

Zbigniew W. Kundzewicz*

Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – możliwości przeciwdziałania i adaptacji

Climate change, its causes and impacts. Opportunities for mitigation and adaptation: This article reviews the observational evidence of climate change and discusses its mechanisms, impacts, and projections for the future with particular reference to Poland. Discussion with skeptical theses regarding climate change is also presented. Since much of the expected impact of climate change is adverse, effective mitigation and adaptation activities are necessary. This statement is also valid for Poland, even if Poland is not especially adversely affected by global warming.

Słowa kluczowe: *zmiany klimatu, CO₂, IPCC, adaptacja, przeciwdziałanie zmianom klimatu, polityka klimatyczna*

Keywords: *climate change, CO₂, IPCC, adaptation, climate protection, climate policy*

* Prof. dr hab. inż., członek korespondent PAN, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, Poczdamski Instytut Badań nad Konsekwencjami Klimatu w Poczdamie (Niemcy); e-mail: kundzewicz@yahoo.com.

Wstęp

Na polityce, medycynie i klimacie zna się ponoć każdy Polak. Jednak interpretacja zmian klimatu nie jest prostą sprawą, więc nikomu (także naukowcom) nie zaszkodziłoby trochę więcej pokory. Klimat to jest coś innego niż stan pogody, jaki mamy obecnie za oknem i odczuwamy swoimi zmysłami.

Klimat rozumiany jako statystyczny stan atmosfery, a więc uśredniony za dłuższy okres (np. 30 lat) obraz pogody, charakteryzują wartości średnie i wahania wartości zmiennych meteorologicznych (temperatury, opadu, usłonecznienia, prędkości wiatru, wilgotności powietrza itd.). Klimat określa to, czego możemy się dziś spodziewać, myśląc np. o dniu 15 czerwca 2012 r. w Poznaniu, a pogodą jest to, co się tego dnia rzeczywiście zdarzy.

Obserwujemy silne wahania temperatury. Obok okresów (dni i nocy, miesięcy, pór roku, lat czy dziesięcioleci) znacznie cieplejszych od średniej zdarzają się okresy znacznie chłodniejsze i taka zmienność jest naturalna. Aby wyrokować o zmianach klimatu w jakimś miejscu, trzeba dokonać analizy długich szeregów czasowych obserwacji. Po to, by wypowiadać się o temperaturze globalnej, trzeba dokonać analizy licznych obserwacji z bardzo wielu punktów. Niezbędne jest więc „mędrca szkiełko i oko”. Okazuje się jednak, że utytułowani profesorowie przedstawiają różne opinie nawet w takich sprawach, w których osąd w świetle istniejącego materiału obserwacyjnego powinien być jednoznaczny.

Celem niniejszego artykułu jest omówienie obecnego stanu wiedzy na temat przyczyn, skali i możliwych konsekwencji zmian klimatu oraz scenariuszy prawdopodobnych zmian w przyszłości. Na ich tle autor wskazuje na potrzebę intensyfikacji działań służących ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych w skali globalnej oraz na konieczność przygotowania społeczeństwa i gospodarki do nieuniknionych skutków zmian klimatu.

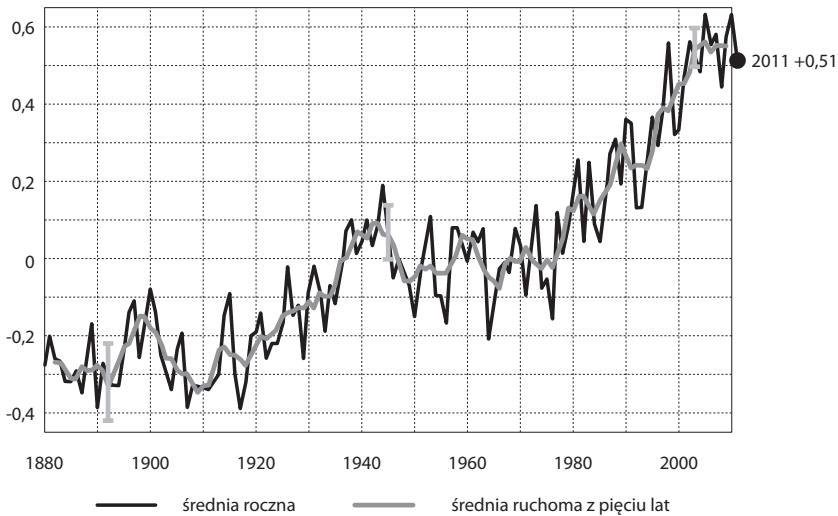
Świadectwo ocieplenia

W latach 2010–2011 wystąpiło w Polsce kilka miesięcy o temperaturze poniżej średniej z wielolecia (w tym bardzo mroźny styczeń 2010 r. i anomalnie mroźny grudzień 2010 r. oraz mroźny luty 2012 r.). Jednak, w skali globalnej, rok 2010 był rekordowo ciepły. Amerykańskie agendy rządowe, GISS NASA i NOAA, podały średnią wartość temperatury globalnej (nad lądami i oceanami) za rok 2010, określoną na podstawie danych z wielu stacji meteorologicznych na świecie i z obserwacji satelitarnych temperatur powierzchni morza. Okazało się, że w skali świata rok 2010 był najcieplejszy w całym okresie, dla którego jesteśmy w stanie określić temperaturę globalną, a więc od roku 1880, tzn. odkąd sieć obserwacji bezpośrednich temperatury była już względnie dobrze rozwinięta. Rok 2010 był odrobinę cieplejszy niż 2005, kiedy to zarejestrowano poprzedni rekord średniej temperatury globalnej.

Rekordu temperatury globalnej w roku 2010 raczej się nie spodziewano, gdyż od wczesnego lata 2010 panowała chłodna faza cyklu ENSO (La Niña)¹, a liczba plam słonecznych – wskaźnik związany z aktywnością Słońca – była bardzo niska.

¹ Oscylacja południowa (ENSO) charakteryzuje się okresowymi zmianami temperatury oceanu i ciśnienia atmosferycznego w pasie równikowym Pacyfiku. Integralnym elementem tego zjawiska jest pojawiająca się co kilka lat faza El Niño, której towarzyszy ciepły prąd morski płynący od wybrzeży Australii w kierunku Ameryki Płd. System ENSO i występowanie faz El Niño oraz El Niño mają wpływ na pogodę na całej kuli ziemskiej.

**Wykres 1. Odchylenia średniej temperatury globalnej od średniej z wie-
lolecia 1951–1980 (w °C), dla poszczególnych lat od 1880 do 2010**



Źródło: wg GISS NASA, http://www.giss.nasa.gov/research/news/20120119/616910main_gis-temp_2011_graph_lrg%5B1%5D.jpg

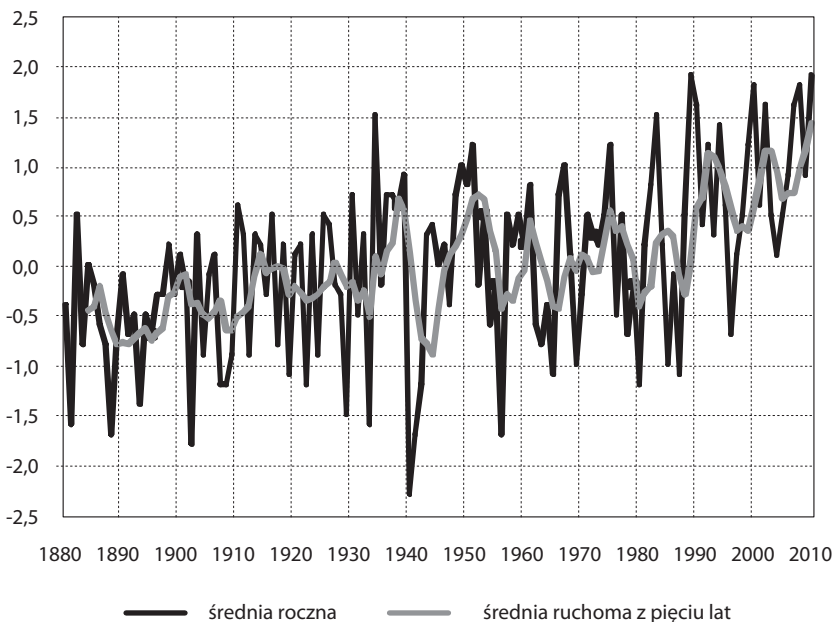
Rok 2010 zakończył najcieplejsze globalnie dziesięciolecie w historii bezpośrednich obserwacji temperatury. Był 35. kolejnym rokiem o temperaturze globalnej wyższej niż średnia z XX wieku (wykres 1).

