

GLOBALNE ZMIANY KLIMATU – PEWNIKI I HIPOTEZY

1. Wstęp

Rozwój cywilizacyjny ludzkości, związany z produkowaniem różnego rodzaju dóbr, takich jak dobra materialne, energia itp., prowadzi z jednej strony do poprawy jakości życia, a z drugiej – do produkcji odpadów, degradujących wszystkie elementy środowiska naturalnego: atmosferę, hydrosferę, pedosferę i biosferę. Emisja zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego wiąże się z zagrożeniami w skali od obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych, przez skalę regionalną aż do skali globalnej. Rozważając zagrożenia w skali globalnej, wymienia się dwa zjawiska, które mogą doprowadzić do zmian klimatycznych. Są to nasilenie efektu cieplarnianego i zubożenie warstwy ozonu stratosferycznego.

Zaniepokojenie społeczności międzynarodowej zagrożeniami atmosferycznymi, zwłaszcza dotyczącymi skali globalnej, doprowadziło do spotkań, dyskusji panelowych i konferencji. Ukoronowaniem tych wielokierunkowych wysiłków było podpisanie kilku międzynarodowych konwencji. W sprawie zjawiska zubożenia warstwy ozonu stratosferycznego w 1985 roku podpisano w Wiedniu Konwencję o ochronie warstwy ozonowej. Zjawiskiem nasilenia efektu cieplarnianego zajęto się podczas Szczytu Ziemi w Rio de Janeiro (1992). Kolejnym etapem było doprowadzenie do podpisania Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, znanej pod nazwą Protokołu z Kioto (1997).

2. Przyczyny zmian klimatycznych

System klimatyczny Ziemi i ostatnie zmiany klimatu

Rozważania na temat klimatu i jego zmian w przeszłości, a także prognozowania zmian w przyszłości wymagają zdefiniowania podstawowego pojęcia, jakim jest system klimatyczny. Systemem klimatycznym nazywa się ujęcie modelowe klimatu, które odnosi się do długiego okresu i uwzględnia wszystkie podstawowe mechanizmy decydujące o jego przeobrażeniach. Składnikami systemu klimatycznego są atmosfera, hydrosfera, kriosfera, litosfera oraz biosfera. Elementy te silnie oddziałują na siebie w procesach wymiany energii i materii. Każdy z elementów systemu podlega ciągłym zmianom, co powoduje, że cały system także ulega nieprzerwanym

zmianom. System klimatyczny jest „otwarty” dla wymiany energii i „zamknięty” dla obiegu materii. „Otwartość” systemu polega na tym, że energia dociera do systemu (Ziemi) w postaci promieniowania słonecznego krótkofalowego (długości fali poniżej 3 μm) i zostaje wyprowadzona z systemu w formie promieniowania odbitego (także jako promieniowanie krótkofalowe) w ilości około 30% oraz wypromieniowana (jako promieniowanie długofalowe) przez powierzchnię Ziemi (6%) i atmosferę (ok. 64%). Energia promienista docierająca do Ziemi zapewnia stałe funkcjonowanie systemu i pokrywa wszystkie straty energetyczne. Przyjmuje się, że system klimatyczny jest „zamknięty” dla wymiany materii, gdyż ilość materii pozaziemskiej przenikająca do wnętrza systemu w postaci wiatru słonecznego i meteorytów, a także straty materii uciekającej w przestrzeń kosmiczną są praktycznie zerowe. System klimatyczny znajduje się w stanie równowagi dynamicznej, która kształtuje się zawsze na tym samym lub nieznacznie zmieniającym się poziomie. W przypadku zaburzenia równowagi występuje zaburzenie współdziałania między elementami systemu, w tym także zaburzenie wymiany materii i energii między atmosferą a jej podłożem. Taka nowa sytuacja zmusza system klimatyczny do przemian adaptacyjnych, które po długim okresie doprowadzają do nowego stanu równowagi dynamicznej, która odpowiada zmienionym warunkom systemu. Czynniki wywierające zmiany w systemie klimatycznym dzieli się na zewnętrzne i wewnętrzne. Za czynniki zewnętrzne uważa się te, które nie mają sprzężeń zwrotnych z systemem klimatycznym. Czynniki te mogą być pochodzenia pozaziemskiego (np. zmiany w dopływie energii słonecznej), jak i ziemskiego (np. erupcje wulkaniczne).

Zmiany klimatu o charakterze globalnym były przez tysiąclecia wywoływane czynnikami naturalnymi. Dopiero w ostatnich latach uznano, że działalność człowieka może być czynnikiem mogącym wpływać na kształtowanie się klimatu. Analiza czynników astronomicznych warunkujących dopływ energii pozwala wnioskować, że przebieg naturalnych procesów zmierza ku nowej epoce lodowcowej (Juda-Rezler 2000, za Obrębską-Starkel i Starkel). Z kolei antropogeniczny wzrost zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze skłania do przewidywania globalnego ocieplenia. Na pytanie, która z tych koncepcji okaże się prawdziwa, nie ma jak dotychczas jednoznacznej odpowiedzi. Czynniki wpływające na zmiany klimatu zostały zebrane w tabeli 1.

W opisie ostatnich zmian klimatu (takim terminem określa się zmiany klimatyczne w holocenie, czyli od ustąpienia lodowca) wyróżnia się okresy ocieplenia i ochłodzenia. W okresie 5000–3000 lat p.n.e. średnia roczna temperatura półkuli północnej była o 2°C wyższa od obecnej, na lata 900–300 p.n.e. przypada ochłodzenie o średniej rocznej temperaturze wyższej o 0,5°C od obecnej. Następny okres obejmuje ocieplenie z lat 1000–1200, w czasie którego nastąpiły zjawiska przemieszczania się stref klimatycznych ku północy, wystąpiły posuchy na południu i w głębi kontynentu. W latach 1430–1850 wystąpiło z kolei ochłodzenie i na ten okres przypada ekspansja lodowców na całą półkuli północnej. Oczywiście do okresu rewolucji prze-

mysłowej z końca XVIII w. trudno mówić o jakimkolwiek oddziaływaniu emisji gazów przemysłowych na zmiany klimatu. W ubiegłym stuleciu klimat w dalszym ciągu podlegał wahaniom. W pierwszej połowie XX w. rozpoczęło się ocieplenie, najsilniej zaznaczające się w latach 1934–1953, a następnie w latach 1954–1977 nastąpiło wyraźne ochłodzenie. Od 1978 roku temperatura zaczęła ponownie rosnać.

