

Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje

Climate changes, their reasons and effects – observations and projections

Zbigniew W. Kundzewicz

*Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, Polska,
Poczdamski Instytut Badań nad Konsekwencjami Klimatu w Poczdamie, Niemcy*

Zarys treści: W latach 2010 i 2011 wystąpiło w Polsce kilka miesięcy o temperaturze poniżej średniej z wielolecia. Jednak, w skali globalnej, cały rok 2010 był rekordowo ciepły i zakończył najcieplejsze dziesięciolecie w historii bezpośrednich obserwacji temperatury. Był to 34. kolejny rok o temperaturze globalnej wyższej niż średnia z XX w. Temperatura globalna rośnie od 40 lat, a począwszy od lat 1960. każda dekada była cieplejsza od poprzedniej. Zmiany nie są jednak regularne w czasie i przestrzeni – na zaobserwowany trend wzrostowy nakłada się silna zmienność naturalna. Zmiany klimatu nie są niczym nowym, bowiem w historii Ziemi okresy chłodniejsze wielokrotnie przeplatały się z cieplejszymi. Mechanizmy historycznych zmian klimatu były całkowicie naturalne. Obecnie ziemski klimat ociepla się najprawdopodobniej przede wszystkim z powodu wywołanego przez ludzi wzrostu stężenia atmosferycznego gazów cieplarnianych. Projekcje na przyszłość przewidują dalsze, jeszcze bardziej intensywne, globalne ocieplenie i ta tendencja wydaje się przesądzona co najmniej na kilkadziesiąt lat. W istocie z temperaturą zmieniają się wszystkie elementy sprzężonych systemów klimatu i zasobów wodnych, a w konsekwencji – także wielu systemów fizycznych, biologicznych i ludzkich (społeczno-ekonomicznych). 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 emisję gazów cieplarnianych, oraz od realizowanej polityki przeciwdziałania zmianom klimatu. Prawdopodobieństwo dotkliwych konsekwencji zmian klimatu rośnie wraz ze wzrostem szybkości i amplitudy zmian. Ocenia się, że przy znacznie większym ociepleniu straty przeważałyby globalnie nad korzyściami. Skoro działalność człowieka jest odpowiedzialna za większą część obecnego ocieplenia, to poprzez właściwe kształtowanie ludzkiej działalności można próbować ograniczać ocieplenie w dalszej perspektywie. Ponieważ jednak globalny system klimatyczny cechuje się znaczną bezwładnością, więc nie jesteśmy w stanie skutecznie wpływać na klimat najbliższych dziesięcioleci. W efekcie można oczekiwać globalnego ocieplenia rzędu 0,2°C na dekadę. Natomiast wielkość ocieplenia w następnych dziesięcioleciach będzie można ograniczyć poprzez skuteczną politykę ochrony klimatu, tzn. redukcję emisji gazów cieplarnianych i zwiększenie ich wiązania, podjęte odpowiednio wcześniej. Bez efektywnej polityki klimatycznej poziom ocieplenia w horyzoncie roku 2100 będzie zapewne znacznie wyższy niż względnie bezpieczny wzrost o 2°C ponad temperaturę z okresu przedprzemysłowego. Człowiek zaadaptował się do już istniejącego klimatu, więc każda zmiana wymaga dostosowania się do nowych warunków i generuje koszty. W Polsce zmiany klimatu niosą szanse – bardziej przyjazną, wyższą temperaturę wody w Bałtyku, a zimą – mniejszą zachorowalność i śmiertelność oraz oszczędność na opale. Są jednak i zagrożenia: wzrost częstości fal upałów, opadów intensywnych, powodzi i osuwisk, ale też suszy w sezonie wegetacyjnym, silnych wiatrów i wzrost poziomu morza. Per saldo, Polska na pewno nie będzie wielkim przegranym w zmieniającym się klimacie, jednak np. problemy z okresowymi deficytami lub niszczącymi nadmiarami wody mogą się nasilić. Trzeba będzie optymalnie „zagospodarować” zmiany korzystne, a skutecznie zaadaptować się do zmian niekorzystnych. Konieczna jest wielka rozważa i dyplomatyczna zręczność, by wynegocjować w Unii Europejskiej takie warunki zobowiązań dotyczących polskiego wkładu w przeciwdziałanie zmianom klimatu, które nie przyhamują społeczno-gospodarczego rozwoju Polski. Nasz kraj „węglem stoi”, więc perspektywa wysokiego opodatkowania emisji dwutlenku węgla i zagrożenie tzw. „wyciekaniem węgla”, a w konsekwencji utrata miejsc pracy w Polsce na rzecz krajów, które nie uczestniczą w światowym przeciwdziałaniu zmianom klimatu, mogą być powodem do obaw. Nie może być tak, że dla Polski kuracja jest gorsza od choroby. Nasza wiedza na temat przyszłych warunków jest jednak bardzo ograniczona i obciążona znacznym elementem niepewności.

Słowa kluczowe: zmiany klimatu, globalne ocieplenie, przyczyny zmian klimatu, konsekwencje zmian klimatu, przeciwdziałanie zmianom klimatu, adaptacja, polityka klimatyczna

Summary: In the years 2010 i 2011, there have been several months in Poland with temperature below the long-term monthly mean. However, in the global scale, the year 2010 was record-warm and terminated the globally-warmest decade in the history of direct temperature observations. It was the 34-th consecutive year with global temperature exceeding the 20th century average. Global temperature has been growing for 40 years and since 1960s, each decade is warmer than the former one. However, changes are not regular in time and space – there is a strong natural variability superimposed on the growing trend. Climatic changes have occurred many times in the history of the Earth – there were many cooler periods interspersed with warmer periods. However, mechanisms of earlier climatic changes have been totally natural. Presently, it is very likely that the Earth climate warms up primarily due to anthropogenic increase of atmospheric concentration of greenhouse gases. Projections for the future foresee further, and more intense, global warming and this tendency is projected to last for at least several decades. In fact, temperature changes are accompanied with changes of all elements of the coupled systems of climate and water resources, and in consequence – many physical, biological, and human (socio-economic) systems. Climate change impacts, both advantageous and disadvantageous, can be observed already, and are expected in the future, in all regions, sectors, and systems. They depend on the scenario of socio-economic development that drives the emissions of greenhouse gases, and on the climate change mitigation policy. Probability of severely adverse impacts grows with the level and rate of warming. It is estimated that for a larger warming, negative effects would dominate over positive effects. If human activity is responsible for the most part of the recent warming, we can try to restrict the warming in a longer perspective by changing the human behaviour. However, due to the inertia of the climate system, we cannot influence the climate of the nearest decade or two, so that the warming of 0.2°C per decade is expected. The amplitude of warming in 2050–2100 can be restricted by an effective climate mitigation policy, i.e. reduction of emission of greenhouse gases and increase of carbon sequestration, undertaken sufficiently early. Without effective climate policy, the global warming in the time horizon of the year 2100 will be much higher than the relatively safe increase by 2°C above the pre-industrial temperature. People have already adapted to the existing climate, hence every change of climate requires adaptation to new conditions and generates costs. In Poland, climate change bring opportunities, such as higher, hence more enjoyable water temperature in the Baltic Sea, and in winter – lower morbidity and mortality, and savings on heating. However, there are also threats: increase of frequency of heat waves, intense precipitation, floods and landslides, but also droughts in vegetation seasons, strong winds, and sea level rise. All in all, Poland will not be a big loser in the changing climate, even if problems with temporary deficits or destructive abundance of water can become more severe. It is necessary to benefit of positive changes and to adapt to negative changes. Prudence and diplomatic skills are needed in negotiations with the European Union. The obligations on the Polish contribution to climate mitigation cannot inacceptable delay the socio-economic development. Our country “sits on coal”, hence the perspective of high tax on emission of carbon dioxide and the threat of carbon leakage, and in consequence loss of jobs in Poland to countries that do not partake in the global climate policy can be reasons for concern. It would be unacceptable that in Poland the cure is worse than the disease. However, our knowledge about future conditions is very limited and loaded with a considerable uncertainty.