Temperatura globalna rośnie od 40 lat, choć nieregularnie w czasie i przestrzeni. Począwszy od lat 60. ubiegłego wieku, każda dekada w tym okresie była cieplejsza od poprzedniej. Jednak na zaobserwowany trend wzrostowy nakłada się silna zmienność naturalna. W pojedynczym roku, czy – jeszcze bardziej – w pojedynczym miesiącu przeciętna temperatura może wynosić znacznie powyżej czy też znacznie poniżej ogólnej tendencji. Ocieplenie nie ma jednostajnego tempa – średnie tempo ocieplenia w ostatnich 25 latach jest kilkakrotnie wyższe niż średnie tempo w ostatnich 100 latach².

Każdy kolejny rok kalendarzowy pasuje do obrazu cieplejszego świata (wykres 1). Na prowadzonej od 1880 r. liście najcieplejszych lat znajduje każdy rok od 2001. Lista najcieplejszych lat to: (przy założeniu „remisu”, jeśli temperatury różnią się o mniej niż 0,01°C): 2010 (0,63°C ponad wie-

² Szerzej zob. Z.W. Kundzewicz, Shaochun Huang, *Seasonal temperature extremes in Potsdam*, „Acta Geophysica” 2010, nr 58, s. 1115–1133.

Wykres 2. Odchylenia średniej rocznej temperatury powietrza w Puławach od średniej z wielolecia 1951–1980 (w °C), dla poszczególnych lat od 1880 do 2010



Źródło: na podstawie Z.W. Kundzewicz, J. Kozyra, *Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich*, „Polish Journal of Agronomy” 2011, nr 7, s. 43–56.

lolecie), 2005 (0,62°C), 2007 (0,58°C), 1998 (0,57°C), 2002 i 2009 (0,56°C), 2003 i 2006 (0,55°C), 2011 (0,51°C), 2001 i 2004 (0,48°C), 2008 (0,43°C). Pojedynczy, bardzo ciepły rok 1998 (podczas którego panowało silne El Niño) był cieplejszy ponad swoją epokę. Można go traktować jako jednorazowy wyskok – znaczące odchylenie w górę od wieloletniej tendencji wzrostowej. Wystąpienie tak licznego skupienia globalnie ciepłych lat jak ostatnio zaobserwowane byłoby bardzo mało prawdopodobne w stacjonarnym (niezmiennym) klimacie.

O ociepleniu globalnym świadczą termometry, ale też masowe topnienie kriosfery (łądolody, lodowce morskie i górskie, trwała zmarzlina) oraz wzrost poziomu oceanów, i to spowodowany przez dwa mechanizmy: do oceanów spływają topniejące lody, a cieplejsza woda zwiększa swoją objętość.

Oprócz skali globalnej klimat ociepla się we wszystkich innych skalach przestrzennych, choć w długofalowej tendencji wzrostu temperatury widać

bardzo silne wahania. Są one tym silniejsze, im mniejsza jest skala przestrzenna. Dane obserwacyjne z Polski również potwierdzają wystąpienie ocieplenia. Wykres 2 przedstawia przebieg temperatury w Puławach, opracowany od 1880 r., tak jak przebieg temperatury globalnej na wykresie 1. Porównując przebieg temperatury na pojedynczej stacji (wykres 2) z przebiegiem temperatury globalnej (wykres 1), zauważamy, zgodnie z oczekiwaniem, że zmienność temperatury w punkcie (Puławy) jest znacznie silniejsza niż zmienność temperatury globalnej³. Warto zwrócić uwagę na bardzo silne wahania temperatury przed kilkudziesięciu laty, kiedy to w odstępie zaledwie kilku lat zdarzył się rok niezwykle ciepły (1934) i niezwykle zimny (1940) – najzimniejszy w całym cyklu obserwacji.

Mechanizmy zmian klimatu

Skoro wykryto ocieplenie, istotna staje się potrzeba interpretacji jego mechanizmów. Klimat ziemski zmieniał się już wielokrotnie w historii Ziemi, a okresy chłodniejsze przeplatały się z cieplejszymi. Istnieje kilka grup mechanizmów odpowiedzialnych za zmiany klimatu, a mianowicie:

- ▶ wahania promieniowania słonecznego (aktywność Słońca, np. określana przez wskaźnik liczby plam słonecznych),
- ▶ zmiany parametrów orbity ruchu Ziemi wokół Słońca (w skali czasowej dziesiątek tysięcy lat, a więc nie mające zauważalnego wpływu na obecne ocieplenie),
- ▶ oscylacje w systemie ocean-atmosfera, tzn. zjawisko *quasi*-okresowej zmiany procesów wymiany ciepła między atmosferą a oceanem (np. ENSO – El Niño Southern Oscillation, NAO – North Atlantic Oscillation, AO – Arctic Oscillation, AMO – Atlantic Multi-decadal Oscillation),
- ▶ zmiany składu ziemskiej atmosfery (gazy cieplarniane – para wodna, dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu, pyły, aerozole) oraz
- ▶ zmiany właściwości powierzchni Ziemi (współczynnik odbicia, retencja wodna, przepuszczalność powierzchni, użytkowanie terenu, roślinność).

Pierwsze dwa, a zdaniem niektórych – trzy, wymienione mechanizmy geofizyczne przebiegają w sposób naturalny, bez udziału człowieka. Na po-

³ Z.W. Kundzewicz, J. Kozyra, *Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich*, „Polish Journal of Agronomy” 2011, nr 7, s. 43–56.

zostałe dwa wpływ mają zarówno czynniki naturalne (np. erupcje wulkanów), jak i działalność człowieka.

Istnieją coraz mocniejsze przesłanki dla stwierdzenia, że zachodzące obecnie zmiany klimatu różnią się w istotny sposób od wielu wcześniejszych okresów wzrostu temperatury w historii naszej planety, które wywołane były wyłącznie czynnikami naturalnymi – zmianami aktywności Słońca, parametrów orbitalnych czy naturalną zmianą składu ziemskiej atmosfery (np. przez wulkaniczną erupcję pyłów, aerozoli i dwutlenku węgla).

Aż do zakończenia ostatniej epoki lodowcowej wielkie zmiany klimatu odbywały się bez znaczącej obecności ludzkiej. Podczas wyjścia z ostatniej epoki lodowcowej na całej Ziemi żyło mniej ludzi niż obecnie tylko w jednej z wielkich aglomeracji. Teraz naszą planetę zamieszkuje 7 miliardów ludzi, którzy zużywają coraz więcej energii i drastycznie zmieniają powierzchnię Ziemi. Można oszacować, że w ciągu 200 lat, między rokiem 1800 a 2000, liczba ludności wzrosła 8-krotnie, emisje dwutlenku węgla 21-krotnie, produkcja energii pierwotnej 32-krotnie, produkt globalny brutto (z uwzględnieniem inflacji) 100-krotnie, a długość dziennego przemieszczania się (oprócz chodzenia i biegu) 1000-krotnie. Dlatego uzasadnione jest nazywanie naszych czasów epoką antropocenu, w której działania ludzkie dają efekt porównywany z wielkoskalowymi procesami geologicznymi w przeszłości. Węgiel z zasobów kopalnych, które powstawały w skorupie ziemskiej przez wiele milionów lat, jest uwalniany do atmosfery w ogromnych ilościach w postaci dwutlenku węgla w skali czasowej dziesięcioleci.