Tabela 1. Czynniki wpływające na zmiany klimatu (Juda-Rezler 2000, za Obrębska-Starkel i Starkel)

Przyczyny zmian klimatu	Konsekwencje dla systemu klimatycznego	Skala czasowa zmian
Czynniki tektoniczne	Ruchy skorupy ziemskiej	30–40 mln lat 10–15 mln lat
Czynniki astronomiczne, długookresowe zmiany parametrów orbity Ziemi		90 tys. lat 40 tys. lat
Czynniki astrofizyczne	Cykliczność w przebiegu ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza	11–22 lata 35 lat 90–110 lat
Czynniki geofizyczne	Tworzenie się pływów biegunowych, zmiany w poziomie oceanu światowego, zmiany prądów morskich	14,4 mies. dla swobodnej nutacji 1 rok dla sezonowej zmiany rozkładu masy atmosfery
Czynniki sejsmologiczne, erupcje wulkaniczne	Zmiany w dopływie promieniowania słonecznego	
Czynniki antropogeniczne	Zmiany składu atmosfery ziemskiej wywołujące zmiany w reemisji promieniowania, zmiany sposobu użytkowania terenu, wzrost średniej temperatury powietrza	

Skala problemu zanieczyszczenia i zagrożenia atmosfery

Pojęcie zanieczyszczenia atmosfery może być rozumiane dwojako. Z jednej strony, zanieczyszczeniem powietrza nazywa się stan atmosfery, którego skład (proporcje między zawartością substancji stałych atmosfery) odbiega od składu powietrza określanego jako czyste, z drugiej strony – zanieczyszczeniem powietrza określa się także substancję wprowadzaną do atmosfery w wyniku procesu zachodzącego na powierzchni Ziemi. Definicje odpowiadające tym dwóm aspektom pojęcia „zanieczyszczenie powietrza” zostały podane przez Judę i Chróściela oraz Judę-Rezler. Według Judy i Chróściela (1974), za zanieczyszczenie powietrza uważa się taki stan atmosfery, w którym udział składników stałych bądź domieszek jest większy od ich średniej zawartości w powietrzu uznanym za czyste. Według Judy-Rezler (2000), zanieczyszczeniem powietrza jest każda substancja stała, ciekła lub gazowa, która znajduje się w nim w ilości większej od jej zawartości naturalnej. Największą grupę zanieczyszczeń atmosferycznych stanowią zanieczyszczenia gazowe. Główne substancje, będące zanieczyszczeniami powietrza, ich główne źródła pochodzenia oraz roczna wielkość emisji zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie globalnej rocznej emisji substancji gazowych do atmosfery (różne źródła)

Substancja		Emisja antropogeniczna w mln ton/rok	Główne źródło antropogeniczne	Emisja naturalna w mln ton/rok	Główne źródło naturalne	Stężenia tła zanieczyszczeń
Dwutlenek węgla	CO ₂	22 000	spalanie	1 000 000	oddychanie	345 ppm
Tlenek węgla	CO	700	spalanie	2 100	pożary	0,1–0,2 ppm
Dwutlenek siarki	SO ₂	212	spalanie	20	wulkany	0,1 ppb
Siarkowodór	H ₂ S	3	ścieki	84	wulkany	0,1 ppb
Podtlenek azotu	N ₂ O	3	spalanie	340	gleba	300 ppb
Tlenki azotu	NO _x	75	spalanie	180	gleba	0,1 ppb
Amoniak	NH ₃	6	ścieki	260	gleba	10 ppm
Ozon	O ₃	0		0		0,5–10 ppm
Metan	CH ₄	160	spalanie	1 050	gleby, rośliny	0–1 µg/m ³
Chlorowodór, chlor	HCl, Cl ₂	4	chlorowanie	150	wulkany	0,5 ppb
SUMA		23 163		1 004 184		
Procent		2,25		97,75		
SUMA (bez CO ₂)		1 163		4 184		
Procent		21,7		78,3		

Zwraca uwagę fakt, że zdecydowana większość zanieczyszczeń znajdujących się w powietrzu atmosferycznym to substancje pochodzenia naturalnego (97,25%), a gdyby nie brać pod uwagę dwutlenku węgla, to udział emisji antropogenicznej wzrasta do 21,7%. Jako ciekawostkę i uzupełnienie tabeli 2 można dodać, że człowiek wydycha dziennie około 0,9 kg dwutlenku węgla. Ponieważ na Ziemi żyje około 6 mld ludzi, to produkują oni około 5,4 mln ton CO₂ dziennie.

Skala problemu zanieczyszczenia atmosfery obejmuje bardzo szerokie spektrum emisji i negatywnych skutków dla środowiska od mikroskali, czyli zjawisk mających miejsce w najbliższym otoczeniu źródła emisji, aż po zjawiska globalne dotyczące całej atmosfery (Boubel, Stern i in. 1994). Zagrożenie w mikroskali związane jest z emisją z małego, pojedynczego źródła i nie powoduje istotnych reperkusji w środowisku z wyjątkiem najbliższego otoczenia. W rejonach zurbanizowanych i aglomeracjach miejskich, gdzie na stosunkowo małym obszarze skoncentrowana jest duża liczba źródeł punktowych, liniowych i powierzchniowych, zagrożeniem są zjawiska smogu. Wyróżniamy dwa rodzaje smogu – smog siarkowy (zwany także londyńskim albo smogiem zimowym) oraz smog fotochemiczny (zwany także smogiem typu Los Angeles albo smogiem letnim). Mechanizm powstawania każdego z nich jest inny. Smog siarkowy powstaje podczas podwyższonej emisji gazów pochodzących ze spalania węgla (głównie dwutlenku siarki) w obecności wilgotnego powietrza.