Key words: climate change, global warming, climate change mechanisms, climate change impacts, mitigation, adaptation, climate policy

Wstęp

W grudniu 2010 r., potężne mrozy wystąpiły w znacznej części Europy. Na „wiekowej” stacji meteorologicznej w Poczdamie (www.klima-potsdam.de) od czasu rozpoczęcia notowań, tzn. od 1893, zarejestrowano tylko jeden grudzień mroźniejszy od grudnia z 2010 r. Średnia temperatura najzimniejszego grudnia (w roku 1969) wynosiła $-6,23^{\circ}\text{C}$. Natomiast w grudniu 2010 r. średnia temperatura miesiąca spadła do $-4,43^{\circ}\text{C}$, a więc aż o $9,6^{\circ}\text{C}$ poniżej średniej temperatury najcieplejszego grudnia, który zdarzył się zaledwie 4 lata temu, w roku 2006. Wtedy zanotowano średnią temperaturę miesięczną $+5,17^{\circ}\text{C}$.

Cały rok 2010 był nietypowy pod względem klimatycznym. W Warszawie zaczął się bardzo mroźnym styczniem, a skończył anomalnie mroźnym grudniem (patrz klasyfikacja termiczna miesięcy prowadzona przez prof. H. Lorenc, www.imgw.pl). Niektóre inne miesiące, przede wszystkim letnie, były jednak cieplejsze od normalnego zakresu temperatury (lekko cieplej marzec, ciepło: kwiecień, czerwiec i listopad, bardzo

ciepły sierpień i anomalnie ciepły lipiec), więc średnia temperatura roku 2010 w Warszawie pozostała w granicach szerokiej normy, rozumianej jako średnia z wielolecia 1971–2000 plus/minus pół odchylenia standardowego.

Do lipca również rok 2011 był nietypowy np. w Wielkopolsce. W styczniu i lutym były naprzemian okresy mroźne i bardzo ciepłe. Po anomalnie ciepłym kwietniu nastąpił maj z silnymi przymrozkami, które spowodowały szkody w ogrodach i sadach, a potem anomalnie ciepły czerwiec. W maju było bardzo sucho, ale lato jest deszczowe, z wieloma chłodnymi dniami (i nocami).

Świadectwo ocieplenia

Jak się mają polskie mrozy ze stycznia i grudnia 2010 r. do globalnego ocieplenia? Odpowiedź może się wydać zaskakująca – cały rok 2010 był globalnie rekordowo ciepły. Amerykańskie instytucje GISS NASA i NOAA podały średnią wartość roczną tem-

peratury globalnej (nad lądami i oceanami) za rok 2010, określoną na podstawie danych z ponad 1000 stacji meteorologicznych na świecie i z obserwacji satelitarnych temperatur powierzchni morza. Okazało się, że w skali całego świata rok 2010 był nawet minimalnie cieplejszy niż 2005, kiedy to zarejestrowano poprzedni rekord średniej temperatury globalnej. Stwierdzenie to zakłada, że jesteśmy w stanie względnie dokładnie i wiarygodnie określić temperaturę globalną od roku 1880. Od tego czasu sieć obserwacji bezpośrednich temperatury była już stosunkowo dobrze rozwinięta.

Jednak na rekord temperatury globalnej w roku 2010 raczej się nie zanosilo. Od wczesnego lata 2010 r. aż do końca roku panowała chłodna faza cyklu ENSO (La Niña), a liczba plam słonecznych – wskaźnik związany z aktywnością Słońca – była bardzo niska.

Rok 2010 zakończył najcieplejsze globalnie dziesięciolecie w historii bezpośrednich obserwacji temperatury. Był 34. kolejnym rokiem o temperaturze globalnej wyższej niż średnia z XX w. (ryc. 1).

Temperatura globalna rośnie od 40 lat, choć nieregularnie w czasie i przestrzeni. Od lat 1960. każda dekada 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 się układać znacznie powyżej lub też znacznie poniżej ogólnej tendencji. Dotyczy to także mniejszych skal przestrzennych, a szczególnie – skali regionalnej, lokalnej i punktowej.

Hansen i in. (2010) z GISS NASA pokazali, że 7 z ostatnich 10 zim w Europie było cieplejszych od średniej z wielolecia (natomiast każde lato było cieplejsze od średniej). Zmienność temperatury w miesiącach zimowych jest więc bardzo silna, dużo silniejsza niż w lecie.

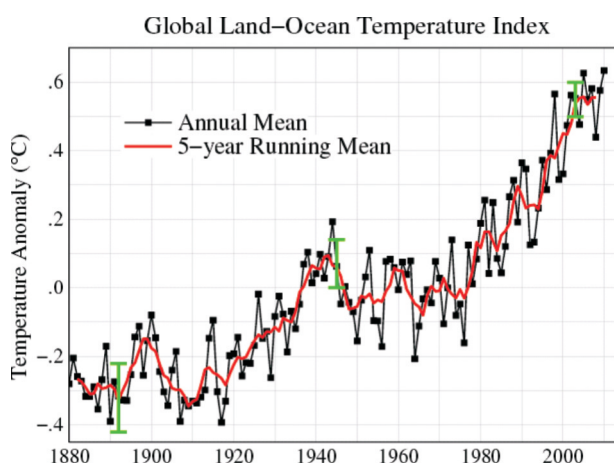
Według Międzyrządowej Komisji ds. Zmian Klimatu – IPCC (Solomon i in. 2007), ocieplenie jest jednoznaczne i bezdyskusyjne. Ocieplenie globalne za 100 lat (od 1906 do 2005 r.), mierzone trendem liniowym, wynosiło $0,74^{\circ}\text{C}$, a więc $0,074^{\circ}\text{C}$ na dekadę, ale ocieplenie za 50 lat (od 1956 do 2005 r.) i za 25 lat (od 1981 do 2005 r.) było znacznie większe (średnio na dekadę: odpowiednio $0,128^{\circ}\text{C}$ i $0,177^{\circ}\text{C}$). A więc, globalne ocieplenie nasila się – w latach 1981–2005 było ponad 2,4 razy szybsze niż średnia za lata 1906–2005.

