

Zbigniew W. Kundzewicz^{1,2}, Andrzej Kędziora¹

¹*Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu*

²*Poczdamski Instytut Badań nad Konsekwencjami Klimatu w Poczdamie (Niemcy)*

ZMIANY KLIMATU I ICH WPŁYW NA ŚRODOWISKO I GOSPODARKE (OBSERWACJE I PROJEKCJE)

Przyczyny zmian klimatu

Klimat naszej planety zmieniał się wielokrotnie w historii, a okresy chłodniejsze przeplatały się z cieplejszymi. Przyczyny zmian klimatu można podzielić na następujące cztery grupy:

- wahania promieniowania słonecznego (aktywność Słońca),
- zmiana parametrów ruchu Ziemi wokół Słońca (cykle zmian mimośrodowej eliptycznej orbity, precesji i kąta nachylenia osi ziemskiej do płaszczyzny ekliptyki),
- zmiana składu atmosfery ziemskiej (gazy cieplarniane, pyły, aerozole),
- zmiana właściwości powierzchni Ziemi (współczynnik odbicia, retencja wodna, zmiana użytkowania terenu).

Na pierwsze dwie przyczyny człowiek nie ma wpływu, przebiegają one bowiem w sposób naturalny. Na pozostałe dwa mechanizmy wpływ mają zarówno czynniki naturalne, jak i człowiek.

Niektórzy twierdzą, że obecne zmiany klimatu nie są niczym szczególnym, podobnie jak wiele poprzednich. Istnieją jednak mocne przesłanki ku stwierdzeniu, że obecne ocieplenie różni się w istotny sposób od wielu wcześniejszych okresów wzrostu temperatury. Te wcześniejsze wywołane były bowiem zmianami naturalnymi: aktywnością Słońca, okresową zmianą parametrów orbitalnych, czy naturalną zmianą składu ziemskiej atmosfery (np. w wyniku megaerupcji wulkanu lub uderzenia wielkiego meteorytu w powierzchnię Ziemi). Poprzednie zmiany odbywały się więc bez znaczącej obecności ludzkiej, np. podczas wyjścia z ostatniej epoki lodowcowej ludzi na całość Ziemi było mniej niż teraz w jednym wielkim mieście. Ludzie nie obciążali więc w istotny sposób systemu ziemskiego. W zmianach klimatu ważną rolę odgrywały sprzężenia zwrotne związane z właściwościami powierzchni Ziemi (lód i śnieg, zmarzlina, roślinność).

Za zachodzące obecnie zmiany klimatu w znacznej mierze odpowiedzialne są działania ludzkie, które spowodowały nie tylko wyraźną intensyfikację efektu cieplarnianego, ale, co ważniejsze, w wyniku istotnych zmian charakteru powierzchni Ziemi zmieniły strukturę bilansu cieplnego systemu Ziemia – atmosfera. Zmniejszenie obfi-

tości szaty roślinnej spowodowało zmianę struktury bilansu cieplnego, polegającą na zwiększaniu się strumienia ciepła jawnego kosztem ciepła utajonego. Transformacja strumienia energii słonecznej w strumień ciepła utajonego nie skutkuje zmianami temperatury w warstwie atmosfery przy powierzchniowej. Powoduje natomiast wzrost temperatury wyższych warstw stratosfery i w efekcie większe wypromieniowanie ciepła przez system ziemski. Jest to bardzo istotny mechanizm stabilizujący warunki energetyczne systemu. Natomiast wzrost strumienia ciepła jawnego skutkuje wzrostem temperatury powierzchni Ziemi i warstw atmosfery do niej przyległych, nie powoduje natomiast wzrostu temperatury wyższych warstw troposfery. W efekcie przyczynia się do gromadzenia zasobów energetycznych w warstwach przy powierzchniowych atmosfery ziemskiej.