W powietrzu dochodzi do utlenienia dwutlenku siarki do trójtlenku, a obecność pary wodnej lub wody prowadzi do powstania aerozolu kwasu siarkowego. W przypadku smogu typu Los Angeles prekursorami cyklu reakcji fotochemicznych zachodzących w atmosferze podczas wysokiej insolacji i w wysokiej temperaturze są węglowodory, tlenki azotu, tlenek węgla oraz lotne związki organiczne. W wyniku reakcji powstaje wiele substancji toksycznych i szkodliwych dla środowiska jak ozon, gazy PAN czy formaldehyd. Wspólną cechą dla zjawiska smogu (zarówno siarkowego, jak i fotochemicznego) jest to, że na skutek dużego stężenia zanieczyszczeń w powietrzu dochodzi do licznych reakcji, w wyniku których powstają nowe zanieczyszczenia, zwane zanieczyszczeniami wtórnymi. Inną wspólną cechą obu zjawisk smogu jest to, że ich skutki odczuwalne są na obszarze, na którym powstaje smog. Inaczej dzieje się w przypadku, gdy zjawiska związane z zanieczyszczeniem atmosfery dotyczą skali regionalnej. W takiej sytuacji skutki zanieczyszczenia odczuwalne są w innym miejscu niż emisja zanieczyszczeń. Przykładem takiego oddziaływania może być zjawisko kwaśnych opadów. Emitowane substancje zanieczyszczają atmosferę, w której obok reakcji chemicznych zachodzą procesy formowania się chmur. Następnie masa powietrza przemieszcza się na znaczne odległości (dziesiątki lub nawet setki kilometrów) i chmury uformowane w zanieczyszczonym powietrzu dają opad atmosferyczny. Z taką sytuacją mieliśmy do czynienia również w Polsce w Górach Izerskich, w których dewastacja środowiska następowała na skutek emisji zanieczyszczeń w uprzemysłowionych regionach południowych Niemiec i Republiki Czeskiej, transgranicznego przemieszczania się mas powietrza i formowania się opadów atmosferycznych nad Sudetami. Problem zagrożenia atmosfery w skali globalnej odnosi się do dwóch zjawisk: nasilenia naturalnego efektu cieplarnianego (znanego potocznie jako „efekt cieplarniany”) i zubożenia warstwy ozonu stratosferycznego (zwanego „dziurą ozonową”).

Nasilenie efektu cieplarnianego

Efekt cieplarniany polega na absorpcji promieniowania długofalowego (cieplnego) naszej planety przez gazy „szklarniowe” w atmosferze i wypromieniowaniu części tej energii w kierunku powierzchni Ziemi. W wyniku tego procesu temperatura powierzchni Ziemi i przypowierzchniowej warstwy powietrza wzrasta. Do gazów szklarniowych należą para wodna, dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu. Gdyby w atmosferze ziemskiej nie było gazów szklarniowych, to średnia temperatura Ziemi wynosiłaby -18°C , co łatwo można wyliczyć z równań opisujących podstawowe prawa rządzące promieniowaniem i wymianą energii między Słońcem a Ziemią. Dzięki obecności gazów cieplarnianych średnia temperatura powierzchni Ziemi wynosi jednak $+15^{\circ}\text{C}$. Efekt cieplarniany ma jak najbardziej pozytywne znaczenie, bo prawdopodobnie właśnie dzięki temu zjawisku na Ziemi mogło rozwinąć się życie

w znanych nam formach. Zaniepokojenie społeczności międzynarodowej wywołuje wzrost stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze, takich jak dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu oraz chloro-fluoro-węglany (CFC). Obecnie pojęcie „efekt cieplarniany” nabrało znaczenia negatywnego i kojarzone jest jedynie ze szkodliwymi działaniami człowieka, takimi jak emisja gazów szklarniowych do atmosfery czy też gospodarka (urbanizacja, industrializacja, wylesianie, redukcja arealów rolnego) prowadząca do zmniejszenia powierzchni roślinnych, które stanowią jeden z naturalnych pochłaniaczy CO₂.

3. Konwencje międzynarodowe

Konwencje klimatyczne

Z raportów IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), czyli Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu, wynika, że dalszy wzrost stężenia dwutlenku węgla i innych gazów szklarniowych w atmosferze wywoła następujące skutki:

- Wzrost globalnej średniej rocznej temperatury powietrza od 1,4 do 5,8°C w okresie 1990–2100 (jeżeli koncentracja gazów cieplarnianych podwoi się).
- Wzrost poziomu morza od 9 do 88 cm w okresie 1990–2100 na skutek termicznej ekspansji oceanów oraz topnienia lodów.
- Wzrost poziomu morza może mieć negatywny wpływ na infrastrukturę energetyczną, przemysłową i transportową, siedliska ludzkie, system ubezpieczeń majątkowych oraz turystykę.
- Zmiany cyrkulacji atmosferycznej wpływające na warunki klimatyczne w różnych regionach świata oraz zmiany w cyrkulacji oceanicznej, która będzie zaburzać przebieg prądów morskich.
- Zmiany w reżimie opadów, co wpłynie na częstość i zasięg występowania susz i powodzi oraz związanego z tym ograniczenia w dostępie do zasobów wodnych niektórych regionów świata.
- Znik lodowców górskich, zmniejszanie pokrywy śnieżnej, zmniejszenie zasięgu lodu morskiego i kurczenie się wiecznej zmarzliny.
- Spadek produkcji rolnej w strefie międzyzwrotnikowej, co wiąże się z rozszerzeniem strefy głodu przy jednoczesnym wzroście produktywności rolniczej strefy umiarkowanej.
- Zmiany w składzie gatunkowym wielu ekosystemów (takich jak lasy, rafy koralowe).
- Zwiększenie zagrożenia zdrowia społeczeństw przez rozszerzenie się zasięgu występowania chorób.