Można wskazać coraz więcej argumentów na poparcie hipotezy, że ziemski klimat ociepla się przede wszystkim z powodu wywołanego przez ludzi wzrostu stężenia atmosferycznego gazów cieplarnianych. Rosną emisje i atmosferyczne stężenie dwutlenku węgla (wskutek wzrostu spalania węgla, ropy i gazu, a także redukcji możliwości sekwestracji węgla przez roślinność, towarzyszącej wylesieniu), metanu (produkcja ryżu, hodowla, topnienie zmarzliny) i podtlenku azotu (rolnictwo). Analiza rdzeni lodowych pokazuje, że tak wysokich stężeń dwutlenku węgla w atmosferze jak obecnie nie było od setek tysięcy lat⁴, bo tak daleko sięgają archiwa temperatury tworzone na podstawie odwiertów w lodowcach. Nastąpiła więc intensyfikacja efektu cieplarnianego. „Dach” naszej globalnej szklarni zatrzymuje coraz więcej promieniowania długofalowego emitowanego przez Ziemię, które opuściłoby system ziemski.

⁴ *Summary for Policymakers* [In:] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, et al., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>.

Dokonano szacunków różnych składowych tzw. wymuszenia radiacyjnego (odpowiedzialnego za kształtowanie temperatury) w okresie 1750–2005⁵. Efektywne wymuszenie radiacyjne wzrosło w tym czasie o $1,72 \text{ Wm}^{-2}$ (Wat/m^2), z czego czynniki antropogeniczne odpowiedzialne są za wzrost o $1,6 \text{ Wm}^{-2}$, a czynniki naturalne (Słońce) o $0,12 \text{ Wm}^{-2}$. Słońce jest więc odpowiedzialne tylko za 7,5% ocieplenia w ostatnich 250 latach (a jeszcze mniej, procentowo, w ostatnich 100 czy 50 latach). Pośród czynników antropogenicznych⁶ długowieczne gazy cieplarniane są odpowiedzialne za wzrost o $2,64 \text{ Wm}^{-2}$, ale kompensujący (ochładzający) efekt aerozoli wyniósł $-1,2 \text{ Wm}^{-2}$.

Retoryka raportów Międzyrządowej Komisji ds. Zmian Klimatu (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) uległa w ciągu ostatnich kilkunastu lat wyraźnej ewolucji, odzwierciedlającej narastające świadectwo obserwacji i postępy badań naukowych. W pierwszym raporcie IPCC o zmianach klimatu, opublikowanym w 1990 r., można było przeczytać o „niewielkim świadectwie odróżnialnego wpływu człowieka na klimat”. W drugim raporcie, wydanym w 1996 r., była już mowa o „odróżnialnym wpływie człowieka”. Trzeci raport, wydany w 2001 r., przyniósł znacznie mocniejsze stwierdzenie: *Większość zaobserwowanego ocieplenia w ostatnim 50-leciu jest prawdopodobnie wynikiem wzrostu atmosferycznego stężenia gazów cieplarnianych*. Wreszcie, w najnowszym, czwartym raporcie z 2007 r. czytamy: *Większość zaobserwowanego wzrostu średniej temperatury globalnej od połowy XX wieku jest bardzo prawdopodobnie spowodowana wywołanym przez człowieka wzrostem stężenia gazów cieplarnianych*⁷. Terminy „prawdopodobnie” (w roku 2001) i „bardzo prawdopodobnie” (w roku 2007), użyte w raportach IPCC, mają ściśle określone znaczenie, odpowiednio, mierzone prawdopodobieństwem, ponad 66% (2001) i ponad 90% (2007). Nie istnieje alternatywny sposób poważnego wyjaśnienia przyczyn ocieplenia w ostatnich dekadach.

Badania modelowe wzmacniają argumenty o antropogenicznym podłożu obecnych zmian klimatu. Używając modeli przy założeniu wymuszeń naturalnych (aktywność słoneczna, erupcje wulkanów) i antropogenicznych (wzrost atmosferycznych stężeń gazów cieplarnianych i wzrost, a potem spadek atmosferycznej zawartości aerozoli oraz wylesienie), jesteśmy w stanie odtworzyć zasadnicze cechy zaobserwowanego przebiegu temperatury globalnej, w tym brak wzrostu temperatury w latach 1945–1975.

⁵ *Ibidem*.

⁶ *Summary for Policymakers, op. cit.*

⁷ *Ibidem*.

Natomiast zakładając wyłącznie wymuszenia naturalne, nie jesteśmy stanie wytłumaczyć wzrostu temperatury w ciągu ostatnich 40 lat⁸.

Efekt cieplarniany nasila się, bo w atmosferze jest coraz więcej dwutlenku węgla (obecnie 387 ppm⁹ wobec 280 ppm w epoce przedprzemysłowej) i innych gazów cieplarnianych. Dlatego możliwy był rekord globalnej temperatury w roku 2010, mimo że czynniki naturalne odpowiadające za kształtowanie klimatu wcale nie tłumaczą ocieplenia.

Komu wierzyć?

Chociaż nauka dostarcza przekonujących dowodów na istotny wpływ działalności człowieka na klimat, pogląd ten jest często kwestionowany. Warto sięgnąć do protokołu z posiedzenia sejmowej Komisji Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa¹⁰. Wypowiedzi zaproszonych ekspertów zawierają stwierdzenia, które trudno uznać za wzór naukowej rzetelności. Na przykład nieprawdziwe są przedstawione tam tezy jakoby lata 20. i 30. XX wieku były cieplejsze niż lata 90. W błąd wprowadza również sformułowanie: *jeśli chodzi o ocieplenie klimatu, to praktycznie ten proces został zakończony w 1998 r. Potem była krótka reperkusja tego w 2001 r., ale od tamtej pory obserwujemy ochłodzenie – możemy to obserwować na podstawie danych z różnych części świata. Tak więc mamy teraz progresję w kierunku ochłodzenia*¹¹. Tymczasem według danych globalnych (wykres 1) wymieniony rok 1998 jest czwarty, a rok 2001 – *ex aequo* dziesiąty na liście globalnie najcieplejszych. Najcieplejsze były 2010, 2005 i 2007. Nie ma żadnej progresji w kierunku ochłodzenia! Naiwnością jednak byłoby oczekiwanie regularnego ocieplenia, w którym każdy następny rok jest cieplejszy od poprzedniego. Naturalna zmienność klimatu powoduje, że zdarzają się lata cieplejsze i chłodniejsze – odchylenia w dół i w górę od dominującego trendu. Klimatyczni sceptycy powątpiewają też w meteorologię, stwierdzając: *Dokładność pomiarów w stacjach meteorologicznych waha się od 1–4°C*¹². W rzeczywistości powszechnie uznaje się, że dokładność pomiaru temperatury wynosi 0,1°C.

⁸ *Ibidem*.

⁹ ppm – części na milion (*parts per milion*), jednostka, w której wyraża się koncentrację substancji występujących w bardzo małym stężeniu.

¹⁰ Biuletyn z posiedzenia Komisji Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 2 marca 2010 r., <http://orka.sejm.gov.pl/Biuletyn.nsf/0/DEACF459B33A2A46C12576F100324355?OpenDocument> [dostęp: 21 listopada 2011 r.].

¹¹ *Ibidem*.

¹² *Ibidem*.

