bakterii jak:

- *azotobakterie* - bakterie tlenowe żyjące w glebie i intensywnie przyswajające azot z powietrza,
- *clostridium* - bakterie beztlenowe żyjące w glebie, mułach, asymilujące azot z powietrza, rozkładające celulozę i pektyny,
- *rhizobium* - pałeczkowate bakterie współżyjące z roślinami motylkowymi, wnikające do korzeni tych roślin, mające zdolności asymilowania azotu atmosferycznego i syntezowania związków azotowych przyswajalnych dla roślin jako pokarm.

Wiązanie azotu może nastąpić jako proces fizyczny w wyniku:

- efektu jonizacji światła,
- promieniowania kosmicznego - strumieni cząsteczek dobiegających do zewnętrznych warstw atmosfery ziemi z przestrzeni kosmicznej (promieniowania kosmicznego pierwotnego), bądź też powstałych w wyniku zderzeń tych cząstek z atomami atmosfery (promieniowania kosmicznego wtórnego).

Wiązanie azotu może być spowodowane działaniem przemysłowym, dotyczącym produkcji amoniaku metodą Habera i Boscha, polegającą na bezpośredniej syntezie azotu i wodoru, prowadzonej w podwyższonej temperaturze i podwyższonym ciśnieniu.

Największym źródłem azotu w formie związanej są prawdopodobnie bakterie ziemskie. Świat roślinożerny przetwarza związany azot, w postaci amoniaku lub rozpuszczalnych azotanów, w protoplazmę poprzez syntezę aminokwasu lub proteiny (białka prostego). Wówczas związki organiczne azotu mogą przechodzić następujące transformacje:

1. mogą być gromadzone w roślinach jako proteiny lub kwas nukleinowy (wielocząstkowe związki organiczne występujące w organizmach żywych przeważnie w połączeniu z białkami),
2. mogą wchodzić w skład protein zwierzęcych w wyniku spożycia ich przez zwierzęta i asymilację,
3. mogą być zdekomponowane w amoniak poprzez martwość lub działanie bakterii.

W cyklu dekompozycji, poprzez zamieranie lub rozpad, amoniak jest produkowany z aminokwasów w wyniku działania bakterii. W normalnych warunkach amoniak szybko przemienia się w formę azotanów ( $\text{NO}_2$ ) (związki zawierające w cząsteczce grupę nitrową -  $\text{NO}_2$ ), w wyniku działania:

- nitrozobakterii, i
- samożywnych bakterii tlenowych z rodzaju *Nitrosomonas*, wiążących chemosyntetycznie dwutlenek węgla kosztem energii uwalnianej przy utlenianiu amoniaku na azotany (*Nitrosomonas* utleniają amoniak na azotyny, a następnie *Nitrobacter* utlenia azotyny na azotany).

Nitrozwiązki są bezpośrednio absorbowane przez świat roślinny jako pierwotne odżywki i przetwarzane ponownie w aminokwasy i proteiny w wyniku syntezy organicznej zachodzącej w roślinach.

Obecność azotu związanego w amoniak w ekosystemie jest miarą równowagi pomiędzy dekompozycją proteiny, działaniem bakterii i produkcją roślinną. Duża zawartość tego azotu w wodzie wskazuje na ogół na pochodzenie azotu z nawozów, odpadów zwierzęcych lub odpadów komunalnych.

Azot powraca do atmosfery w wyniku działania bakterii, takich jak *Pseudomonas*, *Thiobacillus* i *Micrococcus*, zubożających związki w azot. Cykliczny przepływ azotu poprzez ekosystem wymaga bilansowania działalności bakterii wielu gatunków, jako że odpowiednie poziomy odżywiania roślin są utrzymywane bez nadmiernej akumulacji produktów dekompozycji takich jak amoniak.

W raporcie z 1969 roku przedstawionym przez American Chemical Society, dotyczącym problemów środowiska, wykazano, że życie na kuli ziemskiej może zanikać poprzez wymarcie prawdopodobnie tuzina gatunków bakterii uczestniczących w cyklu azotu.

### 2.3.3 Cykl fosforu

Fosfor jest także kluczowym elementem żywych organizmów. Natomiast rzadziej występuje w ekosystemie nieorganicznym (obejmującym wody, piaski i żwiry) aniżeli azot (w stosunku 1 do 23). W większym stopniu uczestniczy w świecie roślinnym i zwierzęcym. Fosfor w postaci kwasu adenozyntotrójfosforowego (ATP) stanowi uniwersalne pożywienie dla organizmów żywych [2.4]. Kwas adenozyntotrójfosforowy pośredniczy w procesach przemiany energii u wszystkich organizmów.

Głównymi elementami cyklu fosforu są:

1. protoplazma - świata roślinnego i zwierzęcego,
2. rozpad fosforu w protoplazmie do postaci:
  - fosforanów  $\text{CaHPO}_4$ , poprzez przemianę materii lub działanie bakterii,
  - morskich depozytów w postaci skał fosforytowych  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,
3. synteza protoplazmy, w wyniku której następuje powrót rozpuszczonych fosforanów do protoplazmy.

Depozyty fosforytów mogą występować w postaci kości i wydzielin zwierzęcych, stanowiących naturalne zasoby ekosystemu. W Indiach zasoby takie zostały naruszone w wyniku spalania odpadów zwierzęcych zamiast wykorzystywania ich jako naturalne nawozy. Największe rezerwuary fosforytów w skali świata stanowią skały osadowe składające się z fosforanów wapna. Są to cenne surowce do produkcji nawozów fosforowych.

Obecnie natura jest zasilana w fosfor pochodzący z detergentów używanych w gospodarstwach domowych. Dostają się one ze ściekami wodnymi do rzek, jezior i ujściami rzek do mórz. Detergenty te powodują eutrofizm - stan biologiczny wód, w których przy nadmiarze związków organicznych i silnym ich rozkładzie zachodzi duże zużycie tlenu, prowadzące do obumierania roślin zielonych i zwierząt.

### 2.3.4 Cykl siarki

Siarka jest podstawowym elementem w syntezie protein. Występuje w naturze w postaci elementarnej, jako siarkowodor  $H_2S$ , i siarczan  $K_2SO_4$ .

Cykl siarki tworzą następujące elementy:

siarka organiczna, występująca w świecie roślinnym i zwierzęcym, która może przejść jedną z następujących ścieżek transformacji:

*ścieżka transformacji A:*

- dekompozycja siarki organicznej do formy nieorganicznej (siarkowodoru) w wyniku działania bakterii,
- dekompozycja siarkowodoru do siarczanów,
- powrót siarki do świata roślinnego jako pożywienia (w postaci siarczanów),

*ścieżka transformacji B:*

- gromadzenie w organicznych depozytach wspólnie z paliwami kopalnymi,
- emisja do atmosfery w wyniku spalania paliw kopalnych.