Na świecie żyje dziś niemal 7 miliardów ludzi, którzy zużywają coraz więcej energii i drastycznie zmieniają powierzchnię Ziemi. Rosną więc emisje i atmosferyczne stężenie dwutlenku węgla (wskutek wzrostu spalania węgla, ropy i gazu, a także ograniczenia możliwości wiązania węgla przez roślinność, spowodowanego wylesieniem, zwłaszcza w tropikach), metanu (produkcja ryżu, chów bydła, topnienie wiecznej zmarzliny) i podtlenku azotu (rolnictwo). W efekcie „dach” naszej globalnej szklarni zatrzymuje coraz więcej promieniowania długofalowego emitowanego przez Ziemię, które opuściłoby system ziemski. Brak jest alternatywnego sposobu poważnego wyjaśnienia przyczyn wzrostu temperatury w ostatnich dekadach.

W najnowszym raporcie Międzyrządowej Komisji Zmian Klimatu (IPCC 2007) zawierającym ocenę bieżącego stanu wiedzy o zmianach klimatu, ich konsekwencjach oraz możliwościach adaptacji i przeciwdziałania, znajdujemy mocne stwierdzenie: „Większość zaobserwowanego wzrostu średniej temperatury globalnej od połowy XX wieku jest bardzo prawdopodobnie¹ spowodowana wywołanym przez człowieka wzrostem stężenia gazów cieplarnianych”.

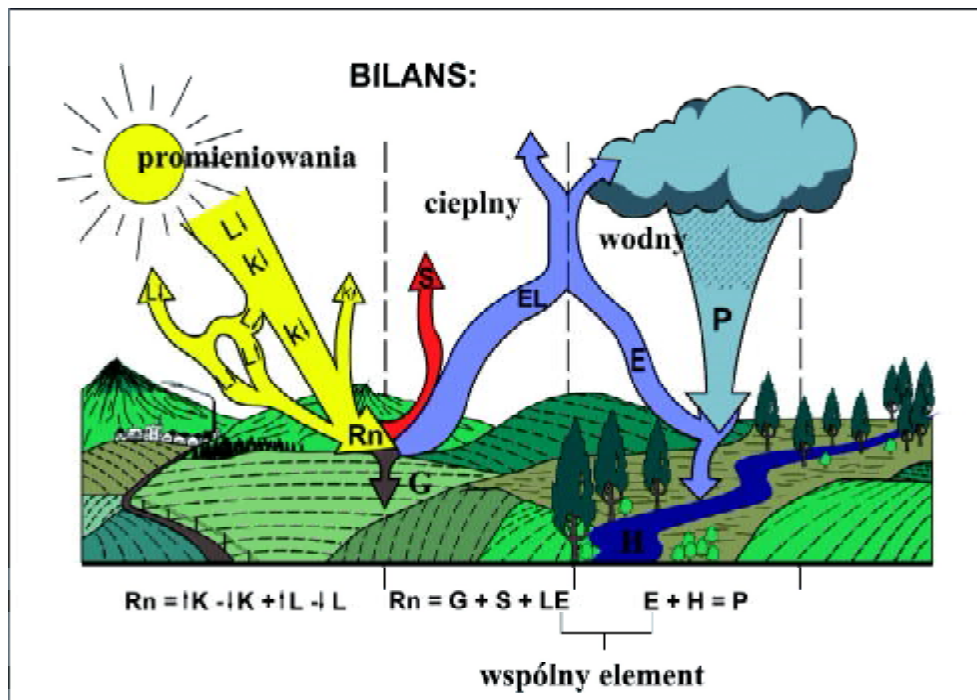
Zachowanie atmosfery zależy od jej składu – atmosfera odpowiada na to, co do niej wpuszczamy (gazy cieplarniane, pyły i aerozole) – oraz od tego, co znajduje się pod nią, na powierzchni Ziemi (klimat reaguje więc na użytkowanie terenu). Szczególnie istotna jest obecność (lub nieobecność) wody i szaty roślinnej (7). Woda dzięki wysokiemu ciepłu utajonemu przemian fazowych jest naturalnym czynnikiem łagodzącym klimat, natomiast szata roślinna jest czynnikiem wpływającym na rozdział energii słonecznej na utajony i jawny strumień ciepła.