Ponieważ większość konsekwencji zmian klimatycznych przewidywanych przez IPCC będzie niekorzystna, konieczne jest podjęcie działań adaptacyjnych oraz dzia-

łań przeciwdziałającym ich wystąpieniu. Problem zmian klimatu odnosi się do długiego okresu. System klimatyczny reaguje na zmiany w koncentracji gazów cieplarnianych z dużym opóźnieniem, które może dochodzić do kilkudziesięciu lat. Sprawia to, że prognoza zmian i ich konsekwencji może być bardzo trudna. Z drugiej strony systemy społeczno-gospodarcze i ekosystemy wymagają czasu do przygotowania się do zmian i nowych warunków. Z tych względów decyzje zmierzające do ograniczenia prognozowanych zmian klimatu i adaptacji powinny być podejmowane pomimo niepewności wyników symulacji przedstawianych przez naukę.

Problem zmian klimatu jest problemem globalnym i tylko wysiłek wszystkich działających wspólnie może przynieść wymierne korzyści w postaci stabilizacji i następnie zmniejszenia antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. W grudniu 1990 roku podczas sesji Zgromadzenia Narodów Zjednoczonych przyjęto rezolucję 45/212 „Ochrona klimatu globalnego dla obecnych i przyszłych pokoleń ludzkości”. Ponaddwuletnie negocjacje doprowadziły następnie do opracowania Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), która została wyłożona do podpisu podczas konferencji „Środowisko i Rozwój” (UNCED) w Rio de Janeiro w 1992 roku. Artykuł 2 konwencji precyzuje jej cel jako „zachowanie stabilizacji stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze na poziomie, który zapobiegłby niebezpiecznemu oddziaływaniu człowieka na system klimatyczny”. Konwencja zobowiązuje kraje uprzemysłowione oraz kraje z gospodarką w okresie transformacji do stabilizacji emisji gazów cieplarnianych na poziomie 1990 roku. Zobowiązuje również kraje wysoko rozwinięte do udzielania pomocy finansowej i technicznej w celu umożliwiania tym krajom podobnych działań. Podczas konferencji UNCED w Rio de Janeiro konwencję podpisało 150 krajów, w tym Polska. Do 2004 roku ratyfikowało ją 188 państw (Polska w 1994 roku).

Kraje Strony Konwencji Klimatycznej uznały po I Konferencji, która odbyła się w Berlinie w 1995 roku, że dotychczasowe zobowiązania są niewystarczające i podczas dalszych negocjacji zdecydowano o podjęciu konkretnych działań mających na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Podczas III Konwencji Stron w Kioto w 1997 roku podpisano protokół określający zobowiązania krajów uprzemysłowionych i z gospodarką w okresie przejściowym do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednocześnie lista gazów szklarniowych została rozszerzona o gazy przemysłowe z grupy wodoru-fluoro-węglany (HCF), fosforo-fluoro-węglany (PCF) i sześćfluorek siarki SF₆.

Protokół z Kioto wejdzie w życie po jego ratyfikacji przez co najmniej 55 krajów – Stron Konwencji. Wśród tych państw muszą być kraje wymienione w Załączniku I do Konwencji, których łączna emisja CO₂ w 1990 roku wynosiła co najmniej 55% sumarycznej emisji CO₂. Podstawowym zobowiązaniem protokołu Kioto jest zredukowanie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery w latach 2008–2012 łącznie o 5,2% poniżej poziomu z 1990 roku. Redukcja emisji przez Polskę ma wynieść 6%,

w stosunku do 1986 roku. Sygnatariusze Konwencji zobowiązani są ponadto do wdrożenia następujących kierunków działań prowadzących do redukcji emisji gazów cieplarnianych w rozbiciu na gazy i sektory:

- poprawy efektywności energetycznej gospodarki,
- ochrony pochłaniania i retencjonowania gazów cieplarnianych przez promowanie zrównoważonej gospodarki leśnej,
- promowania zrównoważonych form rolnictwa,
- promowania i wdrażania technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii, pochłaniających dwutlenek węgla itp.,
- stopniowej redukcji barier rynkowych, utrudniających redukcję emisji w sektorach gospodarczych, w tym usuwania dotacji i wprowadzania ulg podatkowych;
- tworzenia zachęt do wdrażania reform sprzyjających redukcji i pochłanianiu gazów cieplarnianych,
- podejmowania działań zmierzających do ograniczenia emisji w transporcie;
- ograniczenia emisji metanu ze składowisk odpadów i z procesów produkcji, transportu i przetwarzania energii.

Zobowiązania międzynarodowe Polski

Polityka klimatyczna Polski jest istotnym, integralnym elementem polityki ekologicznej państwa. W zakresie łagodzenia zmian klimatu stanowi jeden z przykładów praktycznego realizowania zasady zrównoważonego rozwoju ze względu na ogromny wpływ na stan globalnej równowagi w środowisku przyrodniczym, kształtowanej w cyklach wieloletnich. Celem strategicznym polityki klimatycznej jest włączenie się Polski do wysiłków społeczności międzynarodowej na rzecz ochrony klimatu globalnego przez wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju, zwłaszcza w zakresie poprawy wykorzystania energii, zwiększania zasobów leśnych i glebowych kraju, racjonalizacji wykorzystania surowców i produktów przemysłu oraz racjonalizacji zagospodarowania odpadów, w sposób zapewniający osiągnięcie maksymalnych, długoterminowych korzyści gospodarczych, społecznych i politycznych. Cel strategiczny sformułowano na podstawie zapisów zawartych w Polityce ekologicznej państwa na lata 2003–2006 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2007–2010. Cel ten jest spójny z celami polityki klimatycznej Unii Europejskiej.

W zakresie zmian klimatu zobowiązania Polski wynikają z postanowień Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, a w szczególności Protokołu z Kioto. Polska ratyfikowała Konwencję w dniu 28 lipca 1994 roku i jest zobowiązana m.in. do:

1. Opracowania i wdrożenia państwowej strategii redukcji emisji gazów cieplarnianych, w tym także mechanizmów ekonomicznych i administracyjnych, oraz okresowej kontroli jej wdrażania.