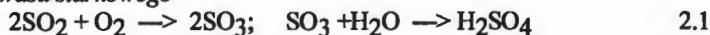
### 2.4 Zanieczyszczenia atmosfery

W wyniku spalania paliw kopalnych powstaje pierwsza generacja zanieczyszczeń atmosfery, zwana zanieczyszczeniami pierwotnymi. Są to: tlenki siarki  $SO_x$ , tlenki azotu  $NO_x$ , tlenek węgla  $CO$ , pył, węglowodory  $C_nH_m$  i dwutlenek węgla  $CO_2$ .

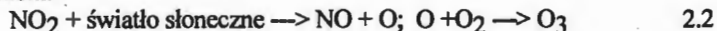
Procesami fizycznymi, generującymi  $CO$  i  $CO_2$  są odpowiednio niecałkowite i całkowite spalanie węgla zawartego w paliwach kopalnych. W wyniku parowania paliw węglowodorowych powstają węglowodory. Źródłem dwutlenku siarki jest spalanie paliw kopalnych zawierających siarkę. Także duże ilości  $SO_2$  wytwarzają silniki diesla. Tlenki azotu są formowane, wówczas gdy azot i tlen znajdują się razem w wysokich temperaturach. Katalizatory w samochodach neutralizują niektóre zanieczyszczenia wytwarzane w wyniku spalania benzyny lub oleju napędowego. Jednakże ostatnie badania wykazały, że powodują one około pięciokrotny wzrost emisji podtlenku azotu  $N_2O$  [2.5].

W wyniku odpowiednich reakcji dwóch lub więcej zanieczyszczeń pierwotnych powstają zanieczyszczenia wtórne. Są to: utleniacze  $NO_2$  i azotan peroksyacetylu, trójtlenek siarki  $SO_3$ , siarczan i azotany, a także aldehydy, olefiny i akroleiny. Źródłem innych zanieczyszczeń są syntetyczne chemikalia, oznaczane symbolem CFC (chlorofluorocarbon), takie jak freon, stanowiący fluorochlorową pochodną metanu lub etanu. Wtórne zanieczyszczenia mogą często powodować większe zniszczenia niż czynią to zanieczyszczenia pierwotne. Przykłady reakcji, w których uczestniczą niektóre zanieczyszczenia wtórne:

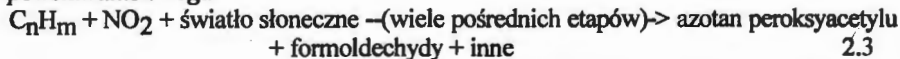
*powstawanie kwasu siarkowego*



*powstawanie ozonu*



*powstawanie smogu*



Powstawanie niektórych zanieczyszczeń jest uwarunkowane niekiedy obecnością w atmosferze światła słonecznego i innych zanieczyszczeń ( $NO_2$ ).

Dwutlenek węgla i inne zanieczyszczenia, zwane gazami cieplarnianymi, przyczyniają się do powstawania *efektu cieplarnianego*, zakłócającego ekosystem w skali kuli ziemskiej.

Syntetyczne chemikalia stosowane w produkcji areozoli są źródłem powstawania *dziur ozonowych*. Tlenki siarki i azotu stają się źródłem *kwaśnych deszczy*, które powodują zakłócenie ekosystemu w danym regionie kuli ziemskiej. Wszystkie wyżej wymienione zanieczyszczenia w mniejszym lub większym stopniu *wpływają na zdrowie ludzkie* [2.5].

Przez homeostatyczne warunki wewnątrz ekosystemu rozumie się to, że wszystkie aspekty funkcjonowania tego systemu są w równowadze. Wówczas istnieje równowaga pomiędzy produkcją, konsumpcją i dekompozycją w odniesieniu do wszystkich gatunków systemu, działających w ramach poszczególnych cykli. W cyklu węglowym naruszenie homeostatycznych warunków może nastąpić wtedy, gdy brak jest równowagi pomiędzy konsumpcją paliw kopalnych, powodujących emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery, a możliwościami dekompozycji CO<sub>2</sub> przez świat roślinny. Analogicznie, warunki te mogą być naruszane:

- w cyklu azotu, gdy następuje wiązanie azotu w odpowiednich procesach przemysłowych lub procesach spalania,
- w cyklu fosforu, gdy nie wykorzystuje się fosforytów jako nawozów gleby,
- w cyklu siarki poprzez nadmierną emisję tlenków siarki do atmosfery, w wyniku której może ulegać destrukcji szata roślinna.

Podczas II-giej wojny światowej mała grupa amerykańskich fizyków jądrowych ślubowała wykorzystywanie groźnej mocy energii jądrowej do celów pokojowych. Zapoczątkowano eksploatację elektrowni jądrowych. Sięgnięto po skromne złoża materiału rozszczepialnego, jakim jest uran 235, znajdującego się w skorupie ziemskiej. W wyniku wypalania go w reaktorach jądrowych powstaje wiele groźnych dla ludzkości odpadów radioaktywnych. Natura nie stworzyła mechanizmów pozwalających unieszkodliwić te odpady. Człowiek opanował produkcję materiałów rozszczepialnych takich jak pluton i tryt z materiałów nierozszczepialnych uranu 238 i litu. Ma ona służyć zwiększeniu, w sposób prawie nieograniczony, zasobów paliw dla przyszłych reaktorów energii jądrowej. Pojawiła się myśl wysyłania odpadów radioaktywnych na słońce. Powstaje kwestia jak groźny może być rozwój energetyki jądrowej dla zachowania homeostatycznych warunków ekosystemu. Autor niniejszej publikacji nie jest jednak w stanie wyjaśnić tej kwestii. Niemniej jednak, obok takich zagrożeń ekosystemu, jak: efekt cieplarniany, dziury ozonowe, kwaśne deszcze, wpływ zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw kopalnych na zdrowie ludzkie, mogą również istnieć *zagrożenia ekosystemu przez energię jądrową*.

## 2.5 Efekt cieplarniany

Węgiel, występujący w atmosferze w postaci dwutlenku węgla, uczestniczy w cyklu węglowym. Jest on kluczowym elementem organicznej materii roślinnej produkowanej w procesie fotosyntezy. Materia roślinna może przemieniać się w zasoby nieorganiczne, na przykład w złoża węgla, ulegać dekompozycji w procesie spalania i wracać do atmosfery w postaci dwutlenku węgla, a także być konsumowana przez świat roślinożerny. W świecie roślinożernym węgiel może powracać do atmosfery jako dwutlenek węgla w wyniku procesu oddychania i procesu dekompozycji, może przemieniać się w nieorganiczne zasoby ropy i gazu ziemnego.

Atmosfera ziemi może odbijać, pochłaniać, rozpraszać lub przepuszczać promieniowanie słoneczne. Gdy zawiera ona dwutlenek węgla lub parę wodną, pochłania promieniowanie odbijane od ziemi, ponieważ dwutlenek węgla i para wodna pochłaniają promieniowanie podczerwone. Zjawisko to jest przyczyną powstawania tak zwanego *efektu cieplarnianego*. Konsekwencją wzrostu stężenia dwutlenku węgla będzie zachwianie bilansu cieplnego atmosfery. W wyniku tego nastąpi ogrzanie powierzchni ziemi, topienie lodów na biegunach, podnoszenie się poziomu wód oceanów. Gdyby stopniały wszystkie lody, to poziom wód oceanów podniósłby się o 65 m. Ponadto, konsekwencją wzrostu stężenia dwutlenku węgla w atmosferze mogą być nieodwracalne zmiany klimatu.

