

EFEKT CIEPLARNIANY- CO₂ ?

Pojęcie „efektu cieplarnianego” stało się dzisiaj jednym z najczęściej używanych haseł, ale jednocześnie chyba najmniej zrozumiałym. W potocznym rozumieniu efekt cieplarniany kojarzy się z emisją CO₂, co jest tylko częściowo zgodne z faktami. Dlatego należy przyrzeć się bliżej procesom, które zachodzą w naszej atmosferze i które skutkują – jak to potwierdzają obserwacje i wyniki pomiarów, wzrostem temperatury Ziemi.

Zanim jednak zidentyfikujemy zjawiska związane z „efektem cieplarnianym” przyjrzyjmy się naszemu obiektowi badań. To co z punktu widzenia tych zjawisk jest najistotniejsze dzieje się w atmosferze – w otoczce gazowej Ziemi o grubości kilkudziesięciu kilometrów. Jeżeli uświadomimy sobie, że promień Ziemi jest równy ok. 6400 km, to obiektem naszych zainteresowań są dziesiętne części procenta średnicy Ziemi. Zachowując proporcje, nasza atmosfera odpowiada trzem lub czterem warstwom lakieru na gabinetowym globusiku. Z kolei, skorupa Ziemi ma również grubość rzędu kilkudziesięciu kilometrów – co w przybliżeniu odpowiada również dziesiętnym częściom procenta promienia Ziemi. Pod skorupą już jest półpłynna magma, a dalej w wyniku wzrostu temperatury oraz ciśnienia magma się ustala. Przy dalszym wzroście temperatury, zbliżając się do środka Ziemi przy dalszym wzroście temperatury przyjmuje postać płynną, krążąc we wnętrzu kuli ziemskiej. Uważa się że te ruchy konwekcyjne zjonizowanej substancji są przyczyną ziemskiego pola magnetycznego. Ruchy konwekcyjne musiały ulegać zmianie, ponieważ zmieniało się pole magnetyczne Ziemi (m.in. bieguny magnetyczne ulegały przemieszczeniu). Ta zmiana cyrkulacji musiała skutkować w przeszłości zmianą temperatury Ziemi. Jądro, zgodnie z aktualną wiedzą, jest stałe o temperaturze ok. 5 tys stopni Celsjusza i odbywa się w nim reakcja termojądrowa. Przedstawienie tego co się dzieje we wnętrzu Ziemi, uświadamia nam, że nasza planeta jest potężnym źródłem ciepła, które z warstw położonych w głębi Ziemi przenika do skorupy i jest wypromieniowywane w przestrzeń kosmiczną. Jednocześnie musimy mieć świadomość, że biosfera, a więc warstwa w której rozwinęło się życie, stanowi mały ułamek procenta promienia kuli ziemskiej. Ale na zjawiska, które występują w tej biosferze i które obserwujemy i odczuwamy, ma wpływ wszystko to co dzieje się nad nami i pod nami.

Analizując wpływ CO₂ na efekt cieplarniany należy prześledzić jego bilans. Największym rezerwuarem dwutlenku węgla są morza i oceany. W wodzie morskiej, jako wynik procesów geofizycznych, ale również biologicznych, znajduje się – jak się szacuje 132 000 miliardów ton CO₂. Rocznie uwalnia się do atmosfery ok. 330 miliardów ton. Z porównania tych wartości wynika, że ten rezerwar wystarczy jeszcze na długo, nawet biorąc pod uwagę asymilację dwutlenku węgla przez rośliny morskie (których jest coraz mniej). Ocenia się, że rośliny Ziemi asymilują rocznie 400 miliardów ton CO₂. Udział człowieka w bilansie dwutlenku węgla wynosi 24 miliardy ton (emisje przemysłu, transportu). Z drugiej strony od wielu lat utrzymuje się w atmosferze w przybliżeniu stały poziom dwutlenku węgla – ok. 2 900 miliardów ton. Jak z tego wynika „udział” człowieka w bilansie CO₂ w atmosferze jest mniejszy niż 1%¹. Po określeniu skali problemu należy przejść do przeanalizowania zjawisk powodujących efekt cieplarniany.