W dezawuowaniu tezy o wpływie człowieka na klimat szczególnie aktywną rolę odgrywają geolodzy. Taka jest np. ogólna wymowa przyjętego w 2009 r. stanowiska Komitetu Nauk Geologicznych PAN. Ubolewam nad faktem, że Komitet wypowiada się o sprawach, w których jego członkowie nie mają wystarczającego rozeznania. W kontekście obecnych zmian klimatu stwierdzenie, że przeszłość to klucz do przyszłości, jest słuszne tylko w ograniczonym stopniu. Warto szukać analogii z przeszłości, ale będą one niepełne, bo warunki systemu ziemskiego nigdy nie były takie jak obecnie. Precyzyjną i bardzo rzetelną, a zarazem miazdzącą, recenzję manifestu Komitetu Nauk Geologicznych PAN oraz porównanie z zupełnie innym, wyważonym stanowiskiem Amerykańskiego Towarzystwa Geologicznego (GSA) można znaleźć na znakomitym blogu „doskonaleszare”¹³. Podpisałbym się oburącz pod jego końcowym apelem: *zamiast nawoływać do podjęcia wielodyscyplinowych badań opartych na wszechstronnym monitoringu, może byście się Szanowni Państwo zapoznali z wynikami już przeprowadzonych badań? Z tekstu dokumentu, pod którym się Państwo podpisaliście wynika, że nie macie o nich zielonego pojęcia*¹⁴.

Sceptycy klimatyczni często podważają wiarygodność IPCC. Z większością ich zarzutów trudno się jednak zgodzić. IPCC nie tworzy wiedzy, a tylko krytycznie ocenia aktualny materiał dowodowy. Jeśli materiał nie wytrzymuje krytyki, zostaje odrzucony. Ideą raportów IPCC jest obiektywne przedstawienie obecnego stanu wiedzy na temat zmian klimatu. Każdy raport jest poddawany kilkustopniowemu procesowi recenzji, a liczbę uwag recenzentów, na które autorzy raportu muszą zareagować, mierzy się w tysiącach.

IPCC jest światową platformą umożliwiającą kontakt nauki i polityki. Bardzo brakuje w Polsce czegoś w rodzaju IPCC w skali krajowej – platformy przekazu wyników nauki do decydentów. Przeciętny słuchacz często nie rozumie istoty naukowych polemik, ale ufa utytułowanym profesorom. W efekcie w społeczeństwie (w tym – wśród decydentów) panuje dość powszechne przekonanie, że na temat zmian klimatu i ich przyczyn trwa nierozstrzygalny spór naukowców, równorzędnych partnerów. Tak jednak nie jest. Utytułowani profesorowie się nie zgadzają, ale brakuje instancji nadrzędnej, która mogłaby zdemaskować profesorskie fałsze. W nauce tę rolę pełni system krytycznej recenzji w poważnych czasopismach naukowych. Niestety zupełnie inaczej ten spór przedstawiany jest w mediach, w tym również w prasie kształtującej opinię publiczną. Czytelnicy otrzymują czę-

¹³ <http://doskonaleszare.blox.pl/2009/02/Ignorancja-Komitetu-Nauk-Geologicznych-PAN.html> [dostęp: 21 listopada 2011 r.].

¹⁴ *Ibidem.*

sto zafałszowany przekaz, zgodnie z którym zarówno argumenty o wpływie człowieka na klimat, jak i te o jego braku przedstawiane są jako tak samo wiarygodne.

Słyszalność klimatycznych sceptyków jest szczególnie wyraźna w krajach zużywających dużo energii opartej na węglu i ropie. Należy do nich Polska, która „węglem stoi”, więc choć liczy tylko nieco ponad 0,5% ludności świata, odpowiada za 2% (a więc czterokrotnie więcej) skumulowanej emisji gazów cieplarnianych. Polska ma więc, historycznie biorąc, znaczny wkład we wzmocnienie efektu cieplarnianego, wielki tzw. ślad węglowy (ang. *carbon footprint*). W przeliczeniu na jednostkę PKB wciąż emitujemy znacznie więcej dwutlenku węgla, metanu i innych gazów niż kraje tzw. starej UE. Nie ulega wątpliwości, że byłoby lepiej dla Polski, gdyby globalne ocieplenie nie zachodziło – to jest istotnie niewygodna prawda.

Konsekwencje zmian klimatu i projekcje na przyszłość

Ocieplenie klimatu nie ulega wątpliwości. Zaobserwowano już jego istotne konsekwencje. Choć globalne zmiany klimatu utożsamia się potocznie ze wzrostem temperatury, to zmieniają się wszystkie elementy sprzężonych systemów klimatu i zasobów wodnych, a w efekcie – także wiele systemów fizycznych, biologicznych i ludzkich. Bardzo silne zmiany dostrzeżono już w kurczącej się kriosferze (lodowcach i lodach, pokrywie śnieżnej i zmarzlinie). W wyniku rozszerzalności cieplnej, a także topnienia kriosfery, podnosi się poziom oceanów.

W cieplejszym klimacie rośnie też intensywność opadów – dłuższe okresy posuszne przedzielane są więc intensywnymi opadami, co powoduje niekorzystne skutki. Ponieważ jednak zmiany opadu czy wiatru są znacznie bardziej skomplikowane, potrzeba wielkiej precyzji w formułowaniu stwierdzeń dotyczących konsekwencji tych zmian.

Efekty zmian klimatu obserwuje się w rolnictwie i leśnictwie (wpływ bardziej skrajnych ekstremów hydrologicznych). Łatwo zaobserwować zmiany fenologiczne (zmiany czasu wystąpienia faz fizjologicznych roślin, rozrodu zwierząt czy czasu przylotów i odlotów ptaków). Zanotowano zmiany zasięgu szkodników. Lekkie ocieplenie mogłoby poprawić plony w średnich i wysokich szerokościach geograficznych, dzięki dłuższemu sezonowi wegetacyjnemu i łagodniejszym zimom. Niekorzystny wpływ na produkcję roślinną może mieć jednak niedobór wody oraz skrócenie okresu wzrostu wielu gatunków roślin.

Rosną negatywne skutki zdrowotne i śmiertelność wywołane falami upału w Europie (łączny efekt wzrostu temperatury i starzenia się społeczeństwa).

czeństwa). Coraz silniejsze i częstsze fale upałów, w połączeniu z zanieczyszczeniami powietrza i alergenami dają się szczególnie we znaki osobom starszym i chorym oraz małym dzieciom. Przyszłe zmiany klimatu także odbiją się niekorzystnie na zdrowiu ludzi. Można oczekiwać globalnego wzrostu niedożywienia i negatywnych efektów zdrowotnych ostrzejszych ekstremów klimatycznych. Zmieni się też zasięg chorób przenoszonych przez wektory.

Projekcje na przyszłość

Skoro modele matematyczne radzą sobie z interpretacją zasadniczych już zaobserwowanych zmian i wahań klimatu, można ich użyć do wnioskowania o przyszłości.

Projekcje na przyszłość przewidują dalsze, jeszcze bardziej intensywne, globalne ocieplenie i ta tendencja wydaje się przesądzona co najmniej na kilkadziesiąt lat. Jeśli zdarzy się potężna erupcja wulkanu, może nastąpić krótkotrwałe (do kilku lat) ochłodzenie, ale potem temperatura będzie dalej rosła. Stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze jest już bowiem wysokie, a – pomimo pewnych (mało skutecznych w skali światowej) prób ograniczenia emisji – nie widać końca wzrostu. Krótkotrwałe przewyższenia ponad globalną krzywą trendu wzrostu temperatury mogą towarzyszyć wystąpieniu tzw. fazy El Niño cyklu ENSO, podczas gdy wystąpienie fazy La Niña może być związane z przejściowym spadkiem temperatury poniżej krzywej trendu.