Nie istnieje obecnie żaden poważny sposób wytłumaczenia zaobserwowanego wzrostu temperatury globalnej oprócz intensyfikacji tzw. efektu cieplarnianego (w wyniku wprowadzenia przez ludzi dużych ilości gazów cieplarnianych do atmosfery) oraz zubożenia szaty roślinnej planety. Od czasu rewolucji przemysłowej ludzkość przeprowadza eksperyment w skali planetarnej poprzez wprowadzanie do atmosfery ogromnych ilości dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych oraz wylesienie w wielkiej skali, prowadzące do zmniejszenia możliwości wiązania dwutlenku węgla

¹według autorów (Z.W. Kundzewicz i A. Kędziora) interpretacja terminu „bardzo prawdopodobnie” = ponad 90%.

przez rośliny. Węgiel z paliw kopalnych, które powstawały w skorupie ziemskiej przez wiele milionów lat jest uwalniany do atmosfery w postaci dwutlenku węgla w skali czasowej dziesięcioleci.

Ponieważ bilans cieplny i bilans wodny systemu ziemskiego są ze sobą ściśle powiązane poprzez strumień ciepła utajonego (w bilansie cieplnym) i strumień pary wodnej (w bilansie wodnym) każda zmiana w jednym z tych bilansów wywołuje zmianę w drugim (rys. 1).



Rys. 1. Ciepły i wodny bilans promieniowania

Źródło: opracowanie własne.

Zmiany wartości strumieni promieniowania na powierzchni Ziemi, kształtujące transport ciepła i masy (wody), mają wpływ na cykl hydrologiczny. Wzmagający się efekt cieplarniany i ocieplenie wywierają wyraźny wpływ na wszystkie procesy składające się na obieg wody w przyrodzie, w tym na proces przepływu rzecznoego, który stanowi najczęściej stosowaną charakterystykę odnawialnych zasobów wodnych, na jego wartość średnią, rozkład sezonowy i charakterystyki zmienności.

Obserwacje zmian klimatu i ich skutków

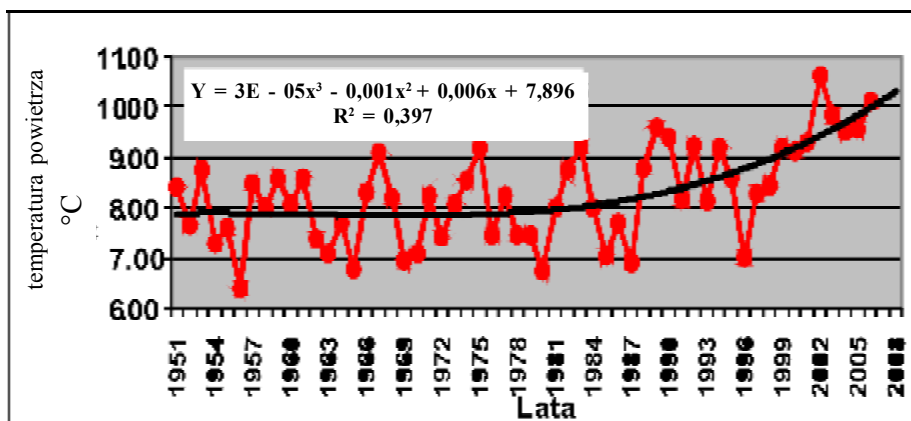
Istnieją coraz silniejsze dowody na poparcie hipotezy, że ziemski klimat ociepla się – obserwujemy wyraźną tendencję wzrostu temperatury globalnej. Każdy kolejny rok z ostatniego dwudziestolecia wpisuje się w obraz cieplejszego świata. Dziesięciolecie 2000–2009 jest zdecydowanie najcieplejsze w historii globalnych obserwacji temperatury.

Na wyraźną tendencję wzrostową temperatury nakłada się jednak silna zmienność naturalna – temperatura globalna w konkretnym roku układa się czasem pod, a czasem nad linią trendu. Oczywiście rosnącego trendu wartości rocznych temperatury globalnej nie zakłóca mroźna pogoda w Polsce w styczniu czy na początku marca 2010 r. Okazuje się nawet, że – globalnie – styczeń 2010 r. był ciepły.

Oprócz skali globalnej klimat ociepla się we wszystkich skalach przestrzennych, choć ocieplenie nie ma jednostajnego tempa. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany średniej temperatury rocznej powietrza na stacji meteorologicznej w Kole; temperatura rośnie coraz szybciej.