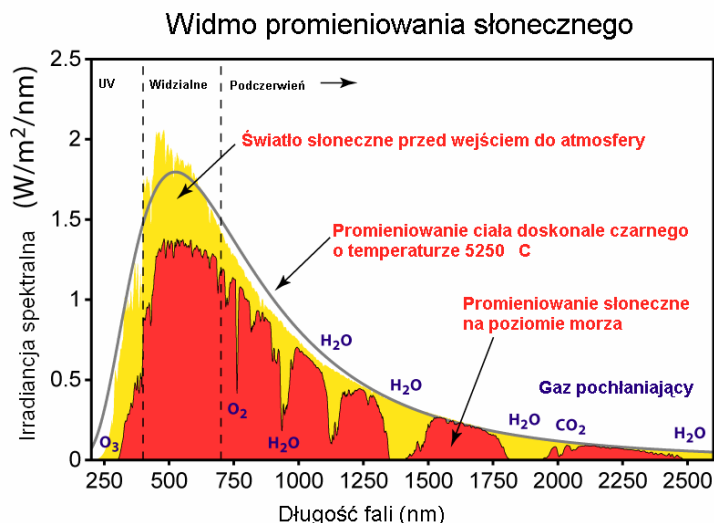
Każda cząsteczka gazu, przedstawiając ją w sposób bardzo poglądowy, może mieć w różny sposób ułożone atomy – np. w cząsteczce wody dwa atomy wodoru mogą być względem tlenu w różny sposób ułożone. Analizując te różne rozłożenia atomów można stwierdzić, że niektóre z nich mają oś symetrii. Wzdłuż każdej osi może wystąpić rezonans cząsteczkowy o ściśle określonej częstotliwości. Jeżeli cząsteczkę umieści się w polu elektromagnetycznym, to atomy (mające odpowiedni ładunek elektryczny) będą się „wychylały” w takt zmian pola. Te wychylenia będą największe w przypadku wystąpienia rezonansu cząsteczkowego, tzn. wtedy, gdy częstotliwość zmian pola elektromagnetycznego będzie równa częstotliwości rezonansowej cząsteczki. Każdemu ruchowi, atomów w cząsteczce również, towarzyszy tarcie, z którym związane jest wydzielanie się ciepła. Jeżeli wydziela się ciepło – tzn. energia, to ta energia musi być pobrana z jakiegoś źródła. Tym źródłem jest fala elektromagnetyczna – i cząsteczki nagrzewając się zmniejszają natężenie fali elektromagnetycznej o częstotliwości równej częstotliwości rezonansu. Efekt ten nazywa się często wycinaniem fali. Cząsteczka pochłaniając energię zwiększa swoją amplitudę drgań termicznych, którą odczuwamy dotykając „ciepłych” przedmiotów. Rezonansów cząsteczki, jak już wspomniano może być kilka – i dla każdej częstotliwości rezonansowej cząsteczka „wycina” inną falę elektromagnetyczną.

Po opisanu mechanizmu wycinania fal z widma należy przeanalizować co się dzieje z promieniowaniem, które zawiera wszystkie częstotliwości z całego zakresu promieniowania podczerwonego. W analizie promieniowania posługujemy się pojęciem długości fali

¹ Wł. Kotowski, *Energia Gigawat*. 2008/3; H. Penner, *Brennstoffspiegel und Mineralölrundschau* 2004/6.

elektromagnetycznej – obliczamy ją dzieląc prędkość światła przez częstotliwość. Zakres promieniowania podczerwonego obejmuje długości fal od ok. 0,7 μm do 20 (40) μm . Dla przypomnienia – długości fal światła widzialnego zawierają się w granicach od 0,4 μm do 0,7 μm .