Mechanizmem umożliwiającym zmniejszenie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze jest fotosynteza. Istotą jej, jak już powiedziano, jest przemiana formy nieorganicznej dwutlenku węgla w formę organiczną węglowodanów. Produktem fotosyntezy jest szata roślinna.

Szata roślinna, jako drewno, przez szereg stuleci była podstawowym źródłem energii człowieka. Jej zużycie i intensywność jej odtwarzania stwarzały warunki do naturalnego oczyszczania planety z CO<sub>2</sub>.

W połowie 19-tego wieku zaczęto sięgać po depozyty węgla. Rozpoczął się okres uprzemysławiania. W 1990-tym roku zużycie węgla w skali świata wynosiło około 1 miliarda ton rocznie. W 1985 roku łączne zużycie paliw kopalnych, a więc węgla, ropy i gazu, w przeliczeniu na węgiel, stanowiło około 11 miliardów ton. Jeżeli zużycie paliw kopalnych wzrastałoby nadal w obecnym tempie, to znaczy 4,3% rocznie, a procentowy udział węgla, ropy i gazu w ogólnym użytkowaniu pozostałby stały, to zawartość dwutlenku węgla w atmosferze podwoiłaby się do 2035 roku.

Ostatnio oceniono zmiany w szacie roślinnej, przyczyniające się do wzrostu CO<sub>2</sub> w atmosferze. Podstawą oceny był różny skład izotopów węgla w paliwach kopalnych i szacie roślinnej. Zmiana proporcji izotopu C<sup>14</sup> zawartego w drzewach pozwoliła określić szybkość wzrostu koncentracji CO<sub>2</sub>, pochodzącego ze spalania paliw kopalnych i zmian zachodzących w szacie roślinnej świata (C<sup>14</sup> promieniotwórczy izotop węgla, o okresie połowicznego rozpadu 6000 lat, powstaje w atmosferze w wyniku bombardowania atomów C<sup>12</sup> przez promieniowanie kosmiczne). Oceniono, że w okresie 1850-1950 wyemitowano do atmosfery 60 miliardów ton węgla w postaci CO<sub>2</sub> w wyniku spalania paliw kopalnych. Równocześnie w tym czasie zawartość węgla w atmosferze wzrosła o 120 miliardów ton w postaci CO<sub>2</sub> w wyniku destrukcji szaty roślinnej [2.6].

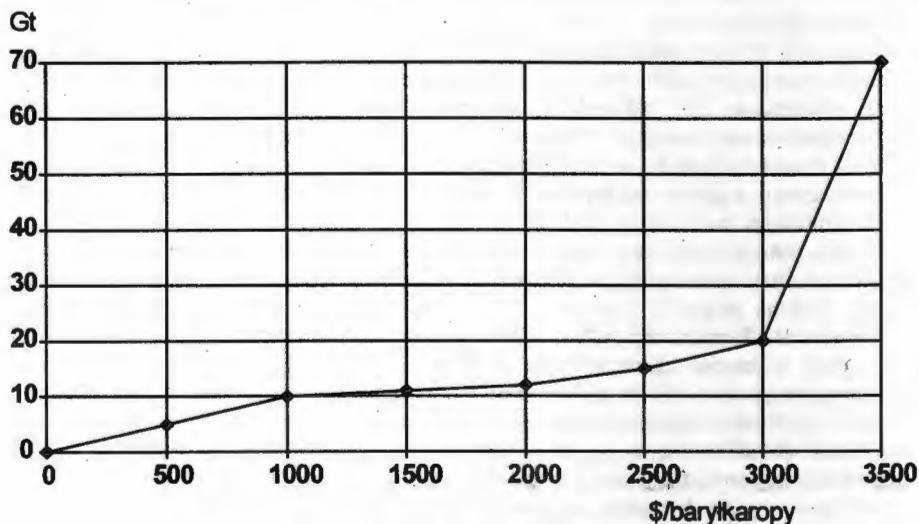
Fakt, że akumulacja CO<sub>2</sub> w atmosferze może przyczynić się do wzrostu średniej temperatury na powierzchni ziemi staje się oczywisty przez porównanie z innymi planetami. Na Marsie, w atmosferze którego istnieje mała zawartość CO<sub>2</sub>, temperatura powierzchni wynosi -30°C, podczas gdy na Wenus, z atmosferą obfitą w CO<sub>2</sub>, temperatura powierzchni osiąga 450°C.

Obecnie ludność świata powiększa się o około 2% rocznie, w dziewiętnastym wieku powiększała się o 1%. Wzrastała i wzrasta produkcja w skali świata przypadająca na jednego mieszkańca. Licząc od 1860 r. zużycie energii na jednostkę produkcji i jednego mieszkańca malało rocznie do lat 70-tych o 1%, a po latach 70-tych malało w większości krajów o 2% rocznie. Malała również emisja CO<sub>2</sub> na jednostkę użytkowanej energii, ale w stopniu o wiele mniejszym, niż 0,3% rocznie. Obecnie globalna emisja CO<sub>2</sub> ciągle rośnie o około 2% rocznie i przewiduje się, że ulegnie podwojeniu przed 2030 rokiem [2.7].

Węgiel zawarty w zasobach paliw kopalnych ocenia się na 3700 Gt. Sklasyfikowano zasoby paliw kopalnych z punktu widzenia kosztów ich pozyskiwania, co uwidoczniło na rys.2.2 [2.8]. Wskazuje on, że około 3000 Gt paliw kopalnych można będzie pozyskiwać przy stosunkowo niskich kosztach poniżej 20 \$/baryłkę, lub 180 \$/t. Oznacza to, że przez szereg dziesięcioleci ze względów ekonomicznych, szczególnie w krajach rozwijających się, paliwa kopalne będą dominować w strukturze użytkowanej energii pierwotnej, stwarzając zagrożenie narastania efektu cieplarnianego.