2. Inwentaryzacji emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych dla każdego roku według metodologii przyjętej przez Konferencję Stron i na tej podstawie monitoringu zmian emisji.
3. Opracowania długookresowych scenariuszy redukcji emisji dla wszystkich sektorów gospodarczych, oddzielnie dla każdego gazu.
4. Prowadzenia badań naukowych w zakresie problematyki zmian klimatu.
5. Opracowania okresowych raportów rządowych (co dwa lata) dla Konferencji Stron, zawierających szczegółowe informacje o wypełnianiu ww. zobowiązań.

Zasadnicze uwarunkowania polityki klimatycznej Polski mają swoje źródło w problemach typowych dla większości krajów znajdujących się w fazie transformacji ustrojowej i gospodarczej. Są to:

- Niska rentowność przedsiębiorstw, utrudniająca przeznaczenie niezbędnych środków na pilne modernizacje techniczno-technologiczne. Sytuacja ta jest szczególnie trudna w wielu przedsiębiorstwach z przeważającym udziałem własnościowym Skarbu Państwa.
- Relatywnie niska siła nabywcza ludności, zawężająca pole manewru do najtańszych, doraźnych działań politycznych, których efekty mają głównie charakter krótkookresowy, zamiast pożądanego efektu długofalowego. Podstawowym ogranicznikiem hamującym poprawę sytuacji dochodowej społeczeństwa jest bardzo napięta sytuacja na krajowym rynku pracy.
- Węglowa struktura bilansu paliw pierwotnych, uwarunkowana historycznie dostępnością do własnych zasobów oraz towarzyszące jej uwarunkowania społeczne. Taka struktura bilansu energetycznego kraju ma negatywny, bezpośredni wpływ na jakość środowiska przyrodniczego, w tym na zmiany klimatyczne.
- Nadmierne koszty funkcjonowania sektorów elektroenergetyki, gazownictwa i ciepłownictwa związane z niepełnym urynkowaniem.
- Dynamiczny rozwój transportu samochodowego.

W tych warunkach o powodzeniu polityki klimatycznej zadecydują przede wszystkim takie działania, które zdołają wykreować mechanizmy zachęcające inwestorów do długookresowego angażowania kapitału inwestycyjnego. Szansą na to jest utworzenie m.in. systemu handlu emisjami, który stanowi jeden z krótkoterminowych priorytetów polityki klimatycznej Polski. Cele i działania średniookresowe obejmą dalszą integrację polityki klimatycznej z polityką gospodarczą i społeczną. Cele i kierunki działania długookresowe (na lata 2013–2020 i następne) obejmą kolejne okresy zobowiązań redukcyjnych z Kioto (po 2012 roku). Zakłada się, że długofalowym celem ilościowym będzie dążenie do osiągnięcia około 30–40% redukcji emisji gazów cieplarnianych w 2020 roku w stosunku do roku bazowego. Zasadniczy priorytet zarówno średnio-, jak i długookresowy będą mały działania kreujące bardziej przyjazne dla klimatu wzorce zachowań konsumpcyjnych i produkcyjnych, ograni-

czające negatywny wpływ aktywności antropogenicznej na zmiany klimatu. Praktyczne wdrożenie zasady zrównoważonego rozwoju będzie wymagało powszechnego stosowania w sektorach i działach gospodarki oraz w systemach zarządzania środowiskiem, w tym w polityce klimatycznej, tzw. dobrej praktyki. Podejście to cechuje maksymalizacja efektywności ekonomicznej i skuteczności środowiskowej podejmowanych działań, przy ich dostosowaniu do politycznej i administracyjnej wykonalności.

Priorytetowe kierunki działań średnio- i długookresowych obejmować będą:

1. Realizację zadań wynikających z Traktatu Akcesyjnego.
2. Zintegrowanie polskiej polityki ochrony klimatu z polityką Unii Europejskiej umożliwiające podjęcie wspólnych zobowiązań w drugim okresie (po 2012 roku).
3. Integrację polityki klimatycznej z innymi politykami państwa.
4. Realizację postanowień organów Konwencji klimatycznej i Protokołu z Kioto dotyczących krajów wymienionych w Załączniku I do Konwencji.
5. Wypełnienie przyjętych przez Polskę zobowiązań do redukcji emisji gazów cieplarnianych w pierwszym okresie, czyli osiągnięcie w latach 2008–2012 wielkości emisji gazów cieplarnianych nieprzekraczającej 94% wielkości emisji z 1988 roku i następujących okresach rozliczeniowych.
6. Kontynuowanie integracji polityki klimatycznej z rządowymi politykami sektorowymi.
7. Zapewnienie realizacji polityki ochrony klimatu na poziomie sektorów gospodarczych i przedsiębiorstw przez stworzenie systemu odpowiednich mechanizmów i zachęt (na lata 2013–2018 i następne).
8. Ochronę i wzrost efektywności pochłaniaczy i zbiorników gazów cieplarnianych, promowanie zrównoważonej gospodarki leśnej, zalesień i odnowień.
9. Promowanie zrównoważonych form rolnictwa w aspekcie ochrony klimatu.
10. Promocję i rozwój oraz wzrost wykorzystywania nowych i odnawialnych źródeł energii, technologii pochłaniania CO₂ oraz zaawansowanych i innowacyjnych technologii przyjaznych środowiskowo oraz rozpoznanie i usuwanie barier w ich stosowaniu.
11. Kontynuację wykorzystania mechanizmów wspomagających Protokołu z Kioto.
12. Wsparcie dla procesu przekształceń strukturalnych w gospodarce, promujących działania i środki podejmowane dla ograniczenia lub redukcji emisji gazów cieplarnianych: priorytet mają: energetyka, energochłonne sektory przemysłowe oraz transport i gospodarka odpadami.
13. Zmniejszenie w stosunku do 2000 roku energochłonności jednostki produktu krajowego brutto o 25%, a w długim czasie (do 2025 roku) o 50% w stosunku do 2000 roku.
14. Szerokie wprowadzanie najlepszych dostępnych technik z zakresu efektywności energetycznej i użytkowania odnawialnych źródeł energii.