Na rysunku 1 przedstawiono widmo promieniowania słońca jako ciała doskonale czarnego o temperaturze 5200 K.

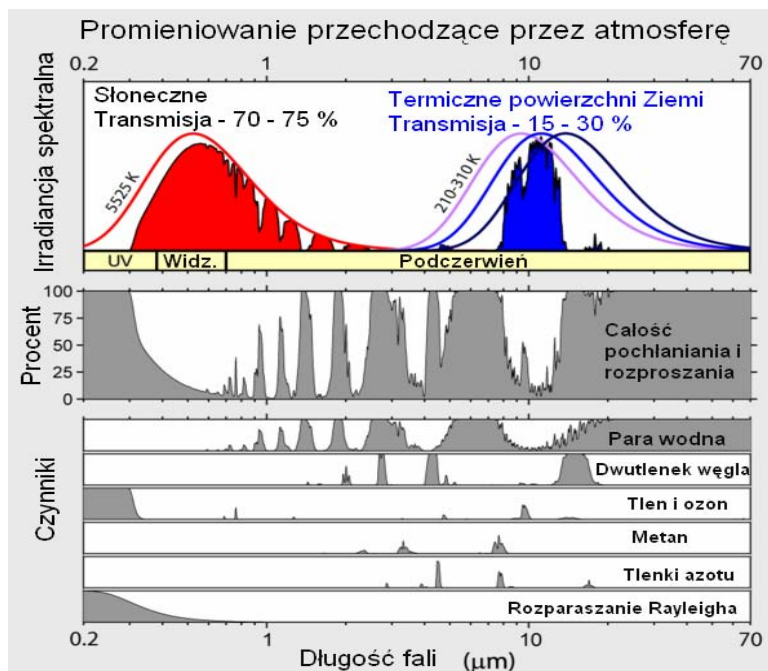


Rys. 1. Widmo promieniowania słonecznego przed oraz po przeniknięciu przez atmosferę z zaznaczonymi oddziaływaniami gazów cieplarnianych [Źródło: Wikimedia Comments]

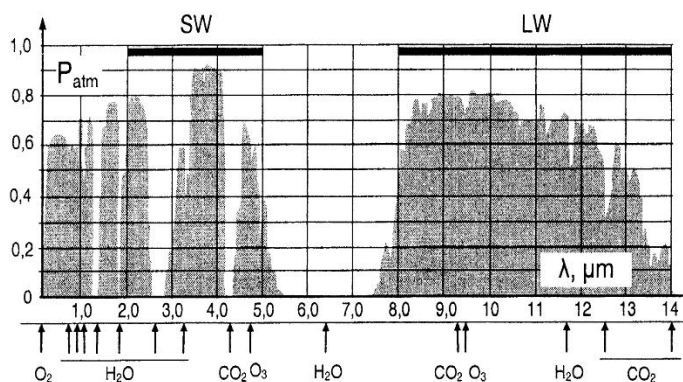
Promieniowanie słońca zmierzone przed wniknięciem do atmosfery ma obwidnię bardzo zbliżoną do krzywej promieniowania ciała doskonale czarnego. Promieniowanie dochodzące do powierzchni Ziemi ma znacznie mniejsze natężenie, a widmo wykazuje charakterystyczne „studnie”, spowodowane wycięciem fal elektromagnetycznych o częstotliwościach równych częstotliwościom rezonansowym cząsteczek, których wpływ został zidentyfikowany. Najwięcej wycięć fali elektromagnetycznej spowodowanych jest przez H_2O .