Każdy kolejny rok kalendarzowy po roku 2000 (ryc. 1) wpisuje się w obraz globalnie cieplejszego świata. Na liście 11 najcieplejszych lat (w okresie, dla którego jesteśmy w stanie określić wartość temperatury globalnej poszczególnych lat, tzn. od 1880) znajdujemy każdy rok od 2001. Lista najcieplejszych lat ma postać (w nawiasach podano przewyższenie ponad średnią z wielolecia; przy czym jeśli temperatury dwóch lat różnią się o mniej niż $0,01^{\circ}\text{C}$, uznano je za jednakowe, z uwagi na istnienie znacznej niepewno-

ści): 2005 i 2010 ($0,63^{\circ}\text{C}$ ponad wielolecie), 2007 i 2009 ($0,58^{\circ}\text{C}$), 1998 i 2002 ($0,56^{\circ}\text{C}$), 2003 i 2006 ($0,55^{\circ}\text{C}$), 2004 ($0,48^{\circ}\text{C}$), 2001 ($0,47^{\circ}\text{C}$), 2008 ($0,44^{\circ}\text{C}$). Bardzo ciepły rok 1998, podczas którego panowała bardzo silna ciepła faza cyklu ENSO – El Niño był cieplejszy ponad swoją epokę. Można go traktować jako znaczące odchylenie w górę od wieloletniego trendu wzrostowego. Zorita i in. (2008) uznali, że wystąpienie tak licznych skupień globalnie ciepłych lat, jakie zaobserwowano ostatnio, byłoby bardzo mało prawdopodobne w stacjonarnym (niezmiennym) klimacie.

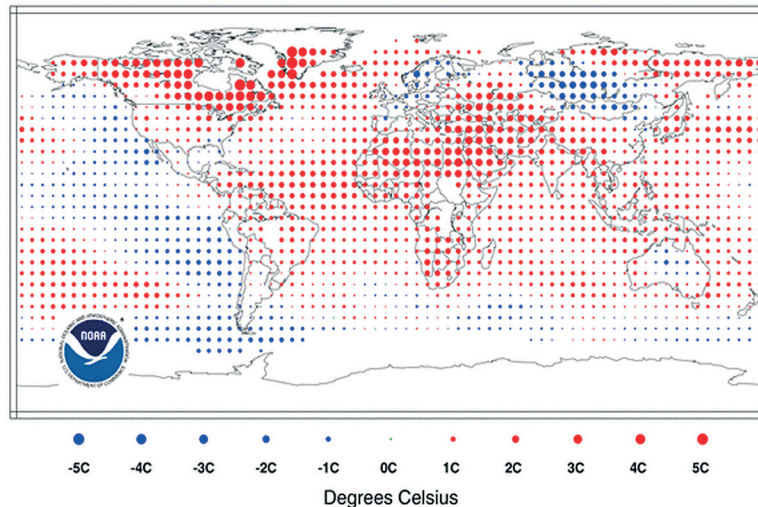
Oprócz skali globalnej klimat ociepla się we wszystkich innych skalach przestrzennych, choć na długofalową tendencję wzrostu temperatury nakładają się bardzo silne wahania. Również w skali regionalnej ocieplenie nie ma jednostajnego tempa. Dane obserwacyjne z Polski też potwierdzają wystąpienie ocieplenia. Jest oczywiste, że wahania temperatury w Warszawie czy w Polsce mogą zachowywać się inaczej niż zmienność temperatury globalnej. Mapa światowego rozkładu temperatury (ryc. 2) pokazuje, że w roku 2010 dominowały temperatury powyżej długoletniej normy (1971–2000). Szczególnie wysokie zanotowano w Kanadzie i na Grenlandii. Obszary chłodniejsze od średniej z wielolecia obejmują jednak część Europy.

Ilustracja ocieplenia w Polsce w oparciu o łatwo dostępne dane nie jest możliwa (z wyjątkiem klasyfikacji termicznej miesięcy prowadzonej przez prof. H. Lorenc, www.imgw.pl). Można jednak znaleźć w internecie (www.klima-potsdam.de) przebieg długiego szeregu czasowego temperatury średniej w Poczdamie (Niemcy). Na rycinie 3 pokazano wyraźny trend ocieplenia, który przybiera na sile, choć ze względu na znaczne wahania w poszczególnych latach, wnioski



Ryc. 1. Anomalie średniej temperatury globalnej (odchylenia od średniej z wielolecia, w $^{\circ}\text{C}$) dla poszczególnych lat od 1880 do 2010 r., według GISS NASA: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/fig.A2.gif>

Fig. 1. Anomalies of mean global temperature (deviations from a long-term mean, in $^{\circ}\text{C}$), for particular years from 1880 to 2010, after GISS NASA: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/fig.A2.gif>



Ryc. 2. Anomalie średniej temperatury roku 2010 (odchylenia od średniej z wielolecia 1971–2000, w °C), według NCDC/NESDIS/NOAA

Fig. 2. Anomaly of mean temperature of the year 2010 (deviations from a long-term mean for 1971–2000, in °C), after NCDC/NESDIS/NOAA

zależą od tego, w którym roku zaczynamy, a w którym kończymy analizę. Pojedyncze lata układają się niekiedy bardzo daleko – w dół lub w górę – od linii trendu. Średnie tempo ocieplenia w ostatnich 25 latach w Poczdamie jest kilkakrotnie wyższe niż średnie tempo w ostatnich 100 latach (Kundzewicz, Huang 2010). Na przykład rok 1934 był w Poczdamie bardzo ciepły, a rok 1940 – bardzo zimny. Układ najcieplejszych lat w Poczdamie istotnie różni się od globalnego układu najcieplejszych lat. Przykładowo globalnie najcieplejszy rok 2010 wcale nie był szczególnie ciepły w Poczdamie ani w Polsce. Niemniej okazało się, że lato 2010 było najcieplejsze w skali całego kontynentu europejskiego (Barriopedro i in. 2011).

O ociepleniu globalnym świadczą nie tylko wskazania termometrów, ale także obserwacje masowego topnienia kriosfery (lądolody, lodowce morskie i górskie, trwała zmarzlina) oraz wzrost poziomu oce-

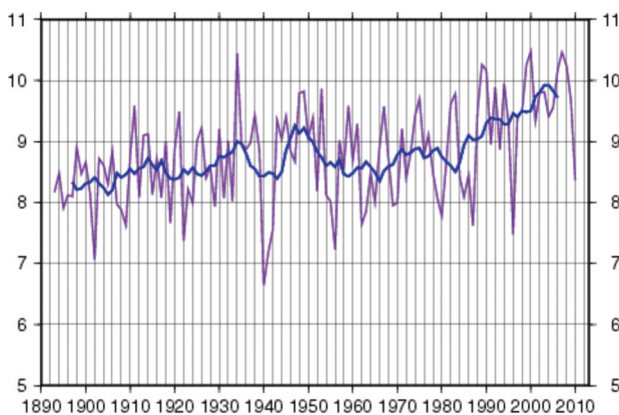
anów, i to poprzez dwa mechanizmy: cieplejsza woda zajmuje więcej miejsca, a do oceanów spływają wody z topniejących lodów.