Efekt cieplarniany powodują także takie gazy jak: metan - CH<sub>4</sub>, podtlenek azotu - N<sub>2</sub>O, ozon - O<sub>3</sub> i syntetyczne chemikalia, stosowane w lodówkach, w produkcji areozoli i plastyków piankowatych, określane wspólnie z CO<sub>2</sub> gazami cieplarnianymi. Pozwalają promieniom słonecznym osiągnąć ziemię, lecz zatrzymują ciepło, które w normalnych warunkach jest wypromieniowane w przestrzeń kosmiczną. Ostatnie badania wykazały, że w gazach cieplarnianych udziały CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O i areozoli wzrastają. Ich wspólny udział w ogrzewaniu ziemi zbliża się do działania CO<sub>2</sub>. Koncentracja CH<sub>4</sub> w powietrzu wzrastała rocznie o 1% od 1950 roku, a więc czterokrotnie w porównaniu do CO<sub>2</sub>. Obecnie koncentracja ta podwoiła się. W okresie następnych 50-ciu lat udział CH<sub>4</sub> w gazach cieplarnianych może dominować. Molekuły syntetycznych chemikalii są bardziej efektywne

w działaniu jako gazy cieplarniane anizeli  $\text{CO}_2$ . W przypadku niektórych z nich efektywność w pochłanianiu promieniowania podczerwonego wzrasta od 10000 do 20000 razy w porównaniu do molekuł  $\text{CO}_2$ . Oznacza to, że syntetyczne chemikalia powodują efekt cieplarniany nieproporcjonalnie do jego koncentracji w powietrzu [2.5].



Rys.2.2 Wielkość zasobów węgla, w Gt, w funkcji kosztów ich pozyskiwania, w \$/na równoważną baryłkę ropy.

Istnieją dane, które podważają ogólne twierdzenie, że w celu osłabienia efektu cieplarnianego należałoby zastępować węgiel gazem naturalnym. Argumentacja ta jest uzasadniana następującymi faktami [2.9]: metan, którego udział w gazie ziemnym wynosi 80%, jest około 30 razy bardziej aktywny jako gaz cieplarniany anizeli  $\text{CO}_2$ ; znaczne ilości gazu są emitowane bezpośrednio do atmosfery podczas wydobywania, transportu i dystrybucji, (od 7 do 11% wydobywanego gazu ziemnego). Ponadto emisja metanu następuje także podczas wydobywania węgla. Wynosi ona  $25 \cdot 10^6$  t/r metanu z dokładnością 5% [2.10].

## 2.6 Możliwości ograniczania stężenia $\text{CO}_2$ w atmosferze

Potencjalne możliwości łagodzenia lub ograniczania wzrostu stężenia  $\text{CO}_2$  w atmosferze mogą obejmować następujące działania:

1. ustalanie określonych zasad użytkowania paliw kopalnych w skali świata,
2. usuwanie  $\text{CO}_2$  z gazów kominowych,
3. powiększanie możliwości akumulacji naturalnej  $\text{CO}_2$  w skali kuli ziemskiej,
4. bardziej efektywnie wykorzystywanie energii pierwotnej,
5. wykorzystywanie źródeł energii wolne od emisji węgla w jakiegokolwiek postaci, takie jak energia rozszczepienia lub syntezy typu D-T,
6. stosowanie czystych ekologicznie źródeł energii, takich jak energia słoneczna, biomasa, lub radioaktywnie "czysta" synteza p - 11B.

### **2.6.1 Ustalanie zasad użytkowania paliw kopalnych**

Podczas światowej konferencji poświęconej ochronie atmosfery, która odbyła się w Toronto w dniach 27-30.06.1988, [2.10] ustalono, że:

1. zmniejszenie o 10 % emisji dwutlenku węgla do atmosfery do 2005 roku mogłoby nastąpić w wyniku:

- racjonalnego użytkowania energii przez konsumentów energii,
- użytkowania większej ilości gazu zamiast węgla,

2. roczna emisja około 2,5 mld ton węgla zawartego w CO<sub>2</sub> mogłaby być akceptowana, co byłoby równoznaczne ze stosowaniem w skali świata następującej struktury użytkowania paliw kopalnych:

- 4822 km<sup>3</sup> gazu ziemnego,
- 2,82 mld ton ropy,
- 3,34 mld ton węgla.

### **2.6.2 Usuwanie CO<sub>2</sub> z gazów kominowych**

Źródła energii nie emitujące CO<sub>2</sub> mają stosunkowo mały udział w ogólnej konsumpcji energii pierwotnej. Prawdopodobnie po kilku dekadach paliwa kopalne przestaną być dominującymi źródłami energii. W międzyczasie możliwość absorbowania CO<sub>2</sub> z gazów kominowych mogłaby okazać się korzystnym rozwiązaniem pod warunkiem, że byłaby ekonomicznie akceptowalna.

Stężenie dwutlenku węgla w gazach kominowych jest 500 krotnie większe, aniżeli w atmosferze. Dwutlenek węgla w gazach kominowych stanowi odpowiednio 15% i 8% objętości tych gazów dla siłowni opalanych węglem i gazem [2.12]. Przy tej koncentracji można by stosować szereg metod dla odzyskania CO<sub>2</sub>. Pierwszym, który zasugerował takie rozwiązania był Marchetti (1976) [2.13]. Zaproponowane przez niego metody były rozwijane przez Baes'a i współpracowników (1980) [2.14]. Jednakże okazały się bardzo energochłonne. Następnie Steinberg ze współpracownikami (1984) [2.15] opracował bardziej atrakcyjny proces chemicznej absorpcji odzyskiwania CO<sub>2</sub> z gazów kominowych. Dalsze opracowania to kriogeniczna separacja [2.16] i proces separacji przy wykorzystywaniu odpowiedniej membrany [2.12].

**Proces chemicznej absorpcji.** Chemiczną absorpcję stosuje się szeroko w procesie usuwania ze spalin kominowych tlenków siarki i azotu. Istnieją jedynie pilotowe urządzenia odzyskiwania CO<sub>2</sub> wykorzystujące jako absorbenty węglan potasu i aminy (alkilopochodne amoniaku). Stosując tę metodę w siłowni węglowej o sprawności bazowej 41% zmniejsza się jej sprawność do 29,7%, gdy redukuje się emisję CO<sub>2</sub> z 0,23 kG/kWh w siłowni bazowej do 0,03 kG/kWh. Równocześnie koszt wytwarzanej energii elektrycznej wzrasta o około 80% [2.12,2.17].

**Proces separacji kriogenicznej.** W procesie separacji kriogenicznej schładza się gazy kominowe do bardzo niskiej temperatury, a następnie oddziela się zestalony dwutlenek węgla. Schusler i Kummel (1989)[2.16] dokonali oceny efektywności tej metody. Zastosowanie kriogenicznej separacji CO<sub>2</sub> spowodowałoby spadek sprawności tej siłowni z 38% do 26%, przy równoczesnej redukcji emisji CO<sub>2</sub> z 0,26 do 0,04 kG/kWh.

**Proces separacji przy wykorzystaniu membrany.** Membrana zastosowana w procesie separacji pozwala zużycie stężenia CO<sub>2</sub> w gazach kominowych [2.12]. Najczęściej stosowanym materiałem membrany był polimer. Stosowano także membrany ciekłe [2.18]. Dla dwustopniowej kaskady membran oceniono spadek sprawności siłowni węglowej z 35% do 9-18%, przy usuwaniu z gazów kominowych 80% CO<sub>2</sub> [2.19].