Skoro działalność człowieka jest odpowiedzialna za przeważającą część obecnego ocieplenia, to przez odpowiednie kształtowanie ludzkich działań można próbować ograniczać dalsze ocieplenie. Ponieważ jednak globalny system klimatyczny cechuje się znaczną bezwładnością, więc nie jesteśmy w stanie wpływać na klimat najbliższych dziesięcioleci. Można oczekiwać globalnego ocieplenia rzędu 0,4°C w ciągu najbliższych 20 lat. Natomiast wielkość ocieplenia w następnych dekadach będzie można ograniczyć przez redukcję emisji gazów cieplarnianych i zwiększenie ich wiązania, podjęte odpowiednio wcześnie. Pozwoliłoby to uniknąć niekorzystnych konsekwencji, osłabić je lub opóźnić.

Globalne ocieplenie powoduje zmiany wszystkich elementów systemów klimatu i zasobów wodnych. Konsekwencje – zarówno korzystne, jak i negatywne – można dostrzec i spodziewać się ich w przyszłości we wszystkich regionach świata oraz we wszystkich sektorach i systemach. Zaistnienie i wielkość konsekwencji zależą od scenariusza rozwoju społeczno-ekonomicznego, który ma wpływ na emisje gazów cieplarnianych, oraz od realizowanej polityki przeciwdziałania zmianom klimatu.

Regionalne projekcje temperatury¹⁵ wskazują znaczne i postępujące w ciągu XXI wieku ocieplenie dla całego globu. Projekcje ocieplenia w Europie dotyczą wszystkich pór roku, ale w zimie wzrost temperatury będzie najsilniejszy. Do roku 2050 zakres projekcji zmian temperatury uzyskany za pomocą modeli klimatycznych jest stosunkowo wąski dla różnych scenariuszy.

Jeśli jednak chodzi o opad i zmienne zależne od opadu, to projekcje uzyskane za pomocą różnych modeli klimatycznych są obarczone znacznie większą niepewnością niż projekcje temperatury. W wysokich szerokościach geograficznych i w części tropików modele klimatyczne zgodnie przewidują wzrost opadów. W niektórych obszarach podzwrotnikowych i obszarach na średnich szerokościach (np. basen Morza Śródziemnego) różne modele klimatyczne również dość podobnie pokazują kierunek zmian, przewidując spadek opadu. Między tymi strefami zgodnego wzrostu i zgodnego spadku leżą jednak obszary o sporej niepewności projekcji, dla których symulacje z użyciem różnych modeli klimatycznych nie pokrywają się nawet co do kierunku zmian rocznej sumy opadów.

Rozkład sezonowy zmian opadu nie jest równomierny – według projekcji opady zimowe wzrosną najsilniej, a opady w sezonie wiosennym i jesiennym wzrosną nieco słabiej. Natomiast projekcje opadu letniego i zmiennych zależnych od opadu, uzyskane za pomocą różnych modeli klimatycznych, w części Europy, włącznie z Polską, istotnie się różnią. Wartość mediany wskazuje na mały wzrost, podczas gdy niektóre modele przewidują wzrost opadów letnich, a inne przewidują spadek.

Dla znacznej części Europy projekcje zmian opadu średniego w lecie różnią się co do kierunku od projekcji zmian maksymalnego opadu 24-godzinnego. Projekcje wskazują możliwość wzrostu opadów intensywnych nawet tam, gdzie maleje opad całkowity.

Globalny wzrost poziomu morza w latach od 1993 do 2003 wynosił 3,1 ±0,7 mm rocznie¹⁶, a wywołany był głównie przez rozszerzalność cieplną wody, a w nieco mniejszym stopniu przez topnienie lodów. Niektórzy eksperci obawiają się jednak radykalnego przyspieszenia topnienia lądolodów Grenlandii i Antarktydy, z konsekwencjami w postaci znacznie wyższego wzrostu poziomu mórz już do roku 2050.

Istnieją liczne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu niektóre ekstrema związane z pogodą (np. fale upałów i susze, opady, powodzie i tropikalne cyklony) staną się częstsze i bardziej intensywne.

¹⁵ *Regional Climate Projections* [In:] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, et al., *Climate Change 2007, op. cit.*, s. 847–940.

¹⁶ *Summary for Policymakers, op. cit.*

Przy niewielkim ociepleniu globalnym zagregowane efekty globalne zmian klimatu mogą być korzystne, choć już nawet małe ocieplenie może być niekorzystne dla konkretnego regionu czy sektora. Z projekcji zmian temperatury i opadu wynika, że można oczekiwać istotnych zmian klimatycznych warunków produkcji rolnej w Europie, która jest ograniczona temperaturą na północy i na północnym wschodzie oraz dostępnością wody na południu. Zmiany klimatu złagodzą pierwsze z tych ograniczeń – będą więc korzystne na północy, a powiększą drugie – będą więc niekorzystne na południu kontynentu.

Prognozy zmian klimatu w Polsce

Modele przewidują, że nawet jeśli w Polsce wystąpią mniejsze opady w lecie, to opady intensywne, np. mierzone przez maksymalny opad 24-godzinny, wzrosną. Coraz większa część opadów w lecie to mogą być opady o dużej intensywności. Ostatnie dziesięciolecie wyraźnie pokazały, że wzrost częstości opadów intensywnych przekłada się na wzrost zagrożenia powodziowego (por. powódzie 1997, 1998, 2001, 2007, 2010 r.), erozji wodnej i osuwisk. Projekcje wskazują także na wzrost zagrożenia suszą w sezonie wegetacyjnym (przykłady 1992, 2003, 2006 r.). Wskutek redukcji pokrywy śnieżnej rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia susz wiosennych (np. kwiecień i maj 2000 r.) i erozji wietrznej (gleby niepokrytej roślinnością). Im cieplejsze staną się zimy, tym dotkliwsze mogą być późne, np. majowe, przymrozki (np. w 2007 czy 2011 r.), których jednak nie da się wykluczyć i w cieplejszym klimacie.

Rośnie częstość opadów deszczu w zimie, a maleje częstość opadów śniegu. Projekcje wskazują na skrócenie okresu zalegania pokrywy śnieżnej oraz zmniejszenie jej grubości. Zmniejszenie częstości występowania pokrywy śnieżnej przewidywane jest nie tylko na nizinach, gdzie już teraz zdarzają się długie zimowe okresy bez niej, ale także w górach, zwłaszcza na mniejszych wysokościach.

Projekcje zmian klimatu na obszarze Polski wskazują, że istnieją liczne zagrożenia (fale upałów, opady intensywne, powódzie i osuwiska, susze w sezonie wegetacyjnym i zimowym, silne wiatry, rozwój patogenów związany z ociepleniem, wzrost poziomu morza), choć można dostrzec i korzystne zjawiska (wyższa temperatura wody w morzu i w jeziorach sprzyjająca kąpielom, mniejsza śmiertelność zimą, mniejsze zużycie opału na ogrzewanie pomieszczeń)¹⁷.

¹⁷ Por. L. Starkel, Z.W. Kundzewicz, *Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju*, „Nauka” 2008, nr 1, s. 85–101.

Projekcje na przyszłość wskazują, że z powodu ocieplenia ekosystemy poddane będą coraz większemu stresowi, w połączeniu z innymi czynnikami związanymi z klimatem, takimi jak: intensywny opad, powódź, susza, pożar lasu, a także pozaklimatycznymi – zmiana użytkowania terenu, zanieczyszczenie, fragmentacja, nadmierna eksploatacja.