15. Głębokie przebudowanie modelu produkcji i konsumpcji energii w kierunku poprawy efektywności energetycznej i surowcowej, szersze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii oraz dążenie do zminimalizowania emisji gazów cieplarnianych przez wszystkie podstawowe rodzaje źródeł emisji.

Usystematyzowaną listę działań zmierzających do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z wyszczególnieniem celu i instrumentu realizacji przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Działania na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych w energetyce (Polityka klimatyczna Polski)

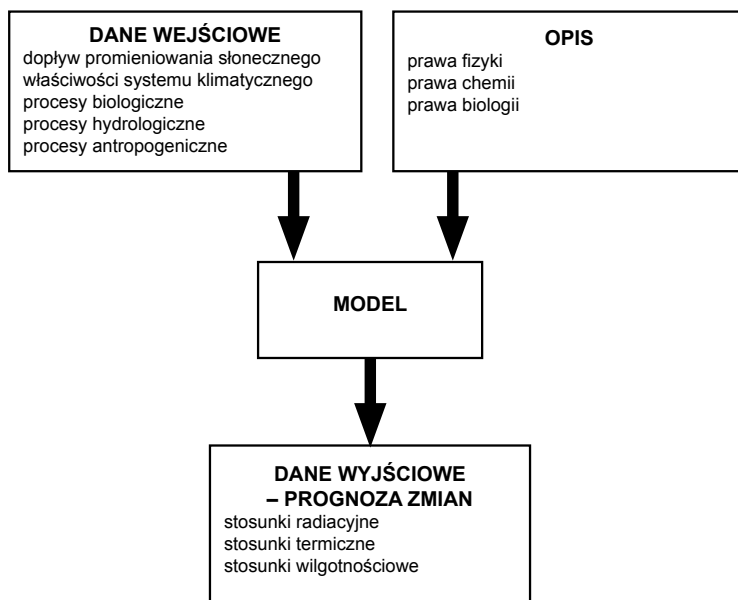
Lp.	Nazwa działania	Cel wprowadzenia	Gaz cieplarniany	Typ instrumentu
Działania bazowe				
1	Obowiązek zakupu energii ze źródeł odnawialnych	Promocja energetyki odnawialnej	CO ₂	prawny
2	Wsparcie finansowe inwestycji w zakresie skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła	Promocja energetyki skojarzonej	CO ₂	finansowy
3	Wprowadzenie systemu zachęt dla przedsiębiorstw na inwestycje prowadzące do oszczędności energii	Poprawa efektywności energetycznej i promocja energetyki odnawialnej	CO ₂	finansowy
4	Wprowadzenie systemu zachęt dla sektora publicznego do podejmowania inwestycji prowadzących do racjonalnego zużycia energii	Poprawa efektywności energetycznej i promocja energetyki odnawialnej	CO ₂	finansowy
5	Zapobieganie i redukcja emisji metanu z procesów produkcji i dystrybucji paliw	Poprawa efektywności energetycznej	CH ₄	prawny
6	Etykiety efektywności energetycznej	Poprawa efektywności energetycznej	CO ₂	prawny
Działania dodatkowe				
7	Stosowanie najlepszych dostępnych technik	Wdrożenie dyrektywy IPCC	CO ₂	prawny
8	Wprowadzenie mechanizmów finansowych wspierających produkcję ze źródeł odnawialnych	Promocja energetyki odnawialnej	CO ₂	finansowy
9	Świadectwa pochodzenia energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych	Promocja energetyki odnawialnej	CO ₂	prawny
10	Wprowadzenie „zielonych certyfikatów”	Promocja energetyki odnawialnej i skojarzonej	CO ₂	prawny
11	Zwolnienie z akcyzy na produkcję energii z metanu z kopalń węgla kamiennego	Redukcja emisji	CH ₄	prawny

4. Scenariusze rozwoju sytuacji klimatycznej

Wszelkie ścisłe badania naukowe powinny być oparte na eksperymencie badawczym. W klimatologii oznacza to, że wiarygodne scenariusze klimatyczne powinny być wynikiem analizy związków między rzeczywistymi (zmierzonymi) elementami klimatologicznymi będącymi składnikami systemu klimatycznego. Dwustuletnie szeregi jednorodnych danych klimatologicznych (którymi obecnie dysponujemy), określające w sposób bezpośredni tendencje globalnych i regionalnych zmian klimatu,

są zbyt krótkie, aby mogły stanowić podstawę prognozowania zmian klimatycznych w przyszłości. Wyjątek stanowią jedynie zmiany klimatu spowodowane czynnikami astronomicznymi. Na podstawie analizy wpływu obserwowanego czynnika astronomicznego na temperaturę powietrza Boryczka (za Łykowski 1999) stwierdza, że należy oczekiwać ochłodzenia się klimatu. W Warszawie średnia roczna temperatura powietrza obniży się do wartości poniżej $7,5^{\circ}\text{C}$, przy czym trend antropogeniczny temperatury tylko nieznacznie złagodzi ochłodzenie wywołane przyczynami naturalnymi. Widma empiryczne sum opadów atmosferycznych są podobne do widm temperatury, a ich fluktuacje mają okresy o takiej samej długości jak widma temperatury, jednak widma te nie są identyczne ze względu na składnik losowy równania regresji. W dwóch pierwszych dekadach XXI w. sumy opadów atmosferycznych będą bliskie normy. W przedstawionej metodzie niepewność prognozy opadów jest znacznie wyższa niż prognozy temperatury.

W sytuacji, gdy szeregi danych klimatologicznych są zbyt krótkie, aby na ich podstawie prognozować przyszłe zmiany klimatyczne, wykorzystuje się do prognoz matematyczne modele systemu klimatycznego (rys. 1). Takie modele umożliwiają śledzenie zmian zachodzących w systemie pod wpływem zmieniających się w czasie czynników zewnętrznych i wewnętrznych. Modele matematyczne zmian klimatu są układem równań matematyczno-fizycznych opisujących procesy wymiany i obiegu materii i energii między dynamicznie zmieniającymi się warunkami atmosferycznymi i zmiennym podłożem atmosfery. Im więcej zjawisk uda się opisać za pomocą modelu, tym model ten będzie bliższy rzeczywistości i tym bardziej wiarygodne będą wyniki



Rysunek 1. Schemat blokowy funkcjonowania modelu prognozy zmian klimatycznych

jego symulacji. Do tej grupy modeli należą modele globalnej cyrkulacji atmosfery GCM (Global Circulation Model). Z tego typu modeli uzyskuje się zarys ogólnego zróżnicowania współczesnego klimatu oraz reakcję systemu klimatycznego na zmiany temperatury, wilgotności, zachmurzenia i opadów atmosferycznych.