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystykę promieniowania słonecznego oraz ziemskiego, jako ciała doskonale czarnego o temperaturach (210-310) stopni Celsjusza. Pod widmami ciał doskonale czarnych wrysowano widma promieniowania po przejściu przez atmosferę: dla promieniowania słonecznego zmierzone na powierzchni Ziemi, a dla promieniowania emitowanego z Ziemi – w górnych warstwach atmosfery. Pole pomiędzy widmami jest proporcjonalne do ciepła wydzielanego w atmosferze. Na kolejnym wykresie przedstawiono charakterystykę tłumienia fal wyrażonego w procentach. Wartość 100%

oznacza, że następuje całkowite wytłumienie fali o określonej długości. Na kolejnych charakterystykach przedstawiono udział H₂O, CO₂, CH₄ itd. w tłumieniu fal, czyli zakresy fal wytłumianych przez poszczególne gazy cieplarniane. Na wykresach widoczny jest znacznie większy udział w tłumieniu fal elektro-magnetycznych H₂O niż CO₂. Jeszcze bardziej widoczne to jest na przykładowych wynikach pomiaru widma po przejściu promieniowania przez 1500 metrowy odcinek atmosfery ziemskiej, które przedstawiono na rys. 3.



Rys.2. Widma promieniowania Słońca oraz Ziemi przed wniknięciem do atmosfery oraz po jej przejściu, procentowy wykres tłumienia promieniowania, i udział w tłumieniu poszczególnych gazów [Źródło: Wikimedia Comments]



Rys.3. Widmo promieniowania po przeniknięciu przez 1,5- kilometrowy odcinek atmosfery².

Wycięcie całkowite lub częściowe fal widma nastąpiło właśnie w wyniku rezonansów cząsteczkowych, głównie H₂O oraz CO₂ – kilku rezonansów dla różnych osi symetrii

² W. Minkinia, *Pomiary termowizyjne*, WPC 2004.

cząsteczek. Ta moc, której brakuje na wykresie (pole białe) nagrzewa powietrze, dokładniej parę wodną znajdującą się w powietrzu, wodę w chmurach oraz inne gazy znajdujące się w atmosferze. Tu dochodzimy do istotnej zależności – im więcej cząstek wody, i innych gazów, tym więcej rezonansów i tym większe jest pochłanianie ciepła i nagrzewanie atmosfery – jej temperatura wzrasta.

Jak już wspomniano ciepło Ziemi, pochodzące od jej nagrzania oraz ”wyprodukowane” przez Ziemię jest wypromieniowywane w przestrzeń kosmiczną. Natężenie tego promieniowania jest zależne od różnicy czwartych potęg (!) temperatury powierzchni Ziemi i jej atmosfery. Jeżeli temperatura atmosfery wzrasta, różnica czwartych potęg temperatur silnie maleje i tym samym natężenie promieniowania ziemskiego zmniejsza się – temperatura Ziemi nie obniża się w taki sposób, jak w przypadku małej ilości wody w atmosferze. Promieniowanie termiczne Ziemi przenikające atmosferę wywołuje dokładnie taki sam efekt jak promieniowanie słoneczne, podwyższając jeszcze temperaturę atmosfery ziemskiej. Gazy, które powodują „wycinanie” fal nazwano gazami cieplarnianymi. Nagłaśnia się udział w efekcie cieplarnianym dwutlenku węgla (CO₂), ewentualnie metanu (CH₄), rzadziej ozonu (O₃), ale prawie zawsze pomija się milczeniem „głównego winowajcę” – H₂O. W tabeli przedstawiono oszacowany procent udziału odpowiedzialności poszczególnych gazów za efekt cieplarniany.

GAZ	Szacowany procent odpowiedzialności
Para wodna	(36 – 66)%
Woda - chmury	(60 – 85)%
CO ₂	(9 – 26)%
O ₃	(3 – 7)%
CH ₄	(4 – 9)%