Możemy stać się świadkami nowej wędrówki ludów – „emigracji klimatycznej”, złożonej z uchodźców środowiskowych opuszczających tereny, na których trudno przeżyć (np. Afrykę Północną – skwarną, suchą i wygłodzoną). Potencjalne skutki dla Polski są ewidentne – nasz kraj ma szansę stać się celem „emigracji klimatycznej”. Rośnie atrakcyjność Polski, która pnie się do góry w rankingach jakości życia. Unia Europejska może w przyszłości przyjąć politykę imigracyjną, np. dzieląc ramowo pulę „imigrantów klimatycznych” na poszczególne kraje.

Przeciwdziałanie zmianom klimatu i adaptacja do zmian

Prawdopodobieństwo dotkliwych konsekwencji zmian klimatu rośnie wraz ze wzrostem szybkości i amplitudy zmian. Ocenia się, że przy znaczniejszym ociepleniu straty przeważałyby nad korzyściami. Istotna jest jednak także nierównomierność rozkładu – kraje rozwinięte mogą skorzystać, ale straci większość krajów rozwijających się. Wielu niekorzystnych konsekwencji w niektórych sektorach i regionach można uniknąć, osłabić je czy też opóźnić poprzez implementację skutecznej polityki zapobiegania zmianom klimatu. Dlatego niezbędne jest skoordynowane i globalne ograniczanie wzrostu atmosferycznych stężeń dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu. Intensyfikacja efektu cieplarnianego spowodowana jest w znacznej mierze wzrostem spalania węgla, ropy i gazu, a także wylesieniem. Przeciwdziałanie musi więc objąć w szczególności sektory odpowiedzialne za znaczną emisję gazów cieplarnianych – produkcję energii, rolnictwo, transport, osadnictwo, gospodarkę odpadami oraz sektor handlu i usług.

Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych dotycząca zmian klimatu (UNFCCC)¹⁸, ratyfikowana przez prawie wszystkie państwa członkowskie ONZ, i protokół z Kioto¹⁹ stanowią podstawę międzynarodowych działań służących ograniczeniu zmian klimatu. Protokół z Kioto, który formu-

¹⁸ Zob. Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzona w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., Dz.U. z 1996 r. nr 53, poz. 238.

¹⁹ Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r., Dz.U. z 2005 r. nr 203, poz. 1684.

je narzędzia implementacji Konwencji, stanowi pierwszy, skromny, raczej symboliczny, a wcale nie tani, krok w kierunku ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Protokół z Kioto nie powstrzymał jednak wzrostu globalnych emisji dwutlenku węgla, bo państwa, które emitują najwięcej gazów cieplarnianych, nie zobowiązały się do redukcji emisji.

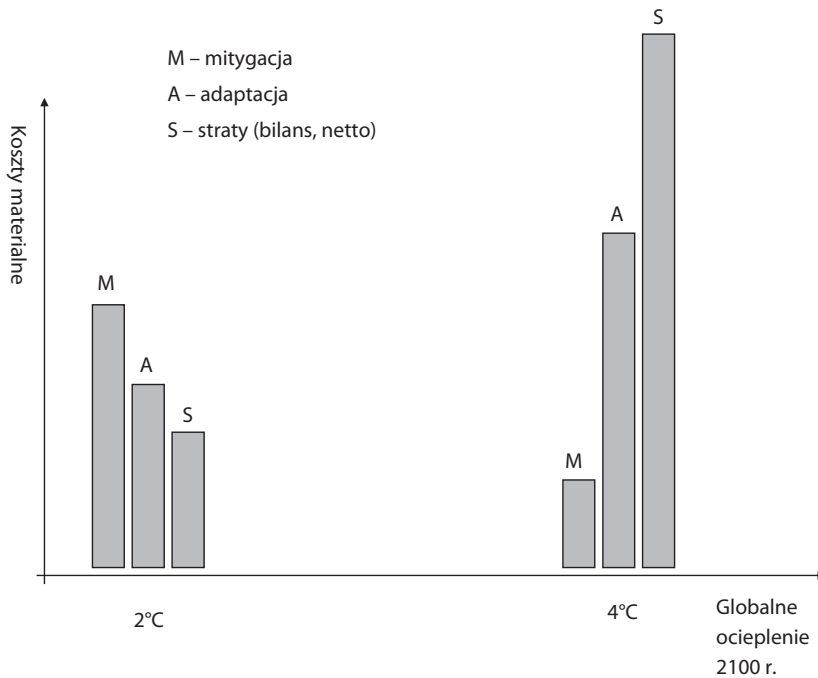
W inicjatywach podejmowanych na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu przoduje Unia Europejska. Europa ma mało paliw kopalnych, a w porównaniu z innymi kontynentami jej mieszkańcy żyją na ogół w względnym dostatku i bezpieczeństwie i bardzo cenią ten stan. Niekorzystne zmiany klimatu, w tym wzrost dolegliwości ekstremów klimatycznych, są niemiłą perspektywą, którą Europejczycy chcieliby odsunąć. Poza tym właśnie w Europie powszechne jest przyjęcie strategii trwałego i zrównoważonego rozwoju – myśl o dalszej przyszłości, o pokoleniach, które przyjdą po nas. Mówi się, że odziedziczyliśmy środowisko od pokolenia naszych rodziców, ale można też spojrzeć inaczej – „wypożyczymy” je od pokolenia naszych dzieci czy wnuków.

Zasadniczym warunkiem przeciwdziałania zmianom klimatu jest przyjęcie światowych uzgodnień dotyczących ram ograniczeń (idących znacznie dalej niż protokół z Kioto), a następnie podjęcie działań na poziomie krajów (o charakterze fiskalnym, legislacyjnym i technicznym), które pozwolą na realizację ustaleń. To wyzwanie, jakiego nie zna świat – jeszcze nigdy nie osiągnięto powszechnego porozumienia w kwestii, która pociąga istotne koszty. Dlatego nie ma gwarancji, że uda się pohamować światową „gorączkę” i symptomy jej towarzyszące. Sama Europa, która jest odpowiedzialna zaledwie za kilkanaście procent światowych emisji gazów cieplarnianych, nie ochroni ziemskiego klimatu. Potrzebne są skuteczne działania w krajach, które emitują najwięcej gazów cieplarnianych, a więc przede wszystkim w Chinach i USA.

Kosztów zapobiegania ociepleniu nie da się uniknąć. Ale ekonomiści oceniają, że koszt kontynuacji niefrasobliwego podejścia i niedostrzegania problemu będzie wyższy niż koszt przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Wysokość nakładów silnie zależy od zamierzonego poziomu stabilizacji dwutlenku węgla w atmosferze. Ponieważ dalsze ocieplenie jest nieuchronne, potrzebna będzie jednak, w coraz większym stopniu, także adaptacja do zmian. A więc odpowiedź na pytanie „przeciwdziałanie czy adaptacja?” jest oczywista – jedno i drugie.

Zmiany klimatu wywołują skutki zarówno pozytywne, jak i negatywne, we wszystkich regionach świata i we wszystkich sektorach i systemach. Istnieją więc „wygrani” i „przegrani”. Potrzebna jest adaptacja do zmieniających się warunków – „wygrani” wykorzystują szanse stworzone przez zmia-

Wykres 3. Schematyczne porównanie dwóch wariantów ocieplenia w roku 2100, o 2°C i o 4°C ponad poziom przedprzemysłowy



Źródło: jak pod wykresem 2.

ny klimatu, a „przegranii” starają się zredukować niekorzystne efekty. Nikt jednak nie chce przyznać się do przynależności do grupy wygranych, obawiając się finansowych skutków – swoistego podatku od wygranej. „Przegranych” już jest sporo i ich liczba będzie nadal rosnąć.

Bez efektywnej polityki klimatycznej (tzw. mitygacji) ocieplenie będzie zapewne znacznie wyższe niż uznawane za bezpieczny próg 2°C – dla uproszczenia można je określić jako 4°C. A zatem warto porównać dwa warianty rozwoju sytuacji (wykres 3): ocieplenie +2°C (dość wysokie koszty mitygacji, ale stosunkowo niższe koszty adaptacji i strat) lub ocieplenie +4°C („oszczędzamy” na mitygacji, ale ponosimy znacznie wyższe koszty adaptacji i strat).