W prognozowaniu skutków zmian klimatycznych wywołanymi antropogenicznym nasileniem efektu cieplarnianego czynnikami utrudniającymi proces modelowania są sprzężenia zwrotne. Istnieją dwa typy sprzężeń zwrotnych (Juda-Rezler 1999).

1. Geofizyczne sprzężenia zwrotne, które bezpośrednio wpływają na system radiacji. Przykładem takiego sprzężenia dodatniego (czyli potęgującego efekt) jest wzrost zawartości pary wodnej spowodowany wzrostem temperatury i parowania (emisja najważniejszego gazu szklarniowego do atmosfery) i powodujące dalsze nasilenie efektu cieplarnianego. Drugim, najbardziej dyskusyjnym przykładem jest zwiększony rozwój chmur. Chmury zmniejszają dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi przez pochłanianie i odbijanie energii promienistej w zakresie krótkofalowym, co powoduje ochłodzenie atmosfery. Równocześnie chmury absorbują promieniowanie długofalowe Ziemi, kierując je z powrotem do jej powierzchni, a więc działają tak, jak gazy szklarniowe, powodując ocieplenie atmosfery. Wynik netto oddziaływania chmur pozostaje nadal nieokreślony.
2. Biochemiczne sprzężenia zwrotne, które wpływają na system radiacyjny poprzez biosferę. Przykładem sprzężenia dodatniego jest zmniejszenie rozpuszczalności dwutlenku węgla w oceanach wraz ze wzrostem temperatury, co prowadzi do zwiększenia ilości CO_2 w powietrzu atmosferycznym i spotęgowanie efektu cieplarnianego. Przykładem ujemnego sprzężenia jest wzrost szybkości reakcji zaniku metanu wraz ze wzrostem temperatury, co powoduje osłabienie efektu cieplarnianego w związku z redukcją CH_4 w atmosferze. Przykładem sprzężenia o nieznanym kierunku jest stopień wymiany dwutlenku węgla między atmosferą a oceanem, związany ze wzrostem temperatury.

Innym problemem, z jakim spotykamy się analizując skutki ocieplenia, jest zagadnienie wpływu emisji innych zanieczyszczeń do atmosfery. Uważa się, że zarówno naturalna, jak i antropogeniczna emisja pyłu do atmosfery (np. w wyniku erupcji wulkanicznych, procesów spalania, działalności przemysłu materiałów budowlanych, składowania produktów przemysłu wydobywczego) oraz antropogeniczna emisja SO_2 do atmosfery, który podlega przemianom do aerozolu siarczanowego, są zjawiskami osłabiającymi efekt cieplarniany. Dzieje się tak głównie dlatego, że substancje te (albo zanieczyszczenia wtórne powstające w wyniku emisji tych substancji) ograniczają dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi.

Przewidywane skutki zmian klimatu dotyczą wielu aspektów życia: zdrowia, stanu środowiska, różnych dziedzin gospodarki. Zmiany klimatyczne pociągną za sobą zmiany w samym systemie klimatycznym i będą dotyczyć samych elementów tego systemu (atmosfery, hydrosfery, kriosfery, biosfery i litosfery). W przypadku wielko-

ści i dystrybucji opadów atmosferycznych ocieplenie klimatu prowadzi do wzrostu parowania, co z kolei pociąga za sobą wzrost sumy i częstości opadów. Przewiduje się, że wynikiem takiego łańcucha reakcji będzie zwiększenie różnic sum opadów między poszczególnymi regionami. Wzrost parowania dodatkowo wpłynie na spadek wilgotności gleby. W wyniku termicznego rozszerzania wód oceanów i spodziewanego topnienia lodowców nastąpi podniesienie poziomu wód.

Ogólnie można powiedzieć, że skutki zmian klimatu związanych z globalnym ociepleniem mogą mieć charakter zmian zarówno negatywnych, jak i pozytywnych. Oszacowanie netto tego oddziaływania jest w zasadzie niemożliwe chociażby dlatego, że w wielu procesach będą występować zróżnicowania regionalne. Najważniejsze przewidywane skutki zmian klimatu przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Przewidywane negatywne, pozytywne oraz nieokreślone konsekwencje ocieplenia klimatu w różnych aspektach życia

Aspekty życia	Negatywne	Pozytywne
Naturalne ekosystemy lądowe	Zagrożenie wyginięciem ekosystemów niemogących dokonać ekspansji na inne obszary. Dotyczy to obszarów Rosji, Płw. Skandynawskiego, północnej Francji, Anglii i Płw. Iberyjskiego	
Zasoby wód powierzchniowych	Zwiększony odpływ wody w wysokich szerokościach geograficznych na skutek wzrostu sumy i intensywności opadów oraz prawdopodobny zmniejszony odpływ w szerokościach niższych	
Obszary wybrzeży	Zagrożenie ekosystemów i egzystencji ludności w wyniku podniesienia się poziomu oceanu światowego	
Zdrowie ludzkie	Zwiększenie narażenia na upały; bardziej częste występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych. Zmiany towarzyszące ociepleniu będą sprzyjać migracji owadów i gryzoni (organizmów przenoszących choroby) na obszary, na których do tej pory nie występowały	
Rolnictwo	Obniżenie plonów na skutek zmniejszenia dostępności wody oraz rozwój plag, chorób i szkodników na skutek wzrostu temperatury	Wzrost produkcji biomasy spowodowany intensywniejszą fotosyntezą na skutek zwiększenia obecności w powietrzu CO ₂
Rybołówstwo		Wydłużenie okresu wzrostu ryb i zmniejszenie zimowej śmiertelności w wysokich szerokościach geograficznych
	Zmiany w ukształtowanym modelu reprodukcji, trasach migracji i relacjach z ekosystemem wodnym	
Leśnictwo	Zależnie od regionu, na skutek zmian temperatury i dostępności wody przewiduje się, że na obszarze 33% ekosystemów leśnych nastąpią istotne zmiany szaty roślinnej wpływające na pozyskiwanie surowców oraz gospodarkę leśną	