Mechanizmy zmian klimatu

Skoro wykryto ocieplenie, zachodzi pilna potrzeba interpretacji jego mechanizmów. Kwestia ta budzi wielkie emocje i kontrowersje. Klimat zmieniał się już bowiem wielokrotnie w historii Ziemi, a okresy chłodniejsze przeplatały się z cieplejszymi. Można wyróżnić kilka grup mechanizmów odpowiedzialnych za zmiany klimatu:

1. wahania promieniowania słonecznego (aktywność Słońca, np. określana przez wskaźnik liczby plam słonecznych);
2. zmiany parametrów orbity ruchu Ziemi wokół Słońca (w skali czasowej dziesiątek tysięcy lat, a więc bez znaczenia dla obecnego ocieplenia);
3. oscylacje oceaniczne, tzn. procesy quasi-okresowych wahań procesów wymiany ciepła między atmosferą a oceanem (np. ENSO – El Niño Southern Oscillation, NAO – North Atlantic Oscillation, AMO – Atlantic Multi-decadal Oscillation i in.);
4. zmiany składu ziemskiej atmosfery (gazy cieplarniane – para wodna, dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu; pyły; aerozole);
5. zmiany właściwości powierzchni Ziemi (współczynnik odbicia, retencja wodna, przepuszczalność powierzchni, użytkowanie terenu, roślinność).

Pierwsze trzy wyżej wymienione mechanizmy geofizyczne przebiegają w sposób naturalny, bez udziału człowieka. Na pozostałe dwa wpływ mają zarówno czynniki naturalne (np. erupcje wulkanów), jak i działalność człowieka.



Ryc. 3. Średnia temperatura roczna w Poczdamie (Niemcy) dla poszczególnych lat z okresu 1893–2010 (w °C), według www.klima-potsdam.de

Fig. 3. Mean annual temperature in Potsdam (Germany) for particular years from the interval 1893–2010 (in °C), after www.klima-potsdam.de

Istnieją coraz mocniejsze przesłanki ku stwierdzeniu, że zachodzące obecnie zmiany klimatu różnią się w istotny sposób od wszystkich 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. poprzez wulkaniczną erupcję pyłów, aerozoli i dwutlenku węgla czy efekt kolizji meteorytu z powierzchnią Ziemi) (Solomon i in. 2007, Kundzewicz, Kowalczak 2008).

Zmiany klimatu aż do zakończenia ostatniej epoki lodowcowej odbywały się bez znaczącej obecności ludzkiej. Podczas wyjścia z ostatniej epoki lodowcowej na całą Ziemi żyło mniej ludzi niż dziś tylko w jednej z wielkich aglomeracji miejskich. Obecnie naszą planetę zamieszkuje około 7 mld ludzi, którzy zużywają coraz więcej energii i drastycznie zmieniają użytkowanie terenu, a w efekcie charakterystyki powierzchni Ziemi istotne w procesach przenoszenia masy i energii. 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 ludzi (oprócz chodzenia i biegu) – 1000-krotnie (Kajfez-Bogataj, informacja ustna). 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 miliony lat, jest uwalniany do atmosfery w ogromnych ilościach w postaci gazu cieplarnianego – dwutlenku węgla – w skali czasowej dziesięcioleci.

Ziemijski 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 co najmniej 650 tys. lat (Solomon i in. 2007). Nastąpiła więc intensyfikacja efektu cieplarnianego. „Dach” naszej globalnej szklarni zatrzymuje coraz więcej promieniowania długofalowego emitowanego przez Ziemię, które opuściłoby system ziemski i „uciekło” w przestrzeń kosmiczną. Zostając w atmosferze ziemskiej, energia tego promieniowania ogrzewa naszą planetę. Sam efekt cieplarniany jest dobrodziejstwem umożliwiającym bujne życie na Ziemi. Bez atmosfery zawierającej gazy cieplarniane średnia temperatura globalna na Ziemi wynosiłaby tylko -18°C , a więc byłaby o około 33°C niższa niż obecnie. Ocenia się jednak, że silne

wzmocnienie efektu cieplarnianego i znaczniejsze globalne ocieplenie spowodują wystąpienie poważnych problemów.

Dokonano szacunków zmian różnych składowych wymuszenia radiacyjnego w okresie 1750–2005 (Solomon i in. 2007). Efektywne wymuszenie radiacyjne wzrosło w tym czasie o $1,72\text{ Wm}^{-2}$, 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 współodpowiedzialne za obecne ocieplenie, ale tylko w niewielkim stopniu (7,5%) w ostatnich 250 latach (a jeszcze mniej, procentowo, w ostatnich 100 czy 50 latach). Pośród czynników antropogenicznych długowieczne gazy cieplarniane są odpowiedzialne za wzrost wymuszenia radiacyjnego o $2,64\text{ Wm}^{-2}$, ale kompensujący efekt aerozoli wyniósł $-1,2\text{ Wm}^{-2}$ (Solomon i in. 2007).

Retoryka raportów Międzyrządowej Komisji d.s. Zmian Klimatu (IPCC) uległa w ciągu ostatnich kilkunastu lat wyraźnej ewolucji, odzwierciedlającej narastające świadectwo obserwacji i postępy badań naukowych (Kundzewicz, Kowalczak 2008). W pierwszym raporcie o zmianach klimatu, opublikowanym w 1990 r., można było przeczytać o „niewielkim świadectwie odróżnialnego wpływu człowieka na klimat”. W drugim raporcie IPCC, 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 IPCC (Solomon i in. 2007), czytamy: „Większość zaobserwowanego wzrostu średniej temperatury globalnej od połowy XX wieku jest bardzo prawdopodobnie spowodowana wywołanym przez człowieka wzrostem stężenia gazów cieplarnianych”. Terminy „prawdopodobnie” (w roku 2001) i „bardzo prawdopodobnie” (w roku 2007), użyte w kontekście raportów IPCC, mają ściśle określone znaczenie, mierzone prawdopodobieństwem odpowiednio: ponad 66% (2001) i ponad 90% (2007). Brak jest alternatywnego poważnego wyjaśnienia przyczyn ocieplenia w ostatnich dekadach.

Efekt cieplarniany nasila się, bo w atmosferze jest coraz więcej dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych. W roku 2011 sezonowe minimum stężenia CO_2 na Mauna Loa przekraczało 386 ppm, a maksimum 394 ppm wobec wartości stężenia 280 ppm w epoce przedprzemysłowej. Dlatego możliwy był rekord globalnej temperatury w roku 2010, mimo że czynniki naturalne odpowiadające za kształtowanie klimatu wcale nie tłumaczą wystąpienia rekordowo ciepłego (globalnie) roku 2010. Poziom aktywności Słońca był niski (mała liczba plam). Oscylacje oceaniczne też nie tłumaczyły wysokiej temperatury globalnej w roku 2010, bo ciepła faza cyklu ENSO (tzw. El Niño), powodująca wzrost temperatury globalnej,

skończyła się już wczesnym latem 2010, ustępując dość silnej, chłodnej fazie La Niña.

Detekcja globalnych zmian klimatu, a jeszcze bardziej – wyjaśnienie ich przyczyn, nie są łatwe ze względu na silną zmienność naturalną i istnienie różnych mechanizmów wpływających na klimat. Jakiegokolwiek stwierdzenia związane z przebiegiem klimatu w przeszłości, a tym bardziej – projekcje na przyszłość obarczone są więc dość znaczną dozą niepewności. Na tym gruncie pojawiają się i żyją własnym życiem rozmaite koncepcje, czasem nieuzasadnione naukowo, ale interesujące medialnie, które trafiają do literatury pozanaukowej, niepodlegającej recenzowaniu przez ekspertów.