Z obszernego studium podjętego w Wielkiej Brytanii²⁰ wynika, że roczne straty spowodowane zmianami klimatu wzrosną do przynajmniej 5%

²⁰ N. Stern, *The Economics of Climate Change (The Stern Review)*, Cambridge University Press, Cambridge 2007, por. www.sternreview.org.uk.

światowego produktu, a rozważając szerszy wachlarz skutków i mniej prawdopodobne warianty – mogą wzrosnąć nawet do 20% i więcej. Natomiast koszt redukcji gazów cieplarnianych, umożliwiający uniknięcie najgorszych skutków analizowanych zjawisk, wyniesie ok. 1% światowego produktu, zakładając, że celem jest ograniczenie maksymalnych stężeń dwutlenku węgla w atmosferze do 450–550 ppm CO_{2eq}. Znaczna redukcja emisji powinna nastąpić w ciągu najbliższych 10–20 lat. Jeśli tak się nie stanie, późniejsza redukcja musiałaby być znacznie ostrzejsza, a więc bardziej kosztowna.

Instrumenty adaptacji do zmian klimatu

Człowiek zaadaptował się do już istniejącego klimatu, więc każda zmiana klimatu wymaga (potencjalnie kosztownego) dostosowania się do nowych warunków. W Unii Europejskiej obowiązuje wiele ogólnych reguł dotyczących adaptacji, do których musi się dostosować Polska. Jedną z nich jest zasada przezorności (*precautionarity principle*), określająca, jak postępować w warunkach niepewności. Brak całkowitej pewności nie jest podstawą do unikania przygotowań do sytuacji, których wystąpienie nie jest wprawdzie wysoce prawdopodobne, ale w razie ich wystąpienia konsekwencje mogą być niezwykle poważne. Mimo znacznej niepewności projekcji skutków zmian klimatu, Unia Europejska forsuje potrzebę przygotowań do adaptacji. Choć adaptacja do konsekwencji zmian klimatu pozostaje w istocie regionalna i lokalna, cenne jest stworzenie sprzyjającego środowiska i promowanie dobrych przykładów przez Komisję Europejską. Spośród uregulowań UE o istotnym znaczeniu w kontekście adaptacji do zmian klimatu należy wymienić: ramową dyrektywę wodną UE²¹, zobowiązującą kraje członkowskie do zapewnienia dobrej jakości wszystkich wód w Unii Europejskiej do końca 2015, oraz dyrektywę powodziową UE²², która wymusza ocenę ryzyka powodzi, stworzenie map ryzyka i potencjalnych strat, a także przygotowanie działań w kierunku „zarządzania” ryzykiem powodziowym (*flood risk management*).

Zmiany klimatu istotnie zwiększają zakres niepewności, wykraczając poza obszar objęty poprzednim doświadczeniem. Przygotowanie do skutków zmian klimatu dotyczy poszczególnych sektorów (planowanie przestrzenne,

²¹ Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz.Urz. UE L 327 z 22 grudnia 2000 r., s. 1; polskie wydanie specjalne, rodz. 15. t. 5, s. 275.

²² Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, Dz.Urz. UE L 288 z 6 listopada 2007 r., s. 27.

gospodarka wodna, rolnictwo i hodowla, leśnictwo, zdrowie publiczne, energetyka, transport, budownictwo i infrastruktura, turystyka, sektor finansowy itd.). Adaptacja na poziomie krajowym wymaga poprawy systemów osłony przed klęskami żywiołowymi (ulewy, powódzie, osuwiska, fale upałów, susze, plagi np. owadów, pożary, epidemie), złożonych z systemów prognozy, prewencji, przygotowania, odpowiedzi i wychodzenia z kryzysu.

Odpowiednio przemyślane działania zapobiegające zmianom klimatu i przeciwdziałające niekorzystnym skutkom (adaptacja do zmian klimatu) mogą być integralną częścią trwałego i zrównoważonego rozwoju i wzmacniać się wzajemnie. Istnieją liczne powody (nie tylko zmiany klimatu), dla których warto oszczędzać energię, wodę i surowce. Ograniczenie zużycia surowców energetycznych jest korzystne dla trwałego i zrównoważonego rozwoju (więcej surowców pozostanie dla przyszłych pokoleń), dla ogólnej ochrony środowiska (np. uciążliwość kopalni odkrywkowych), dla czystości powietrza (emisje dwutlenku siarki), poprawy zdrowotności (zmniejszenie zachorowalności wskutek redukcji zanieczyszczenia powietrza, spadek wypadków w górnictwie). Również ze wszech miar korzystne jest powiększanie retencji wodnej (zwłaszcza – małej retencji), np. oczka wodne, mokradła. Z wielu względów warto dbać o dobry transport publiczny. Bardzo potrzebna jest poprawa izolacji domów, ograniczająca zużycie energii, a przy tym obniżająca koszty ogrzewania.

W niektórych przypadkach środek korzystny dla ochrony klimatu nie jest korzystny z punktu widzenia adaptacji do zmian klimatu, i na odwrót. Takie elementy adaptacji, jak pompowanie głębokiej wody gruntowej czy klimatyzacja łagodząca zdrowotne skutki fal upałów, nie służą przeciwdziałaniu ociepleniu. Wraz z globalnym ociepleniem przybliży się perspektywa spędzania lata w klimatyzowanym domu i w klimatyzowanym miejscu pracy. Klimatyzacja wymaga jednak użycia znacznych ilości energii, a więc wzmacnia efekt cieplarniany. Natomiast ochrona klimatu przez wiązanie węgla w roślinności może prowadzić do wzrostu problemów związanych ze spadkiem dyspozycyjnych zasobów wody (spowodowanym wysoką ewapotranspiracją lasu). „Wielka” retencja wody (np. zapory i zbiorniki wodne) jest korzystna zarówno dla adaptacji, jak i ochrony klimatu. Jednak istnieją inne aspekty ograniczające racjonalność tego rozwiązania (konsekwencje ekologiczne, uniemożliwienie migracji ryb, konieczność przesiedlenia ludności).

Do obszarów, które wymagają opracowania szczegółowych zintegrowanych i długofalowych programów przeciwdziałania skutkom zmian klimatu w Polsce, należą:

- ▶ obszary górskie – generujące powódzie, odprowadzające nadwyżki wody,

- ▶ strefa wybrzeża Bałtyku – objęta podniesieniem poziomu morza,
- ▶ dna dolin rzecznych – wymagające ochrony, a szczególnie wycofania zabudowy z obszarów zalewowych²³.

Potrzebne jest w Polsce uwzględnienie w planowaniu przestrzennym ryzyka powodzi; dostosowanie istniejących przepisów budowlanych, zapewniające, że infrastruktura o długim czasie planowanego życia będzie odporna na zmiany klimatu; wzmocnienie strategii osłony przed klęskami żywiołowymi, a także doskonalenie systemów wczesnego ostrzegania przed powodzią i pożarami lasów. Konkretne działania adaptacyjne mogą obejmować również niezbyt kosztowne działania, jak: oszczędność wody, zmiany agrotechniczne (np. zmiany rotacji upraw, czasu siewu i zbioru, użycie odmian roślin odpornych na suszę, adaptacja do dłuższych sezonów wegetacyjnych); planowanie publiczne i podnoszenie świadomości. Bardziej kosztowna jest budowa systemu zabezpieczeń i przesiedleń (np. wzmocnienie obwałowań, relokacja portów, przemysłu i całych wiosek oraz miast z nisko położonych obszarów nadmorskich lub z równin zalewowych, inwestycje energetyczne na wypadek niewystarczającego działania elektrowni wodnych w okresie suszy). Sektor ubezpieczeń może rozwinąć nowe produkty zmniejszające ryzyko. Gospodarka wodna wymaga zwiększenia retencji, ale przy minimalizacji powierzchni stale zajętej przez wodę (wzrost powierzchni o charakterze polderowym).