### 2.6.3 Możliwości akumulacji naturalnej CO<sub>2</sub>

Duże ilości CO<sub>2</sub>, traktowane jako akumulacja naturalna CO<sub>2</sub>, są usuwane z atmosfery w sposób ciągle poprzez takie naturalne procesy, jak: **procesy fotosyntezy obejmujące globalne obszary leśne, pochłanianie przez oceany i erozję skal.**

**Globalne obszary leśne.** W okresie 1700-1980 obszar lasów w skali kuli ziemskiej zmalał o 390 10<sup>6</sup> ha [2.20]. Obecnie globalne obszary leśne zajmują 3635 10<sup>6</sup> ha i stanowią około 28% całej powierzchni lądów [2.21]. Według deklaracji "The Noordwijk Declaration", Holandia, 1989, około 70 krajów zabiega o zalesianie 12 10<sup>6</sup> ha rocznie do 2000 roku [2.22]. Ostatnio przeprowadzono szereg studiów oceniających możliwość realizacji wybranych scenariuszy. Według Sedjo i Solomona [2.23], dla absorpcji 2,9 Gt C/r winny być realizowane następujące alternatywy:

1. zwiększenie obszarów leśnych o 3500 10<sup>6</sup> ha przy równoczesnym zahamowaniu degradacji lasów,
2. zwiększenie obszarów leśnych o 3000 10<sup>6</sup> ha i założenie 465 10<sup>6</sup> ha plantacji szybko wzrastającej.

Według oceny Marlanda [2.24], ażeby stworzyć możliwość absorpcji 5 Gt C/r należałoby założyć 670 10<sup>6</sup> ha plantacji w klimacie południowych Stanów Ameryki Północnej i 50 10<sup>6</sup> ha plantacji w klimacie tropikalnym. Jednostkowa absorpcja węgla występującego w CO<sub>2</sub> zawiera się w granicach 5 - 10 t C/ha r. Ażeby istniała możliwość absorpcji węgla związanego w CO<sub>2</sub> w ilości 5 Gt/r, przy założeniu że jednostkowa absorpcja byłaby równa 5 t C/ha r, wymagana powierzchnia dodatkowego zalesiania musiałaby wynosić 1000 10<sup>6</sup> ha.

Należy zwrócić uwagę, że w zacytowanych wyżej studiach nie wskazano, czy przedstawione propozycje są możliwe do realizacji ze względów technicznych, ekonomicznych lub politycznych.

Według [2.25] szybkość wiązania węgla przez biomasę dla Ameryki Północnej, Europy i Azji wynosi 0,3 t C/m<sup>3</sup> biomasy lub pni drzewnych i 0,4 t C/m<sup>3</sup> pni drzewnych w Nowej Zelandii, Australii i krajach tropikalnych. Staje się oczywistym, że dla uzyskania znaczących efektów w wiązaniu węgla, program zalesiania musiałby być realizowany w okresie 40-50 lat. Stąd wynika konkluzja, że plantacje zakładane na dużą skalę nie będą mogły rozwiązać problemu absorpcji dwutlenku węgla w krótkim horyzoncie czasowym. Ponadto, możliwa do zrealizowania zdolność wiązania węgla wynosiłaby 1,6 Gt/rok, co stanowiłoby o wiele mniej niż ilość węgla obecnie akumulowana w atmosferze.

Jednostkowy koszt zakładania i utrzymania plantacji, w zależności od kontynentu, kształtuje się w granicach 500-1250 \$/ha [2.25]. Szacowany koszt proponowanego globalnego zalesiania byłby więc rzędu 3,5 10<sup>9</sup> \$ w 2095 roku dla wiązania 1,6 Gt C/r, to znaczy 2,2 \$/t absorbowanego z atmosfery węgla. Należy zauważyć, że przedstawiony koszt byłby jeszcze wyższy, jeżeli uwzględnić nierównomierny rozkład kosztów i wiązania węgla w długim horyzoncie czasowym. Mając na uwadze powyższe, oceniono w pracy [2.25] koszt realizacji globalnego programu zalesiania w okresie 1995-2095, wiążącego około 120 Gt, na kwotę 520 10<sup>9</sup> \$ (4,4 \$/tC).

W konkluzji stwierdza się, że potencjalne możliwości akumulacji naturalnej dwutlenku węgla zawartego w atmosferze poprzez zakładanie globalnych obszarów leśnych są mało realne. Najistotniejsze stają się ograniczenia typu socjalnego, kulturowego, etnicznego, rynku i organizacyjnego. Wymagałoby to 40-50 lat zanim efekt wiązania węgla byłby widoczny. Hall i inni [2.26,2.27] sugerują, zamiast zakładania plantacji mających na celu wiązanie węgla, produkowanie biomasy do celów energetycznych, która zastępowałaby paliwa kopalne.

**Pochłanianie przez oceany.** Obecnie oceany w wyniku fotosyntezy mogą absorbować około 35 Gt węgla związanego w CO<sub>2</sub> w ciągu roku. Jednakże, przeważająca większość tego węgla wraca do atmosfery w wyniku dekompozycji organizmów [2.25].

**Absorbcja poprzez erozję skał.** Erozja skał wapiennych jest jednym z elementów cyklu węgla. Skały wapienne w wyniku działań atmosferycznych przemieniają się w węglany wapnia absorbując z atmosfery dwutlenek węgla. Węglany te w bardzo wolnym, ale angażującym duże masy procesie, przemieszczają się do wód oceanów. Organizmy morskie odwracają powyższą reakcję w produkcji muszli zwalniając do atmosfery dwutlenek węgla. Erozja krzemków wapnia stanowi inny przykład procesu mogącego absorbować dwutlenek węgla. Finalnym produktem działania żywych organizmów morskich stają się krzemiany. Szybkość absorbowania dwutlenku węgla przez omawiane procesy oceniana jest na około 100 t/rok. Ażeby usunąć zawarty obecnie węgiel w atmosferze w postaci CO<sub>2</sub>, proces erozji musiałby przebiegać 7400 lat [2.28].

## 2.6.4 Rola energii jądrowej rozszczepienia w ograniczaniu emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery

Omówione sposoby ograniczania emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery mogą być uzupełniane przez:

1. bardziej efektywne wykorzystywanie energii pierwotnej,
2. wykorzystywanie źródeł energii wolnych od emisji węgla,
3. sięganie po źródła energii "czyste".

Pierwsze i trzecie z tych działań zostaną omówione w rozdziałach poświęconych odpowiednio zagadnieniu poszanowania energii i technologiom wykorzystywania źródeł odnawialnych. Jedynym źródłem energii nie powodującym emisji węgla do atmosfery, opanowanym obecnie technologicznie, jest energia jądrowa rozszczepienia. Rola tego źródła w ograniczaniu emisji CO<sub>2</sub> jest tematem niniejszego paragrafu.

Dla porównania emisji gazów cieplarnianych przez różne źródła energii w różnych krajach posługuje się następującymi współczynnikami [2.29]:

- współczynnik emisji (WE), określony jako ilość emitowanego CO<sub>2</sub> na jednostkę energii, wyrażony w Tg CO<sub>2</sub> na EJ (E-eksa -10<sup>18</sup>),
- współczynnik zużycia energii na mieszkańca, (WZE), charakteryzujący intensywność emisji gazów cieplarnianych.