Konsekwencje zmian klimatu

Ocieplenie, i to w różnych skalach czasowych, nie ulega wątpliwości. Zaobserwowano już ważne konsekwencje ocieplenia. Choć globalne zmiany klimatu utożsamia się potocznie ze wzrostem temperatury, w istocie zmieniają się wszystkie elementy sprzężonych systemów klimatu i zasobów wodnych, a w efekcie – także wielu systemów fizycznych, biologicznych i ludzkich (społeczno-ekonomicznych). Dotyczy to m.in. kriosfery, systemów wodnych, wybrzeży, klęsk żywiołowych, ekosystemów, rolnictwa i zdrowia (Rosenzweig i in. 2007).

Bardzo silne zmiany wynikające z ocieplenia dostrzeżono powszechnie w kriosferze (lodowcach i lodach, pokrywie śnieżnej i zmarzlinie), która kurczy się wraz z postępującym ociepleniem. Lodowce cofają się z szybkością większą niż kiedykolwiek w ciągu ostatnich 5 tys. lat, a tempo topnienia rośnie w czasie. W efekcie wzrasta odpływ rzeczny, a woda morska wysładza się. Zaobserwowana degradacja wiecznej zmarzliny prowadzi do katastrof infrastruktury (np. na Syberii), a słabsza pokrywa lodowa na rzekach i jeziorach zmniejsza możliwość użycia zamrożonych akwenów jako dróg kołowych. Na niższych wysokościach obserwujemy mniej śniegu (zagrożenie dla narciarstwa), choć i tu występują znaczne odchylenia od trendu w poszczególnych latach. Na półkuli północnej okres zlodzenia jezior i rzek ulega skróceniu.

Na liście lat z najmniejszą powierzchnią lodu arktycznego (minimum obserwuje się we wrześniu) prowadzi na razie rok 2007, a wszystkie trzy następne lata zajmują miejsca w pierwszej czwórce. W końcu lipca 2011 r. zanosiło się na to, że we wrześniu tego roku może zostać pobity rekord najmniejszej powierzchni lodu arktycznego z roku 2007. Mniejsza powierzchnia zlodzenia przekłada się na powstanie nowych możliwości transportu poprzez niedostępną dotąd północną drogę morską. W wyniku rozszerzalności cieplnej oraz topnienia kriosfery podnosi się poziom oceanów. W czasie ostatniej dekady poziom

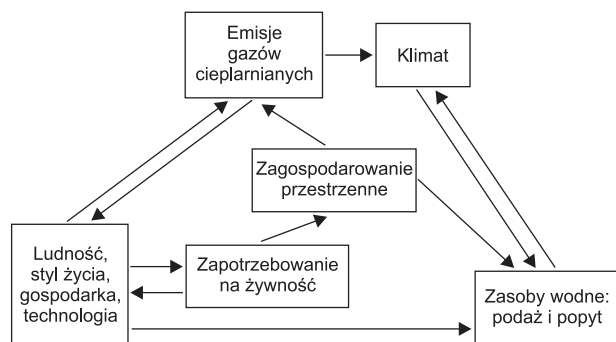
oceanów wzrastał o 3 mm/rok wobec 1,7 do 1,8 mm/rok w ciągu ostatniego stulecia.

Zgodnie z prawami termodynamiki, w cieplejszym klimacie rośnie intensywność opadów – dłuższe okresy posuszne przedzielane są więc intensywnymi opadami, co powoduje niekorzystne konsekwencje. Ponieważ jednak zmiany opadu czy wiatru są dużo bardziej skomplikowane, potrzeba wielkiej precyzji w formułowaniu stwierdzeń dotyczących konsekwencji tych zmian. Niemniej tam, gdzie rośnie intensywność opadów, rośnie ryzyko powodziowe. Globalnie znacznie zwiększyła się powierzchnia obszarów dotkniętych silną suszą (Rosenzweig i in. 2007).

Zaobserwowano istotne zmiany w systemach biologicznych. Najłatwiej można dostrzec zmiany fenologiczne, takie jak np. zmiany faz fizjologicznych roślin – rozwijania się liści, kwitnienia, dojrzewania owoców, oraz aktywności fauny – pojawiania się motyli, rozrodu zwierząt czy czasu przylotów i odlotów ptaków. Z powodu ocieplenia, a także w związku z możliwością łatwiejszego znalezienia pokarmu, niektóre ptaki nie odlatują już na zimę, choć temperatury zimy mocno się wahają, np. podczas ostatnich dwóch zim 2009/10 i 2010/11 odnotowano w Polsce szereg bardzo mroźnych nocy. Zmiany klimatu mogą sprawić, że warunki wykrócą poza zakres tolerancji gatunków, np. poprzez przerwanie łańcuchów troficznych. Stwierdzono zmianę zasięgu gatunków (ku biegunom i ku wierzchołkom gór). Jeśli adaptacja do postępujących zmian klimatu nie jest możliwa, zagraża redukcja różnorodności biologicznej i wyginięcie gatunków. Wysoka temperatura jest zagrożeniem dla raf koralowych – podczas najcieplejszych lat już zauważono silne blaknięcie koralów. Utrudnione zdobywanie pożywienia w coraz dłuższych okresach bez lodu zagraża niedźwiedziom polarnym, które są uzależnione od występowania lodu morskiego. Dane satelitarne pokazują, że globalna produkcja pierwotna netto wzrosła wraz z ociepleniem w ciągu ostatnich dziesięcioleci (Rosenzweig i in. 2007, Kundzewicz, Kowalczak 2008).

Efekty zmian klimatu obserwuje się w rolnictwie i leśnictwie. Następują zmiany fenologii roślin uprawnych oraz zasięgu szkodników. W Polsce, a także Europie Środkowej i Północnej, wzrosła długość sezonu wegetacyjnego, a to wpływa na przesunięcie kalendarza upraw i praktyk rolniczych. Poprawiają się warunki do uprawy winogron (i jakość wina) na wielu obszarach. Jednak w krajach Sahelu, redukcja opadów i wzrost temperatury powodują skrócenie sezonu upraw i spadek plonów (zob. Kundzewicz, Kowalczak 2008).

Rosną negatywne skutki zdrowotne i śmiertelność wywołana falami upału w Europie jako łączny efekt wzrostu temperatury i starzenia się społeczeństwa. W ostatnim dziesięcioleciu zanotowano w Europie dziesiątki tysięcy dodatkowych zgonów podczas fal upałów w roku 2003 i 2010. Coraz silniejsze i



Ryc. 4. Uproszczony schemat powiązań między systemami wpływającymi na klimat i zasoby wodne (wg Kundzewicza, Kowalczyka 2008)

Fig. 4. Simplified scheme of connections between systems influencing climate and water resources (after Kundzewicz and Kowalczyk, 2008)

częstsze fale upałów, w połączeniu z zanieczyszczeniem powietrza i alergenami, dają się szczególnie we znaki osobom starszym i chorym oraz małym dzieciom. Zaobserwowano zmiany zasięgu niektórych wektorów, np. kleszcz występuje obecnie w Skandynawii znacznie bardziej na północ w porównaniu z tradycyjnym zasięgiem. Globalne straty spowodowane klęskami żywiołowymi związanymi z klimatem mają silną tendencję wzrostową, choć – poza zmianami klimatu – mechanizmy rosnącego ryzyka obejmują inne czynniki, takie jak np. antropopresja (Rosenzweig i in. 2007, Kundzewicz, Kowalczyk 2008).