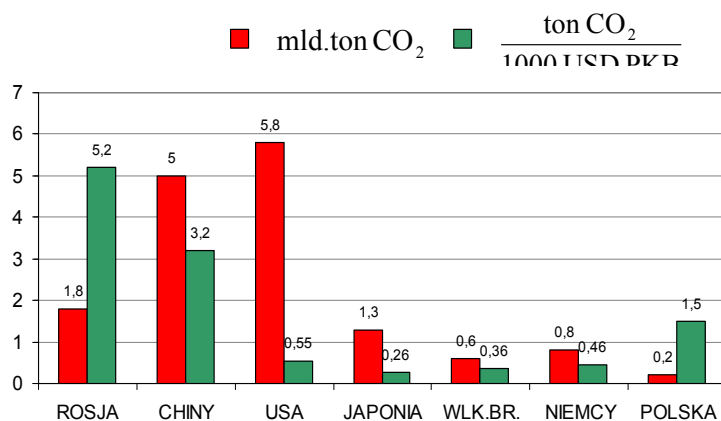
Tabela 1. Wpływ gazów na efekt cieplarniany. Źródło: Wikimedia Commons

Należy zwrócić uwagę na bardzo duży udział wody zawartej w chmurach w tworzeniu „cieplnej” otuliny Ziemi, utrudniającej wypromieniowywanie ciepła z Ziemi. Z własnego doświadczenia znamy sytuację, kiedy patrząc w bezchmurne gwiazdziste niebo mówimy – „będzie chłodna noc”. Rankiem, stwierdzając spadek temperatury komentujemy ten fakt – „nastąpiło wypromieniowanie ciepła”.

Jak z tego wynika przeciwdziałanie efektowi cieplarnianemu wymaga zmniejszenia ilości wszystkich gazów cieplarnianych w atmosferze wymienionych w tabeli, ale aktualnie skoncentrowano się tylko na CO₂, chociaż CO₂ „wycina” z widma promieniowania w sposób

znaczący cztery częstotliwości (lub długości fali). **Należy zauważyć, że przypisany CO₂ procent odpowiedzialności za efekt cieplarniany dotyczy 2 900 miliardów ton CO₂, a odpowiedzialność człowieka za efekt cieplarniany w wyniku wprowadzenia 24 mld tonCO₂ można oszacować na (0,07 – 0,2)%, a więc poza błędem szacowania.**

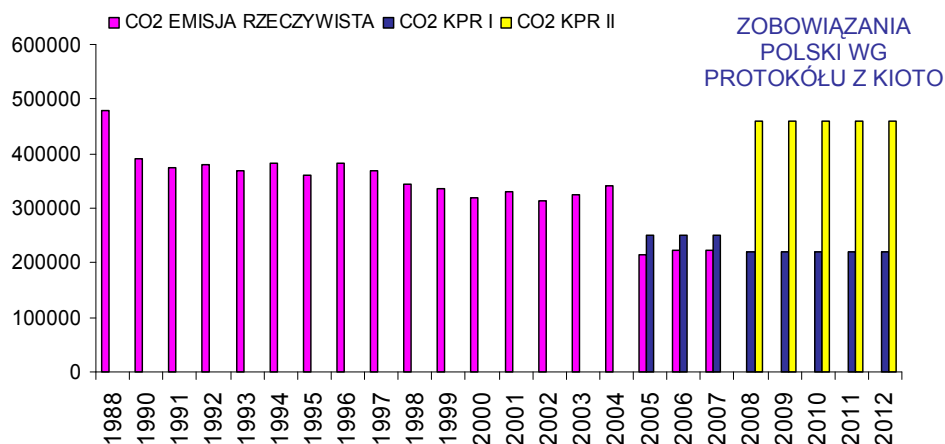
Jak już wspomniano, człowiek jest sprawcą wprowadzenia do atmosfery ok. 24 miliardów ton CO₂. Udział różnych państw w tej emisji jest różny, ilustruje to rysunek 4.



Rys. 4. Udział wybranych państw w emisji CO₂, oraz odniesienie emisji do wytworzenia wartości 1000 USD produktu krajowego brutto

Z rysunku 4 wynika, że największymi emitentami CO₂ są Stany Zjednoczone oraz Chiny, które odpowiadają w przybliżeniu za połowę wprowadzanego do atmosfery dwutlenku węgla. Oba państwa nie podpisały tzw. protokołu z Kioto, w którym państwa strony zobowiązały się do nie przekraczania ustalonych limitów emisji. Interesującym jest drugi wskaźnik – przeliczenie emisji na wytworzenie w produkcie krajowym brutto (PKB) wartości 1000 dolarów. Tu przoduje Rosja, Chiny i Polska.