5. Podsumowanie

Część społeczności naukowej świata uważa, że raporty IPCC są niesłusznie przedstawiane jako wnioski reprezentatywne dla całej nauki. Raporty te są krytykowane przez wielu uczonych z dziedziny badania klimatu i nauk przyrodniczych. Utworzyli oni niezależną organizację ESEF (The European Science and Environmental Forum). Argumenty tej grupy naukowej są następujące (Juda-Rezler, 2000 za Jaworowskim):

- Kwestionowana jest możliwość naruszenia przez działalność człowieka systemu klimatycznego. W ostatnich 400 latach temperatura powietrza zmieniała się wraz ze zmianami aktywności Słońca.
- Podkreślany jest wpływ erupcji wulkanicznych na ochłodzenie atmosfery. Współczesne ocieplenie klimatu osiągnęło apogeum około 1940 roku, czyli w okresie małego zapylenia atmosfery spowodowanego niską aktywnością wulkaniczną, a więc zanim nastąpił przyspieszony wzrost emisji CO₂ do atmosfery.
- Roczny udział emisji antropogenicznej CO₂ stanowi (maksymalnie licząc) około 3% całkowitego strumienia tego gazu wprowadzanego do atmosfery i ilość ta jest zbliżona do corocznych wahań całej masy CO₂ w atmosferze.
- Kwestionowany jest powszechnie przyjmowany udział gazów szklarniowych w efekcie cieplarnianym (65% para wodna, 35% pozostałe gazy). Przypisuje się parze wodnej 96% w wywołaniu tego efektu.
- Ocieplenie klimatu wskutek emisji gazów szklarniowych do atmosfery jest niepotwierdzoną hipotezą opartą na argumentacji teoretycznej i modelowaniu komputerowym.
- Zarzuca się manipulacje danymi. XIX-wieczne wyniki pomiarów stężenia CO₂ w atmosferze zawierały się w przedziale od 250 do 550 ppm, a wyniki pomiarów w lodzie w przedziale 140–550 ppm, jednak wszystkie wyniki większe od 296 ppm zostały odrzucone jako nieprawdopodobne i błędne.
- Obserwacje przeprowadzone na Spitsbergenie, a także satelitarne pomiary temperatury wskazują na ochłodzenie dużych regionów Arktyki. Na Grenlandii i Półwyspie Skandynawskim temperatura w ciągu ostatnich 120 lat ma tendencję spadkową (poza okresem w latach 40. XX w.). Czapy lodowe Grenlandii i Antarktydy rozrastają się. Dane te zaprzeczają prognozom o topnieniu lodowców.
- Podkreśla się, że systemy polityczne finansują badania problemów związanych jedynie z zagrożeniami, przez co „wymusza się” na środowiskach naukowych katastroficzne wizje skutków ocieplenia klimatu.

W raportach ESEF podano w wątpliwość możliwość oddziaływania człowieka na klimat w skali kuli ziemskiej. Należy jednak pamiętać, że każda emisja zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego do atmosfery bezspornie wpływa negatywnie na stan atmosfery i środowiska w ogóle, dlatego też wszystkie inicjatywy zmierza-

jące do ograniczenia emisji, od inicjatyw lokalnych aż po wysiłki międzynarodowe, zasługują na jednoznaczne poparcie, gdyż w konsekwencji zmierzają do poprawy jakości atmosfery (Łykowski, Demidowicz 2002). Jeżeli przyjmujemy argumenty IPCC, to sprawa jest jednoznaczna, że emisję należy zmniejszyć, bo w przeciwnym razie doprowadzimy do ocieplenia klimatu Ziemi. Jeżeli jednak przyjmujemy argumenty ESEF (podające w wątpliwość możliwość oddziaływania człowieka na klimat w skali globalnej), to także dochodzi się do wniosku, że emisję zanieczyszczeń należy zmniejszać, gdyż zmniejsza się tym samym ryzyko takich zjawisk, jak kwaśne opady, smog siarkowy, smog fotochemiczny czy też zubożenie warstwy ozonu stratosferycznego, a więc zjawisk stanowiących zagrożenie w skali regionalnej i w skali obszarów zurbanizowanych.

Literatura

1. BOUBEL R.W., STERN A.C. i in. 1994: Fundamentals of air pollution. Third edition. AC Academic Press, San Diego, N.Y., Boston, London, Toronto, Sydney, Tokyo.
2. Czwarty raport rządowy dla Konferencji Stron Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. 2006. Wyd. Inst. Ochr. Środ, Warszawa.
3. JUDA J., CHRÓŚCIEL S. 1974: Ochrona powietrza atmosferycznego. Wyd. Nauk.-Techn., Warszawa.
4. JUDA-REZLER K. 2000: Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
5. ŁYKOWSKI B. (red.), MADANY R. 1999: Podstawy klimatologii stosowanej. Działy wybrane. Wyd. SGGW, Warszawa.
6. ŁYKOWSKI B., DEMIDOWICZ G. 2000: Naturalne zmiany klimatyczne w Polsce. Przegl. Nauk. Inż. i Kszt. Środow. Z. 2(25), s. 187–192. Wyd. SGGW, Warszawa.
7. OLECKA A. 2004: Ochrona klimatu w działaniach międzynarodowych. Seria: Instrukcje i podręczniki, s. 85–104. Wyd. IMGW, Warszawa.
8. Polityka klimatyczna Polski. Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2003.
9. Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, DzU 05.203.1684 z dnia 17 października 2005 r.
10. Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. DzU 96.53.238 z dnia 10 maja 1996 r.
11. SORBJAN Z. 2004: Pogoda dla koneserów. Wyd. Meteor, Warszawa.