W globalnym supersystemie „wszystko jest połączone ze wszystkim” (ryc. 4). W istocie przedstawiony na rycinie 4 schemat, który mógłby zawierać jeszcze więcej zarówno połączonych systemów, jak i powiązań między nimi, ilustruje tylko najważniejsze kwestie. Oprócz zmian klimatu istnieje szereg innych czynników, których działanie na ogół potęguje (rzadziej osłabia) efekty zmian klimatu.

Projekcje na przyszłość

Badania z użyciem modeli matematycznych wzmacniają argumenty o antropogenicznym podłożu obecnych zmian klimatu. 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, używając modeli, zasadnicze cechy zaobserwowanego przebiegu temperatury globalnej. Natomiast zakładając wyłącznie wymuszenia naturalne, nie jesteśmy w stanie wytłumaczyć wzrostu temperatury w ciągu ostatnich 40 lat (Solomon i in. 2007). 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, choć odchylenia od trendu (nawet dość silne) w krótkich okresach są rzeczą normalną. Dlatego nie należy wyciągać pochopnych wniosków z obserwacji pojedynczego okresu, np. dnia, sezonu, miesiąca czy roku, o temperaturze znacznie poniżej lub powyżej długoletniego zakresu zanotowanych wartości. 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 faza La Niña może być związana z przejściowym spadkiem temperatury poniżej krzywej trendu.

Jeżeli działalność człowieka jest odpowiedzialna za przeważającą część obecnego ocieplenia, to poprzez odpowiednie kształtowanie ludzkiej działalności można próbować ograniczać ocieplenie w dalszej perspektywie. Ponieważ jednak globalny system klimatyczny cechuje się znaczną bezwładnością, nie jesteśmy w stanie skutecznie wpływać na klimat najbliższych dziesięcioleci. Można więc oczekiwać globalnego ocieplenia rzędu 0,2°C na dziesięciolecie. Natomiast wielkość ocieplenia w następnych dekadach będzie można ograniczyć poprzez skuteczną politykę ochrony klimatu, tzn. redukcję emisji gazów cieplarnianych i zwiększenie ich wiązania, podjęte odpowiednio wcześniej. Pozwoli 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 temperatury (Christensen i in. 2007) wskazują znaczne i postępujące ocieplenie dla całego globu, w tym dla Europy i Polski. Projekcje ocieplenia w Europie dotyczą wszystkich pór roku, ale w zimie wzrost temperatury będzie najsilniejszy, choć właśnie w zimie odchylenia od trendu są najbardziej znaczące, bowiem zdarzają się zimy bardzo mroźne i bardzo łagodne. W horyzoncie czasowym najbliższych dziesięcioleci zakres projekcji zmian temperatury uzyskany za pomocą modeli klimatycznych jest stosunkowo wąski dla różnych scenariuszy. Modele klimatu zgadzają się co do kierunku zmian temperatury, ale niekoniecznie co do wartości, przewidując wsze-

dzie ocieplenie. Przy założeniu scenariusza A1B rozwoju społeczno-ekonomicznego, od którego zależą emisje gazów cieplarnianych, projekcje wzrostu temperatury średniej w Europie dla okresu 2019–2059, w porównaniu z okresem bazowym 1961–1990, wahają się od nieco ponad 2°C na południu Europy do ponad 5°C na północy.

Wyższa jest niepewność projekcji opadu i zmiennych zależnych od opadu. W wysokich szerokościach geograficznych i w części strefy tropikalnej modele klimatyczne zgodnie symulują kierunek zmian, przewidując wzrost opadu. Na niektórych obszarach podzwrotnikowych i średnich szerokości geograficznych (np. basen Morza Śródziemnego) modele klimatyczne pokazują identyczny kierunek zmian, przewidując spadek opadu. Między tymi strefami zgodnego wzrostu i zgodnego spadku leżą jednak obszary o znacznej niepewności projekcji opadu, dla których symulacje z użyciem różnych modeli klimatycznych nie są zgodne co do kierunku zmian.

Istnieją liczne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu niektóre ekstrema związane z pogodą zarówno krótko-, jak i długookresowe (np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i tropikalne cyklony) stają się bardziej ekstremalne.

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. Projekcje wskazują, że lekkie ocieplenie może 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. Przyszłe zmiany klimatu odbijają się negatywnie na zdrowiu ludzi. Zmieni się też zasięg chorób, które w określonych miejscach nie rozwijały się w chłodniejszym klimacie, także przenoszonych przez owady. Można oczekiwać globalnego wzrostu niedożywienia i negatywnych skutków zdrowotnych ostrzejszych ekstremów klimatycznych.

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 dla północy, a powiększą drugie – będą więc niekorzystne dla południa.

Postępujące ocieplenie klimatu Polski wydaje się przesądzone (Christensen i in. 2007), i to dla wszystkich pór roku, przy czym w zimie wzrost temperatury będzie najsilniejszy. Można oczekiwać, że wzrost średniej temperatury rocznej w Polsce będzie wyższy niż wzrost temperatury globalnej. Projekcje zmian klimatu na obszarze Polski wskazują, że istnieje szereg zagrożeń, takich jak fale upałów, opady inten-

sywne, powodzie i osuwiska, susze w sezonie wegetacyjnym i zimowym, silne wiatry, rozwój patogenów związany z ociepleniem, wzrost poziomu morza, choć można dostrzec i korzystne zjawiska, takie jak wyższa temperatura wody w morzu i w jeziorach sprzyjająca kąpielom, mniejsza śmiertelność zimą, mniejsze zużycie opału na ogrzewanie pomieszczeń (por. Starkel, Kundzewicz 2008).

Przeciwdziałanie zmianom klimatu i adaptacja do zmian

Na wielu obszarach rośnie wyrazistość niekorzystnych skutków zmian klimatu. Prawdopodobieństwo dotkliwych konsekwencji tych zmian nasila się wraz ze wzrostem ich szybkości i amplitudy. Ocenia się, że przy znacznie większym ociepleniu straty przeważałyby nad korzyściami. Istotna jest jednak także nierównomierność rozkładu – kraje rozwinięte mogą skorzystać, ale straci większość krajów rozwijających się (Parry i in. 2007, Stern 2007). Wielu niekorzystnych konsekwencji w niektórych sektorach i regionach można uniknąć, osłabić je czy też opóźnić poprzez implementację skutecznej polityki zapobiegania zmianom klimatu. Dlatego ograniczanie wzrostu atmosferycznych stężeń dwutlenku węgla, metanu i podtlenku azotu wydaje się niezbędnym działaniem w celu złagodzenia tempa zmian klimatu i ich niekorzystnych skutków. Potrzebne jest skoordynowane i globalne działanie w kierunku powstrzymania intensyfikacji efektu cieplarnianego, spowodowanego w znacznej mierze wzrostem spalania węgla, ropy i gazu, a także wylesieniem. Dotyczy to w szczególności sektorów odpowiedzialnych za znaczną emisję gazów cieplarnianych, takich jak: energia, rolnictwo (emisje metanu i podtlenku azotu), transport, osadnictwo, gospodarka odpadami, sektor handlu i usług.