**Współczynnik emisji.** Dla szeregu źródeł energii współczynnik emisji, traktowany jako wielkość ciagniona, przybiera następujące wartości [2.29]:

Tablica 2.1 Współczynnik emisji CO<sub>2</sub> dla różnych źródeł energii

Źródło energii	Współczynnik emisji Tg CO <sub>2</sub> na EJ
węgiel	105
ropa	75
gaz	123
energia słoneczna (kolektory fotowoltaiczne)	6
energia kinetyczna wiatrów	8
energia wodna	8
energia jądrowa	0,8
energia biomasy	?

W ocenie współczynnika emisji uwzględniano następujące etapy od źródła do użytkownika: pozyskiwanie, straty podczas pozyskiwania, eksploatację, degradację powierzchni z punktu widzenia zmniejszania naturalnej absorpcji CO<sub>2</sub>.

Współczynnik emisji dla różnych regionów kuli ziemskiej na przestrzeni lat 1965-90 zmniejszał się o następujące wartości:

- kraje rozwijające się -0,24 TgCO<sub>2</sub>/EJ rok

- w skali świata	-0,29	"	"
- kraje Wspólnoty Europejskiej (OECD)	-0,33	"	"
- kraje byłego Związku Radzieckiego	-0,43	"	"

**Współczynnik zużycia energii na mieszkańca.** Wartość współczynnika jednostkowego zużycia energii dla wybranych regionów w okresie 1965-90 przedstawiono na Rys.2.3. Rys.2.4 ilustruje (dla tych samych regionów i tego samego okresu) roczną emisję CO<sub>2</sub> na mieszkańca, co jest równoważne z emisją odniesioną do zużycia energii przez mieszkańca w ciągu roku. Na podstawie przedstawionych danych można wyciągnąć następujące wnioski:

- energia jądrowa odegrała znaczącą rolę w zmniejszaniu rocznej emisji CO<sub>2</sub> na mieszkańca, szczególnie w krajach Wspólnoty Europejskiej i w mniejszym stopniu w krajach byłego Związku Radzieckiego;
- w krajach rozwijających się, w których nie dominuje energia jądrowa w wytwarzaniu energii elektrycznej, roczna emisja CO<sub>2</sub> przypadająca na jednego mieszkańca nie ulegała zmniejszaniu.

Pomijając chwilowo wpływ użytkowania energii jądrowej na środowisko, w konkluzji należy stwierdzić, że energia jądrowa może odgrywać znaczącą rolę w osłabianiu efektu cieplarnianego, ale pod warunkiem, że będzie akceptowalna przez społeczeństwa.

## 2.7 Dziury ozonowe

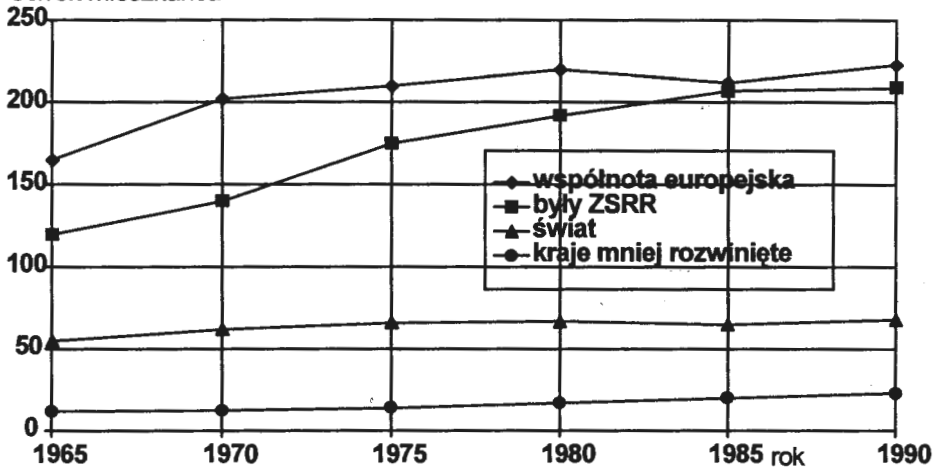
Syntetyczne chemikalia, takie jak freon, fluorochlorowa pochodna metanu lub etanu, niszczą ozon O<sub>3</sub> w stratosferze. Rozpoznano, że zagrożeniem dla warstw ozonu staje się emisja syntetycznych chemikalii i wzrost koncentracji podtlenku azotu N<sub>2</sub>O, powodowanego zwiększonym zastosowaniem nawozów azotowych i zwiększoną emisją gazów wylotowych silników spalinowych. Ozon w stratosferze spełnia rolę osłony przed promieniowaniem ultrafioletowym. Jego nadmierne natężenie na powierzchni ziemi jest niepożądane ze względu na toksyczne oddziaływanie na świat roślinny, zwierzęcy i człowieka.

Freon w górnych warstwach atmosfery wydziela atomy chloru. Reagują one z ozonem, przetwarzając ozon w tlen dwuatomowy, co prowadzi do dziury ozonowej. Obecny stan wiedzy wskazuje, że stratosferyczny ozon został "wypalony" w granicach 0,5-1%. Istnieją obawy, że może być wypalony do 16% w następnych dziesięcioleciach [2.30]. Jeśli stałoby się to faktem, to zwiększyłoby się promieniowanie ultrafioletowe na powierzchni ziemi. Konsekwencją byłby wzrost zachorowań na raka skóry i wzrost temperatury powierzchni ziemi.

## 2.8 Kwaśne deszcze

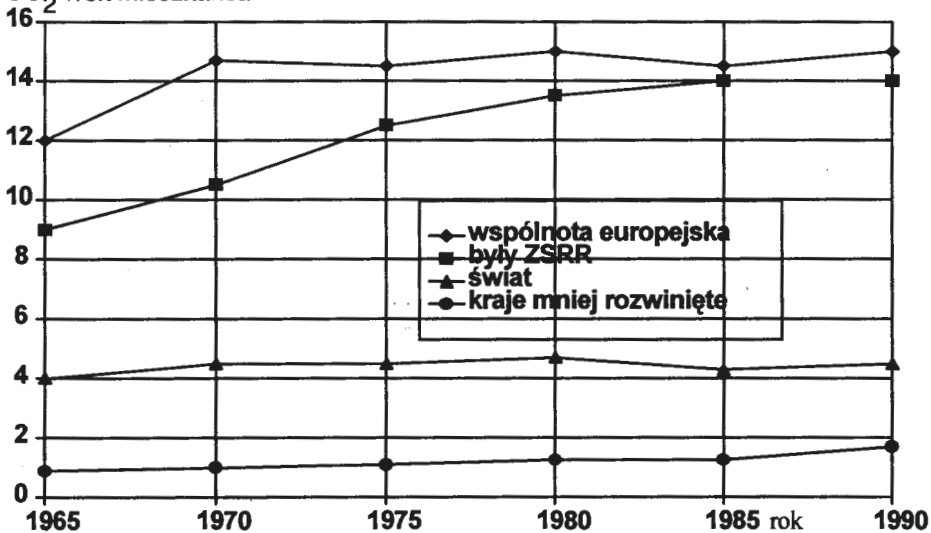
Problemem lokalnym w skali Europy staje się emisja SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> powodowana spalaniem węgla i w mniejszym stopniu ropy. W atmosferze SO<sub>2</sub> utlenia się do SO<sub>3</sub>, który rozpuszczany z parą wodną tworzy kwas siarkowy. Tlenki azotu NO<sub>x</sub> utleniają się przez ozon zawarty w atmosferze. Rozpuszczane z parą wodną przechodzą w kwas azotowy. Chlor powstały w wyniku dekompozycji freonu przyczynia się do powstawania kwasu chlorowodorowego (kwasu solnego). W wyniku powstaje zjawisko "kwaśnych deszczy" przyczyniające się do zakwaszania wód oceanów jezior i rzek, gleby, destrukcji lasów, a także obniżania plonów rolnych. Studia wykazują, że ponad 20 % lasów w Europie uległo zniszczeniu w wyniku działania kwaśnych deszczy [2.5,2.31,2.32].