Polska zobowiązała się do przestrzegania dwóch limitów emisji CO₂ – na podstawie protokołu z Kioto o wartości 551,7 milionów ton oraz limitu określonego przez Komisję Europejską o wartości 208,5 mln ton, znacznie mniejszego niż limit z Kioto. Nas obowiązują limity określone przez UE. W związku z kontrowersjami dotyczącymi przyznanego przez Komisję Europejską ograniczonego limitu, warto prześledzić jak kształtowała się emisja CO₂ na przestrzeni ostatnich lat.

Rys.4. Emisje CO₂ w okresie 1988 – 2012

Na rysunku 4 przedstawiono emisje w latach 1988 – 2007. Limity emisji CO₂ przyznane przez Komisję Europejską na lata 2005 – 2007 były wyższe niż rzeczywiste emisje. W wyniku tego na kolejne lata Komisja przyznała Polsce limity na poziomie rzeczywistych emisji z ubiegłych lat. W Polsce w ramach Krajowego Planu Rozwoju Emisji dokonano podziału tych limitów. Relatywnie mniej limitów otrzymała energetyka, a więcej pozostałe branże, co spowodowało wiele dyskusji. Jest to jednak rozwiązanie, które ogranicza inwestycje (małe lub całkowity brak limitów dla nowych inwestycji), oraz ogranicza rozwój gospodarczy. Pomysłem na zmniejszenie emisji jest sekwestracja CO₂ – czyli usuwanie dwutlenku węgla np. ze spalin i magazynowanie go w wyrobiskach pokopalnianych, itp. O skali problemu może świadczyć przybliżone przeliczenie: jeżeli produkcja 1 MWh energii elektrycznej wiąże się z koniecznością wychwycenia 1,1 tony CO₂, a roczna produkcja wynosi ok. 160 TWh, to należy „zagospodarować” ok. 176 mln ton CO₂ rocznie(!). Szacunkowy koszt sekwestracji 1 tony CO₂ zawiera się w granicach (15–75) USD/t CO₂. Można ominąć sekwestrację i kupować uprawnienia do emisji od tych, którzy mają przyznane wysokie limity i sami ograniczyli emisję. Cena uprawnienia do emisji 1 tony obecnie waha się od 15 do 30 USD. Wszystko to wpłynie na ceny energii elektrycznej. Nikt nie jest w stanie określić przewidywalnego wzrostu ceny energii elektrycznej, szczególnie jeżeli uwzględni się zalecenia Komisji Europejskiej, zgodnie z którymi wszystkie elektrownie budowane po roku 2020 muszą mieć instalacje wychwytywania dwutlenku węgla (nasuwa się tu pewna analogia – jeżeli 10 lat temu, baryłka ropy kosztowała 20 USD nikt nie myślał, że w roku 2008 będzie kosztowała 120 USD). Nie trzeba nikomu tłumaczyć, że wzrost cen energii elektrycznej przeniesie się na wzrost cen wszystkich produktów, do wytworzenia, których jest potrzebna energia elektryczna.