Ambitnym, acz mało realnym celem w zakresie przeciwdziałania globalnemu ociepleniu, zaproponowanym przez Unię Europejską jest ograniczenie ocieplenia do względnie bezpieczniejszej wartości nieprzekraczającej 2°C, w horyzoncie roku 2100, w porównaniu z okresem przedprzemysłowym, czyli o nie więcej niż 1,5°C w porównaniu z okresem 1980–1999. Bez polityki radykalnej ochrony klimatu ocieplenie do roku 2100 może być znacznie wyższe.

Krokiem w kierunku ograniczenia ocieplenia jest pakiet energetyczno-klimatyczny Unii Europejskiej, zakładający redukcję emisji gazów cieplarnianych w UE o przynajmniej 20% do 2020 r. w porównaniu do poziomu roku 1990. Do roku 2020 co najmniej 20% energii powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych, a efektywność energetyczna winna wzrosnąć o co najmniej 20%. Unia Europejska nawołuje także do globalnej redukcji emisji o 50% do 2050 r. Jednak sama Europa, która emituje do atmosfery tylko kilkanaście procent światowego ładunku gazów cieplarnianych,

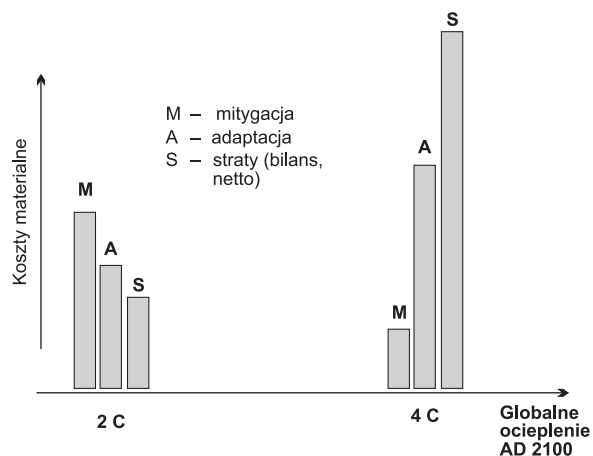
nianych, nie ochroni ziemskiego klimatu. Potrzebne są działania w krajach, które emitują najwięcej gazów cieplarnianych – w Chinach i USA (Kundzewicz, Kowalczak 2008).

Konieczne są światowe uzgodnienia dotyczące ram ograniczeń (idące znacznie dalej niż Protokół z Kioto), a następnie działania 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 towarzyszące symptomy.

Kosztów zapobiegania ociepleniu nie da się uniknąć. Ale ekonomiści oceniają, że koszty zaniechania będą wyższe niż koszty przeciwdziałania globalnemu ociepleniu (Parry i in. 2007, Stern 2007). Z obszernego studium podjętego w Wielkiej Brytanii (Stern 2007) wynika, że roczne straty spowodowane zmianami klimatu wzrosną do przynajmniej 5% światowego produktu, a rozważając szerszy wachlarz skutków i mniej prawdopodobne warianty – nawet do 20% i więcej. Natomiast koszt redukcji gazów cieplarnianych, umożliwiając uniknięcie najgorszych skutków zmian klimatu, wyniesie około 1% światowego produktu, zakładając, że celem jest ograniczenie maksymalnych stężeń dwutlenku węgla w atmosferze do 450–550 ppm CO₂-eq. Znaczna redukcja emisji winna nastąpić w ciągu najbliższych 10 lat. Jeśli tak się nie stanie, późniejsza redukcja musiałaby być dużo bardziej restrykcyjna, a więc bardziej kosztowna. Koszty zależą 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 spowodują zmiany, zarówno korzystne, jak i niekorzystne, we wszystkich regionach świata i we wszystkich sektorach i systemach. Zatem będą „wygrani” i „przegrani”. Konieczna jest adaptacja do zmieniających się warunków. „Wygrani” powinni wykorzystywać szanse stworzone przez zmiany klimatu, a „przegrani” – zredukować negatywne skutki. „Przegranymi” jest już sporo i ich liczba rośnie w przeobrażającym się klimacie.

Bez efektywnej polityki klimatycznej (tzw. mitygacji) ocieplenie w horyzoncie roku 2100 będzie zapewne znacznie wyższe niż 2°C – dla uproszczenia można je określić jako 4°C. A więc, można porównać dwa skrajne warianty rozwoju sytuacji (ryc. 5: ocieplenie dwustopniowe – dość wysokie koszty przeciwdziałania ociepleniu, czyli mitygacji, ale stosunkowo niższe koszty adaptacji i niższe straty – lub ocieplenie czterostopniowe – „oszczędzamy” na mitygacji, ale ponosimy znacznie wyższe koszty adaptacji i strat).



Ryc. 5. Schematyczne porównanie dwóch wariantów ocieplenia w horyzoncie roku 2100, o 2°C i o 4°C ponad poziom przedprzemysłowy

Fig. 5. Schematic comparison of two variants of warming in the time horizon of the year 2100, by 2°C and by 4°C above the pre-industrial level

Można ogólnie uznać, że człowiek zaadaptował się do już istniejącego klimatu, więc każda zmiana wymaga potencjalnie kosztownego dostosowania się do nowych warunków. Istnieje szereg ogólnych reguł dotyczących adaptacji, które obowiązują w Unii Europejskiej, a więc musi się do nich stosować Polska. Jedną z nich jest zasada przeczności (ang. *precautionary principle*), która określa, jak postępować w warunkach niepewności. Mimo znacznej niepewności projekcji skutków zmian klimatu, Unia Europejska forsuje potrzebę przygotowań do adaptacji. Choć adaptacja do konsekwencji zmian klimatu jest w istocie regionalna i lokalna, ważne jest stworzenie sprzyjającego środowiska i promowanie dobrych przykładów przez Komisję Europejską. Spośród uregulowań UE dokumentem o istotnym znaczeniu w kontekście adaptacji do zmian klimatu jest Dyrektywa Powodziowa UE (Dyrektywa... 2007), która wymusza ocenę ryzyka powodzi, stworzenie map ryzyka i potencjalnych strat, a także przygotowanie działań w kierunku gospodarowania (zarządzania) ryzykiem powodziowym (ang. *flood risk management*).

Zmiany klimatu istotnie zwiększają zakres niepewności, wykraczając poza obszar objęty poprzednimi doświadczeniami. Przygotowanie do skutków zmian klimatu dotyczy poszczególnych sektorów (planowanie przestrzenne, 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, pożary, epidemie), złożonych z systemów prognozy, prewencji, przygotowania, odpowiedzi i wychodzenia z kryzysu.

Odpowiednio przemyślane działania zapobiegające zmianom klimatu i przeciwdziałające nieko-

rzystnym skutkom (adaptacja do zmian klimatu) mogą i powinny być integralną częścią trwałego i zrównoważonego rozwoju i wzmacniać się wzajemnie. Istnieje szereg powodów (nie tylko zmiany klimatu), dla których warto oszczędzać energię, wodę i surowce. Ograniczenie zużycia surowców energetycznych jest korzystne dla trwałego rozwoju (więcej surowców zostanie dla przyszłych pokoleń), dla ogólnej ochrony środowiska (np. uciążliwość kopalni odkrywkowych), dla czystości powietrza (emisje SO₂) czy też dla poprawy zdrowotności (zmniejszenie zachorowalności wskutek zanieczyszczenia powietrza, spadek wypadków w górnictwie). Również ze wszech miar korzystne jest powiększanie retencji wodnej, zwłaszcza – małej retencji, np. oczka wodne, mokradła.