GJ/rok mieszkańca



Rys.2.3 Jednostkowe zużycie energii w GJ na rok na mieszkańca dla wybranych regionów w okresie 1965-1990.

CO<sub>2</sub> /rok mieszkańca



Rys. 2.4 Jednostkowa emisja CO<sub>2</sub> w tonach CO<sub>2</sub> na rok na mieszkańca dla wybranych regionów w okresie 1965-1990.

Na podstawie raportu o stanie zanieczyszczenia powietrza w Europie [2.33] stwierdzono konieczność redukcji emisji dwutlenku siarki w celu zahamowania zakwaszania środowiska. Zanieczyszczenia te przy odpowiednich warunkach atmosferycznych przemieszczają się na duże odległości, opadając z dala od źródła powstawania. W Międzynarodowym Instytucie Stosowanej Analizy Systemowej (International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA) przeprowadzono badania symulacyjne w celu określenia istniejącej sytuacji z punktu widzenia możliwości przemieszczania się zanieczyszczeń powietrza, a także dla oceny ewentualnych scenariuszy sterowania emisją siarki [2.34]. Symulowano stan istniejący, odniesiony do roku 1988, jako regionalny rozkład depozycji siarki w Europie. Największe opady siarki występują w Północnej Europie oraz w okolicach Katowic i Krakowa. Na obszarze Katowic dochodzą do 150 g/m<sup>2</sup>/r. Rozważano dwa scenariusze sterowania emisją siarki. Pierwszy dotyczył krajów Europy Zachodniej. Założono, że elektrownie węglowe zostaną zastąpione do 2000 roku przez elektrownie jądrowe i opalane gazem. Udział tych ostatnich miał wynosić od 30% do 70% w zależności od kraju. Zgodnie z tym scenariuszem Polska nadal mogłaby pozostawać krajem najbardziej zanieczyszczonym opadami siarki. W drugim scenariuszu założono dalszą likwidację źródeł emisji siarki (w 75%-tach) na dawnym obszarze Czechosłowacji. W tym przypadku obszar Katowic charakteryzowałby się największymi opadami siarki. Omawiane przykłady pokazują, że problemy ochrony środowiska wykraczają poza obszar jednego kraju, a sterowanie emisją zanieczyszczeń może być realizowane według szeregu scenariuszy. Polska jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych krajów w Europie. Transgraniczne przepływy zanieczyszczeń z terytorium Polski są również znaczne i wywierają istotny wpływ na gleby, lasy i wody w krajach sąsiadujących [2.35].

## 2.9 Wpływ zanieczyszczeń na zdrowie ludzkie

W ciągu ostatnich lat, w wyniku spalania paliw kopalnych, jakość powietrza szybko pogarszała się z punktu widzenia oddziaływania na zdrowie ludzkie. Zagrożenia dla zdrowia ludzkiego stanowią zarówno zanieczyszczenia pierwotne, takie jak CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>n</sub>C<sub>m</sub>, pyły, a także zanieczyszczenia wtórne w postaci NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, *aldehyd* (powstających w wyniku termicznej dekompozycji tłuszczów, oleju i glicerolu), *olefin*, *peroksyacetylowego azotanu* (oznaczany w literaturze anglosaskiej indeksem PAN - peroxyacetyl nitrate. PAN jest toksycznym elementem smogu, powstającym w wyniku działania światła słonecznego na węglowodory zawarte w spalinach silników samochodowych), *akrolein* (aldehyd akrylowy powstający w wyniku dekompozycji glicerolu lub utleniania propanu) i *związków ołowiu* (których źródłem jest spalanie benzyn ołowiowych).

Poniżej zestawia się odpowiednie rodzaje zanieczyszczeń przyczyniające się do powstawania określonych zagrożeń zdrowia ludzkiego. Są to:

- infekcja dróg oddechowych - działanie SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, pyłu, azotanu, peroksyacetylu azotanu PAN, siarczanów SO<sub>4</sub>, azotanów NO<sub>3</sub>,
- zapalenie płuc, gruźlica - działanie CO,
- choroby serca - działanie CO, SO<sub>x</sub>,
- chroniczny bronchit - działanie PAN, NO<sub>x</sub>,
- astma - działanie SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>,
- duszność, bóle głowy - działanie ozonu O<sub>3</sub>,
- wylew krwi do mózgu - działanie CO,
- nowotwory żołądka i płuc - działanie węglowodorów i pyłu,
- rak krwi - działanie aldehyd, olefin,
- podrażnienie gałek ocznych - działanie akrolein,
- uszkodzenia mózgu - działanie związków ołowiu [2.5].

Zagadnienia ochrony środowiska z uwzględnieniem potrzeb gospodarczych i społecznych, w tym wpływu stanu środowiska na kondycję zdrowotną całego społeczeństwa, przedstawiono w pracy [2.36].

## **2.10 Uwagi końcowe**

Głównym zagrożeniem środowiska naturalnego jest zbyt intensywne użytkowanie zasobów paliw kopalnych przez ludzkość w ostatnich dziesięcioleciach. Konsekwencją takiego działania są i w dalszym ciągu mogą być:

1. zmiany klimatu w skali kuli ziemskiej powodowane efektem cieplarnianym,
2. degradacja szaty roślinnej w skali regionu w wyniku działania kwaśnych deszczy,
3. zagrożenie zdrowia ludzkiego poprzez oddziaływanie zanieczyszczeń, będących skutkiem spalania paliw kopalnych.

Znaczące przeciwdziałanie wyżej wymienionym zagrożeniom ekologicznym można by uzyskać stosując:

- odpowiednie technologie wykorzystywania nieodnawialnych i odnawialnych źródeł energii,
- zmniejszanie strat energii na rzecz otoczenia podczas procesów przetwarzania pierwotnych nośników do wtórnych i podczas użytkowania wtórnych nośników energii, co bezpośrednio powoduje zmniejszanie emisji zanieczyszczeń.