Adaptacja do zmian klimatu w Polsce obejmować powinna poprawę ochrony przed wzrostem częstotliwości zdarzeń ekstremalnych²⁴ (głównie opadów intensywne), prowadzących do katastrofalnych powodzi i osuwisk, w tym wycofanie osadnictwa i infrastruktury z obszarów zalewowych na terenach przykorytowych i ze stromych stoków zagrożonych osuwiskami. Konieczne przystosowanie wymaga podjęcia budowy dalszych zbiorników retencyjnych, w tym polderów retencjonujących wodę (także do zaopatrzenia w wodę w okresie niżówek i susz). Adaptacja w rolnictwie obejmuje dostosowanie upraw do zmieniających się warunków i wahań termicznych oraz opadowych (np. wprowadzanie upraw ciepłolubnych; dostosowanie upraw do ekstremalnych warunków). Przebudowa drzewostanów leśnych na wielogatunkowe umożliwi ochronę przed wiatrolomami i szkodnikami. Należy dostosować budownictwo do częstszego występowania gwałtownych wiatrów, a sieć drogową (przepusty, mosty itp.) i kanalizacyjną do wystąpienia gwałtownych opadów o dużym natężeniu. Budownictwo wy-

²³ L. Starkel, Z.W. Kundzewicz, *Konsekwencje zmian klimatu*, op. cit.

²⁴ *Ibidem*.

maga dostosowania do silnych upałów. Potrzebna jest rewizja programów rozwoju gospodarki turystycznej i dostosowanie ich do scenariuszy przyszłych warunków śniegowych przewidujących słabą pokrywą stoków niżej położonych i o wystawie południowej. Prawdopodobne jest przesunięcie turystyki „plażowej” nad Morzem Śródziemnym na okresy wiosny i jesieni, by uniknąć upalnych miesięcy letnich, w czasie których warunki pogodowe nad Bałtykiem mogą być korzystniejsze do rekreacji.

„Konwencjonalne” obciążenia zagrażające ekosystemom, jak: fragmentacja, degradacja, zanieczyszczenie i nadmierna eksploatacja, warto rozważyć w kontekście „nieprzemakalności klimatycznej” (*climate-proofing*). Zdrowe ekosystemy (np. wielogatunkowe lasy) są w stanie lepiej poradzić sobie ze zmianami klimatu i podtrzymać generowanie wielorakich korzyści, od których zależy nasza jakość życia. Szczególną uwagę poświęcić należy obszarom chronionym i korytarzom ekologicznym.

Uwagi końcowe

W Polsce zmiany klimatu stwarzają szanse (np. bardziej przyjazna dla amatorów kąpeli wyższa temperatura wody w Bałtyku czy jeziorach Pojezierza Mazurskiego, mniejsza zachorowalność i śmiertelność oraz oszczędność na opale zimą, rosnąca możliwość uprawy ciepłolubnych roślin), ale i zagrożenia (wzrost częstości fal upałów, opadów intensywnych, powodzi i osuwisk, ale też suszy w sezonie wegetacyjnym, silnych wiatrów i wzrost poziomu morza). Niektóre zmiany są korzystne dla jednych sektorów, a niekorzystne dla innych. Bezśnieżna zima cieszy kierowców samochodów i służby odpowiedzialne za odśnieżanie dróg czy utrzymanie autostrad, ale jest złą wiadomością dla entuzjastów narciarstwa i osób, które żyją z obsługi zimowej turystyki i rekreacji.

Zasadniczo Polska na pewno nie będzie wielkim przegranym w zmieniającym się klimacie, jednak np. problemy z wodą, w tym – istniejące już zagrożenia ekstremami wodnymi – suszami i powodzią (szczególnie typu opadowego), mogą nasilić się. Trzeba będzie optymalnie „zagospodarować” zmiany korzystne, a skutecznie zaadaptować się do zmian niekorzystnych.

Potrzebna jest optymalizacja sposobu funkcjonowania przestrzennego, pozwalającego zarówno skuteczniej przeciwdziałać zmianom klimatu i zabezpieczyć się przed ich niekorzystnymi konsekwencjami, jak i lepiej spżytkować szanse rozwojowe stwarzane przez ocieplenie²⁵.

²⁵ *Ibidem*.

Wiele decyzji dotyczących adaptacji podejmuje się na poziomie lokalnym, gdzie istnieje dobra i szczegółowa znajomość warunków. Adaptacja jest więc zadaniem zarówno dla władz regionalnych, jak i dla władz lokalnych. Jednak na każdym poziomie administracji (krajowym, regionalnym i lokalnym) proces ten wymaga podnoszenia świadomości społeczeństwa, decydentów i fachowców. Dostosowanie do zmian klimatu może uruchomić nowe szanse ekonomiczne, włącznie z tworzeniem nowych miejsc pracy i powstawaniem nowych rynków na innowacyjne produkty i usługi, jak np. nowe rynki dla technik budowlanych, materiałów i produktów odpornych na zmiany klimatu.

Przeciwdziałanie zmianom klimatu i dostosowanie do nich wiąże się z wydatkowaniem środków publicznych wymagającym dużej ostrożności. Należy postawić pytania – jakie będą zmiany klimatu Polski i ich konsekwencje? Jak lepiej uzbroić układ przestrzenny i wyposażać go w elementy mitygacji i adaptacji? Jakie będą skutki wynikające z polityki prewencyjnej państwa i strategii przestrzennej mitygacji i adaptacji? Nasza wiedza na ten temat jest jednak wciąż bardzo ograniczona i obciążona znacznym stopniem niepewności.

Bibliografia

- J.H. Christensen, B. Hewitson, A. Busuioc, et al. *Regional Climate Projections*, [In:] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, et al., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2007, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch11.html.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz.Urz. UE L 327 z 22 grudnia 2000 r., s. 1; polskie wydanie specjalne, rodz. 15. t. 5, s. 275,
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, Dz.Urz. UE L 288 z 6 listopada 2007 r., s. 27.
- Komisja Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (nr 126), 2 marca 2010 r., biuletyn 3478/VI/kad., <http://orka.sejm.gov.pl/Biuletyn.nsf/0/DEACF459B33A2A46C12576F100324355?OpenDocument>.
- J. Kozyra, A. Doroszewski, A. Nieróbca, *Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG-PIB”, 2009, nr 14. 243–257.
- Z.W. Kundzewicz, *Konsekwencje globalnych zmian klimatu*, „Nauka” 2008, nr 1. 103–118.

- Z.W. Kundzewicz, Shaochun Huang, *Seasonal temperature extremes in Potsdam*. „Acta Geophysica” 2010, nr 58.
- Z.W. Kundzewicz, P. Kowalczak, *Zmiany klimatu i ich skutki*, Warszawa 2008.
- Z.W. Kundzewicz, J. Kozyra, *Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich*. „Polish Journal of Agronomy” 2011, nr 7.
- Z.W. Kundzewicz, M. Radziejewski, I. Pińskwar, *Precipitation extremes in the changing climate of Europe*. „Climate Research” 2006, nr 31.
- Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r., Dz.U. z 2005 r. nr 203, poz. 1684.
- Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzona w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., Dz.U. z 1996 r. nr 53, poz. 238.
- L. Starkel, Z.W. Kundzewicz, *Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju*, „Nauka” 2008, nr 1.
- N. Stern, *The Economics of Climate Change (The Stern Review)*, Cambridge University Press, Cambridge 2007; www.sternreview.org.uk.
- Summary for Policymakers*, [In:] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, et al., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>.