Czy jest to jedyna droga? Faktem jest, że obserwujemy ocieplenie naszej planety. Topniejące pokrywy lodowe biegunów, lodowców w górach, przesuwanie się w kierunku północnym granic upraw roślin ciepłolubnych. Sytuacja staje się tak trudna, że powinniśmy rozważać wszystkie możliwości zmniejszania efektu cieplarnianego – nie tylko poprzez zmniejszenia emisji CO₂, które nie jest, jak to wynika z przedstawionej analizy, głównym powodem ocieplenia. Trzeba głośno mówić, że głównym powodem efektu cieplarnianego jest nadmiar pary wodnej i wody w atmosferze. Procesu parowania nie zmienimy, ale można go ograniczyć. Mało tego, można połączyć oba cele w jednym działaniu zwiększając powierzchnię zalesień. Z jednej strony zwiększa się asymilację CO₂ z powietrza, z drugiej strony pokrywa zieleni zatrzymuje wilgoć, ograniczając parowanie. Kilkanaście lat temu protestowano przeciwko wycinaniu puszczy amazońskich, uzasadniając to zmniejszaniem asymilacji CO₂. Ważniejszy wydaje się drugi aspekt – odkryte tereny, które gwałtownie się wysuszają. Może pamiętając o tych dwóch efektach należy po prostu zacząć sadzić drzewa!

Na potwierdzenie tego wniosku można w sposób szacunkowy obliczyć ile lasów posadzonych w Polsce skompensowałyby całkowitą krajową emisję dwutlenku węgla. Powierzchnia Ziemi w przybliżeniu jest równa $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Jeżeli uwzględnimy, że około $\frac{3}{4}$ powierzchni stanowią oceany i pominiemy lądy pokryte lodem, to w asymilacji dwutlenku węgla będzie brało udział około 20 procent powierzchni naszej planety, tzn. $0,2 \cdot 510 \cdot 10^6 \text{ km}^2 \cong 100 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Powierzchnia Polski w stosunku do powierzchni części kuli ziemskiej biorącej udział w asymilacji CO₂ wynosi w przybliżeniu $(311 \cdot 10^3 : 100 \cdot 10^6) \cdot 100\% \cong 0,3\%$. Stąd w Polsce asymilowanych jest $(400 \text{ mld ton} \cdot 0,3\%) = 1\,200 \text{ mln ton CO}_2$. Porównując emisję w Polsce z asymilowanym dwutlenkiem węgla wynika, że całą emisję można skompensować zwiększając powierzchnię zieleni – lasów o $(208,5 \text{ mln ton} : 1\,200 \text{ mln ton}) \cdot 100\% = 17\%$. Łatwo obliczyć, że określone przez UE zmniejszenie emisji o 20% wymagałoby zwiększenia do roku 2020 powierzchni lasów o 3,4%. Obliczenie, które ma charakter szacunkowy dotyczy tylko kompensacji emitowanego dwutlenku węgla. Zwiększenie powierzchni lasów zmniejsza wpływ na efekt cieplarniany głównego winowajcy – H₂O. Lasy wiążą wodę ograniczając parowanie. Nie bez znaczenia ma również rozwój flory i fauny, nie wspominając już o walorach turystyczno-rekreacyjnych.

Do zbliżonych i dokładniejszych wyników można dojść ograniczając się tylko do terytorium Polski. Wiadomo, że 1hektar lasu asymiluje rocznie ok. (130...250) ton CO₂. Z kolei 1 km² lasu asymiluje rocznie ok. (13...25)·10³ ton CO₂ – do dalszych szacunków przyjęto 20·10³ ton CO₂. Stąd do całkowitej asymilacji 208 mln ton CO₂ potrzeba $(208 \cdot 10^6 \text{ ton CO}_2 : 20 \cdot 10^3 \text{ ton CO}_2/\text{km}^2) \approx 10 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ lasów. Współczynnik lesistości, czyli stosunek

powierzchni zalesionej do całej powierzchni Polski jest równy 0,3. Stąd powierzchnia lasów w Polsce jest równa: $0,3 \cdot 314 \cdot 10^3 \text{ km}^2 \approx 94 \cdot 10^3 \text{ km}^2$. Jak z tego wynika do całkowitej asymilacji 208 mln ton CO₂ należy zwiększyć powierzchnię lasów o $(10 \cdot 10^3 \text{ km}^2 : 94 \cdot 10^3) \cdot 100\% \approx 11\%$; współczynnik lesistości wzrósłby do wartości 0,33. Asymilację odpowiadającą zmniejszeniu emisji o 20% można osiągnąć zwiększając powierzchnię lasu o 2,2%.