Zmniejszanie strat energii na rzecz otoczenia można uzyskać dokonując odpowiednich zmian w rozważanych układach termodynamicznych. Mając to na uwadze w następnym rozdziale przedstawi się wybrane zagadnienia termodynamiki, a w kolejnych rozdziałach omówi się technologie nieodnawialnych i technologie odnawialnych źródeł energii.

## **Literatura**

- 2.1 Rabinowitch E.I., Photosynthesis and Related Processes, II (1), Interscience, Nowy Jork, 1951.
- 2.2 Riley G. A., The carbon mechanism and photosynthetic efficiency of the earth, American Science, 32, 132-134, 1944.
- 2.3 Southwick Ch. H., Ecology and the Quality of our Environment, D. Van Nostrand Company, 1976.
- 2.4 Deevey, E.S., Mineral cycles, Scientific American, 223, 148-159, 1970.
- 2.5 Selvam P., Energy and environment - an all time search, International Journal Hydrogen Energy, Vol.16, No 1, 1991.
- 2.6 Gribin J., Carbon dioxide and climate, Energy Policy, 1978.
- 2.7 Hafele W., Konferencja energetyczna "Global and Regional Energy Prospects", IIASA, Laxenburg, Austria, 14-16.11.1988.
- 2.8 Rogner H.H., Grubler A., Fossil Fuel Resources: From Supply Scarcity to Carbon Abundance? IIASA, Laxenburg, Austria, 1992.

- 2.9 Van de Vate, J.F., Release of natural gas into the atmosphere in view of replacing coal by natural gas, International Atomic Energy Agency, Wiedeń, P.O. Box 100, Austria.
- 2.10 Crutzen P.J., Methane's Sinks and Sources, *Nature* 350, 380-381, 1991.
- 2.11 Materiały dziesiątej światowej konferencji energetycznej, Istanbuł, Turcja, 1977.
- 2.12 Blok K. i inni, Carbon dioxide removal: A Review, symposium "Environmentally Sound Energy Technologies", ENI, San Milanese, Włochy, październik, 1991.
- 2.13 Marchetti C., On geoengineering and the CO<sub>2</sub> problem, RM-76-17, IIASA, Laxenburg, Austria, 1976.
- 2.14 Baes C. i inni, Options for the collections and disposal of carbon dioxide, ORNL-5657, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, USA 1988.
- 2.15 Steinberg M. i inni, A System Study for the Removal, Recovery and Disposal of Carbon Dioxide from Fossil Fuel Power Plants in the United States, DOE/CH/00016-2, U.S. Department of Energy, Washington, DC, USA, 1984.
- 2.16 Schusler U., Kummel R., Carbon Dioxide Removal from Fossil Fuel Power Plant by Refrigeration Under Pressure, materiały 24-tej konferencji "Intersociety Energy Conversion Engineering, Washington, USA, 1989.
- 2.17 Blok K. i inni, The Role of Carbon Removal in the Reduction of the Greenhouse Effect, Proceedings of the Experts' Seminar, OECD, Paryż, Francja, kwiecień, 1989.
- 2.18 Saha S., Chakma A., Separation of CO<sub>2</sub> for Gas Mixtures with Liquid Membranes, materiały "1st International Conference on Carbon Dioxide Removal, 4-6, 03, Amsterdam, Holandia, 1992.
- 2.19 Golomb D. i inni, Feasibility, Modeling and Economics of Sequestering Power Plant CO<sub>2</sub> Emission in the Deep Ocean, MIT-EL 89-003, MA Institut of Technology, Cambridge, USA, 1989.
- 2.20 Richards J.F., i inni, The Earth as Transformed by Human Action, Cambridge University Press, Cambridge, Wielka Bryt., 1990.
- 2.21 Allan T., Lanly J.P., Overview of Status and Trends of World's Forests, Proceedings of the Technical Workshop to Explore Options for Global Forestry Management, Bangkok, 24-29,04,1991.
- 2.22 Anonymous, The Noordwijk Declaratio on Climate Change: Atmospheric Pollution and Climate Change, Ministerial Conference held at Noordwijk, Holandia, 6-7.11.1989.
- 2.23 Sejdo R.A., Solomon A.M., Climate and Forests, in Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation, Resources for the Future, Washington, USA, 1989.
- 2.24 Marland G., The Prospect of Solving the CO<sub>2</sub> Problem Through Global Reforestation, Department of Energy, Washington, USA, 1988.

- 2.25 Nekicenovic N. Long-term strategies for mitigating global warming, *Energy*, Vol.18, No 5, 1993.
- 2.26 Hall D.O., Biomass Energy, *Energy Policy* 19(8), 711-737, 1991.
- 2.27 Hall D.O., i inni, Carbon Sequestration vs. Fossil Fuel Subscription: Alternative Roles for Biomass in Coping with Greenhouse Warming, PU/CEES Report No. 255, Princeton University, Princeton, USA, 1990.
- 2.28 Seifritz W., Der Treibhaus-effekt: Technische Masnahmen zur CO<sub>2</sub> - Entstorung, Carl Hanser-Verlag, Monachium, RFN, 1991.
- 2.29 Van de Vate J.F., Energy and Climate Change: Nuclear Energy, Seminar: Energy, Development and Climate Change, Kair, Egipt, 1-3.03.1992.
- 2.30 Ahmed A.K., Unshielding the sun: human effects. *Environment*, 17(3), 1975.
- 2.31 Marecki J. Nowe strategie rozwoju energetyki i ich skutki dla środowiska naturalnego, Konferencja międzynarodowa - dni IIASA w Polsce, Warszawa, 20-21.04.1993.
- 2.32 Cofała J., Przegląd prac badawczych w projekcie IIASA nt. transgranicznych przepływów zanieczyszczeń powietrza, Konferencja międzynarodowa - dni IIASA w Polsce, Warszawa, 20-21.04.1993.
- 2.33 Executive Report of the Conference on Air Pollution in Europe: Environmental Effects, Control Strategies and Policy Options, 26-30.09.88, Norrtalljei Stockholm. 1988.
- 2.34 Ammann M., Environmental Impacts of Different European Energy Strategies, IIASA/ CVTU Workshop on Socioeconomic Impacts of Regional Integrated Energy Systems, Praga, 10-12.10.1988.
- 2.35 Nowicki M., Ochrona powietrza atmosferycznego w Polsce w najbliższej przyszłości, Konferencja międzynarodowa - dni IIASA w Polsce, Warszawa, 20-21.04.1993.
- 2.36 Kozłowski S., Ochrona środowiska z uwzględnieniem potrzeb gospodarczych i społecznych, referaty na Sesji Zgromadzenia Ogólnego Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 1994.



**IBS**

43297

**ISBN 83-85847-06-5**

---

---

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy  
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN  
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa  
tel. 36-19-01 w. 241 e-mail: [kotuszew@ibspan.waw.pl](mailto:kotuszew@ibspan.waw.pl)