W niektórych przypadkach środek korzystny dla przeciwdziałania zmianom klimatu nie jest korzystny z punktu widzenia adaptacji do zmian klimatu, i na odwrót. Klimatyzacja zapewnia względny komfort termiczny podczas fal upałów (adaptacja), ale nie jest korzystna dla przeciwdziałania ociepleniu, bo wymaga użycia znacznych ilości energii, a więc prowadzi do intensyfikacji efektu cieplarnianego.

Ochrona klimatu przez wiązanie węgla w roślinności może prowadzić do wzrostu problemów ze spadkiem dyspozycyjnych zasobów wody ze względu na wysokie parowanie i transpirację lasu. Wielka retencja wody np. w zbiornikach zaporowych jest korzystna zarówno dla adaptacji, jak i ochrony klimatu. Jednak istnieją inne aspekty ograniczające stosowalność tego rozwiązania (konsekwencje ekologiczne, uniemożliwienie migracji ryb, konieczność przesiedlenia ludności), które *nota bene* jest bardzo kosztowne.

Do obszarów „specjalnej troski”, które wymagają opracowania szczegółowych zintegrowanych i długofalowych programów przeciwdziałania skutkom zmian klimatu w Polsce, można zaliczyć następujące (Starkel, Kundzewicz 2008):

- obszary górskie – generujące powodzie, odprowadzające nadwyżki wody;
- strefa wybrzeża Bałtyku – objęta podniesieniem poziomu morza;
- dna dolin rzecznych – wymagające ochrony, a szczególnie wycofania zabudowy z obszarów zalewowych.

Adaptacja do zmian klimatu w Polsce (Starkel, Kundzewicz 2008) obejmować będzie poprawę ochrony przed skutkami wzrostu częstotliwości zdarzeń ekstremalnych (opadów intensywnych i susz). Adaptacja w rolnictwie obejmuje dostosowanie upraw do zmieniających się warunków i wahań termicznych oraz opadowych, np. wprowadzanie upraw ciepłolubnych i odpornych na suszę; dostosowanie upraw do ekstremalnych warunków (por. Szwed i in. 2010). Przebudowa drzewostanów leśnych na wielogatunkowe umożliwi ochronę przed wiatrolomami i szkodnikami. Należy dostosować budownictwo do częstszego występowania silnych wia-

trów, ekstremalnych upałów, a sieć drogową (przepusty, mosty itp.) i kanalizacyjną do wystąpienia gwałtownych opadów o dużym natężeniu. Prawdopodobne jest przesunięcie turystyki „plażowej” nad Morzem Śródziemnym na porę wiosenną i jesienną, by uniknąć upalnych miesięcy letnich, w czasie których warunki pogodowe nad Bałtykiem mogą być korzystniejsze do turystyki nadmorskiej. Jest to szansa, o ile uda się utrzymać odpowiednią jakość wody.

Uwagi końcowe

Nie ulega wątpliwości, że klimat ociepla się w każdej skali przestrzennej, od globalnej do punktowej, i że większość zaobserwowanych przejawów ocieplenia w ostatnim 50-leciu jest prawdopodobnie wynikiem wzrostu atmosferycznego stężenia gazów cieplarnianych, wywołanego przez człowieka. Projekcje na przyszłość przewidują kontynuację, a nawet wzmocnienie ocieplenia, co spowoduje zarówno skutki korzystne, jak i niekorzystne. Te ostatnie będą rosły globalnie wraz z poziomem ocieplenia. Projekcje są jednak niepewne ilościowo, choć pod względem jakościowym zmiany są przewidywalne.

W Polsce zmiany klimatu niosą szanse. Za pozytywne efekty można uznać bardziej przyjazną dla amatorów kąpieli wyższą temperaturę wody w Bałtyku czy jeziorach Pojezierza Mazurskiego, a zimą – mniejszą zachorowalność i śmiertelność, oszczędność na opale oraz rosnącą możliwość uprawy ciepłolubnych roślin (choć bardzo mroźne zimy, mimo że będą występowały rzadziej, ciągle mogą się zdarzyć). Są jednak 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 działalności człowieka, a niekorzystne dla innych. Brak śniegu 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.

Per saldo, Polska na pewno nie będzie wielkim przegrany w obliczu zmieniającego się klimatu, jednak np. problemy z wodą, w tym – istniejące już zagrożenia ekstremami wodnymi: suszami i powodzią (szczególnie typu opadowego) – mogą się nasilić. Trzeba będzie optymalnie „zagospodarować” zmiany korzystne, a skutecznie zaadaptować się do zmian niekorzystnych. Potrzebna jest jednak wielka rozważa i dyplomatyczna zręczność, by wynegocjować w Unii Europejskiej takie warunki zobowiązań dotyczących polskiego wkładu w przeciwdziałanie zmianom klimatu, które nie przyhamują społeczno-gospodarczego rozwoju Polski. Nasz kraj „węglem stoi”, więc perspektywa wysokiego opodatkowania emisji dwutlenku węgla i zagrożenie tzw.

„wyciekaniem węgla” (ang. *carbon leakage*), a w konsekwencji utrata miejsc pracy w Polsce na rzecz krajów, które nie uczestniczą w światowym przeciwdziałaniu zmianom klimatu, mogą być powodem do obaw. Nie może być tak, że dla Polski kuracja okaże się gorsza od choroby. Nasza wiedza na temat przyszłych warunków jest jednak wciąż bardzo ograniczona i obciążona znacznym elementem niepewności.

Literatura

- Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R.M., Garcia-Herrera, R. 2011. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, 332: 220–224.
- Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W., Laprise R., Rueda V.M., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P. 2007. Regional Climate Projections. W: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (red.), *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, United Kingdom and New York, NY, USA, 847–940.
- Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- Kundzewicz Z.W., Huang S. 2010. Seasonal temperature extremes in Potsdam. *Acta Geophys.*, 58: 1115–1133, DOI: 10.2478/s11600-010-0026-5.
- Kundzewicz Z.W., Kowalczyk P. 2008. *Zmiany klimatu i ich skutki*. Wyd. Kurpisz, Poznań, 206 str.
- Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., Hanson C.E., van der Linden P.J. (red.) 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Rosenzweig C., Casassa G., Karoly D.J., Imeson A., Liu C., Menzel A., Rawlins S., Root T.L., Seguin B., Tryjanowski P. 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. W: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson (red.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, s. 79–131.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (red.) 2007. *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.
- Starkel L., Kundzewicz Z.W. 2008. Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka*, 1/2008: 85–101.
- Stern N. 2007. *The Economics of Climate Change (The Stern Review)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Szwed M., Karg G., Pińskwar I., Radziejewski M., Graczyk D., Kędziora A., Kundzewicz Z.W. 2010. Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, 10: 1725–1737, doi: 10.5194/nhess-10-1725-2010.
- Zorita E., Stocker T., von Storch H. 2008. How unusual is the recent series of warm years? *Geophys. Res. Lett.* 35, L24706, doi:10.1029/GL036228.