W roku 2007 w Ministerstwie Środowiska opracowano projekt ustawy o instrumentach wspomagających redukcję emisji do powietrza gazów cieplarnianych i innych substancji, dotyczących m.in. kompensaty emisji CO₂ poprzez zasadzenia leśne³. Sadząc lasy leśnicy otrzymaliby „certyfikaty leśne”, które miałyby wagę pozwoleń na emisję i które mogłyby być przedmiotem handlu. Projekt ustawy mówił tylko o CO₂, nie wspominając o ograniczaniu parowania wody z Ziemi do atmosfery co jest równie ważne, o ile nie ważniejsze, jak pochłanianie CO₂. Minister Środowiska informował o tym projekcie na Komisję UE, wywołując duże zainteresowanie. Może w ślad za projektowanymi certyfikatami leśnymi trzeba pomyśleć o certyfikatach wodnych związanych z ograniczeniem parowania?

Pozostaje pytanie – co z odnawialnymi źródłami energii. Czy należy rozwijać energetykę odnawialną. Odpowiedź na to pytanie jest jednoznaczna - TAK, ale punkt widzenia musi ulec zmianie. Wiadomo, że OŹE ograniczają emisję CO₂, chociaż niekiedy wpływają w negatywny sposób na środowisko. Ale przede wszystkim pośrednio zmniejszają zużycie paliw pierwotnych, które choć w części musimy zachować dla przyszłych pokoleń. Ziemię otrzymaliśmy w „dzierzawę” i przyszłe pokolenia rozliczą nas z tego w jakim stanie ją im przekazemy.

Chciałbym zwrócić uwagę, że głównym priorytetem polityki energetycznej UE jest zrównoważony rozwój. Pojęcie zrównoważonego rozwoju pojawiło się po raz pierwszy w Raplocie WECD w 1987 roku (w tzw. Raplocie Brundtland):

„Na obecnym poziomie cywilizacyjnym możliwy jest rozwój zrównoważony, to jest taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokajane bez umniejszenia szans przyszłych pokoleń na ich zaspokajanie”.

Pojęcie zrównoważonego rozwoju znajduje się w jednym z podstawowych artykułów Konstytucji RP. Art.5 głosi:

„Rzeczpospolita Polska strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewnia wolności i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli, strzeże

³ W. Kwinta W.; *Energia*.2007/4.

dziedzictwa narodowego oraz zapewnia ochronę środowiska kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju”.

Definicję zrównoważonego rozwoju zawiera Art.3. Ustawy Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r.:

„Rozwój zrównoważony to taki rozwój społeczno gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia jak i przyszłych pokoleń”. Dlatego na energetykę odnawialna należy popatrzeć nie tylko jako sposób zmniejszenia emisji CO₂, ale głównie jako narzędzie do realizacji podstawowego priorytetu polityki energetycznej UE – zrównoważonego rozwoju. Im więcej będą rozwinięte różne formy produkcji energii w OZE, tym więcej tego co otrzymaliśmy zostanie przekazane przyszłym pokoleniom.

LITERATURA:

1. Wł. Kotowski, *Energia Gigawat*. 2008/3
2. Kwinta W.; *Energia*.2007/4
3. Minkinia W. *Pomiary termowizyjne*. WPC 2004
4. Penner H.; *Brendstoffspiegel und Mineralölrundschau* 2004/6

Streszczenie

Przedstawiono zjawiska fizyczne wpływające na efekt cieplarniany, ze szczególnym uwzględnieniem rezonansów cząsteczkowych gazów cieplarnianych. Wskazano, że decydujący udział w wydzielaniu ciepła w atmosferze ma H₂O. Następnie prze-analizowano możliwości asymilacji CO₂ przez roślinność i wykazano, że zwiększenie powierzchni zalesionej w Polsce o ok.10 procent wystarczyłoby do asymilacji całego limitu emisji, czyli 208 mln ton CO₂.