Ciekawe wyniki uzyskujemy z analizy temperatur kolejnych 12 miesięcy, umożliwiającą bardziej wnikliwe spojrzenie na zmienność klimatu niż badanie wyłącznie lat kalendarzowych. Przyjmijmy więc jako wskaźnik temperaturę średnią kolejnych 12 miesięcy, a więc rocznego okresu rozpoczynającego się pierwszego dnia dowolnego miesiąca. Okazuje się, że natura pobiła, i to bardzo wyraźnie, takie rekordy w roku 2007 i to w kilku różnych skalach przestrzennych.

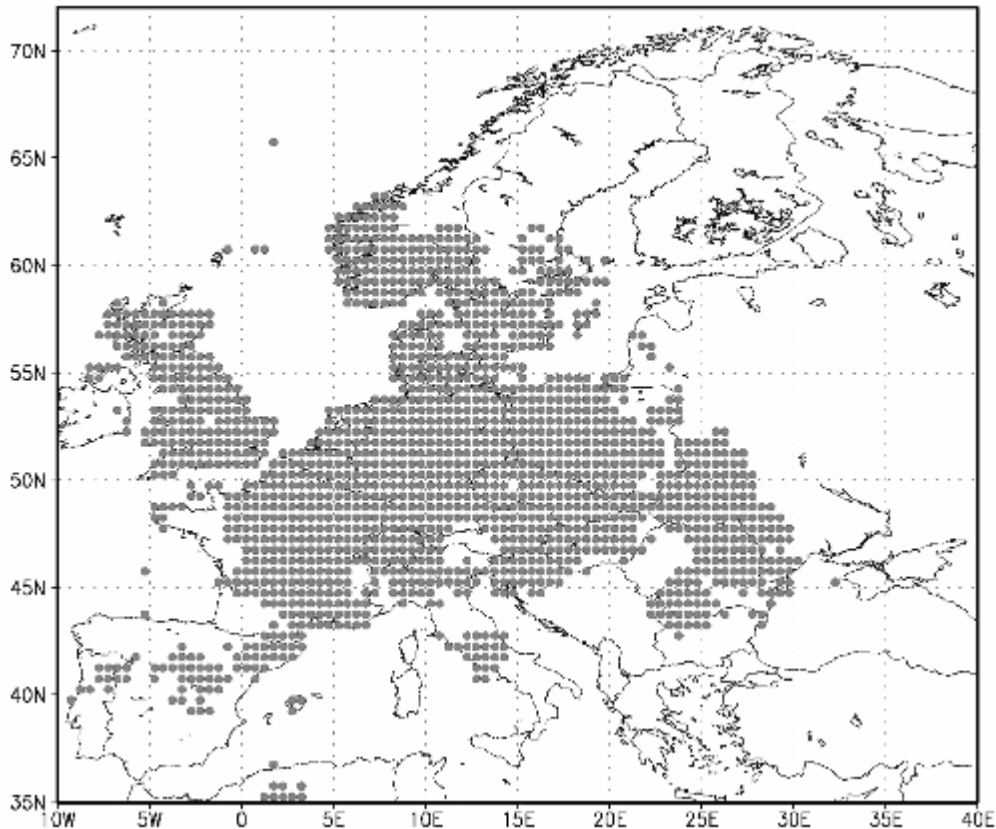
Z analizy 25 długich szeregów czasowych obserwacji na stacjach niemieckich wynika, że wszędzie zostały ustanowione nowe rekordy temperatury średniej kolejnych 12 miesięcy (na ogół w okresie lipiec 2006 r. – czerwiec 2007 r.). W przypadku jednej stacji (Magdeburg) dotychczasowy rekord został przewyższony aż o 1,9°C.



Rys. 2. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza na stacji meteorologicznej w Kole w okresie 1951–2006

Źródło: opracowanie własne.

Okres od marca 2006 r. do czerwca 2007 r. okazał się wyjątkowo ciepły w znacznej części kontynentu europejskiego (rys. 3), a okres od czerwca 2006 r. do maja 2007 r. był najcieplejszy na całej półkuli północnej (8).

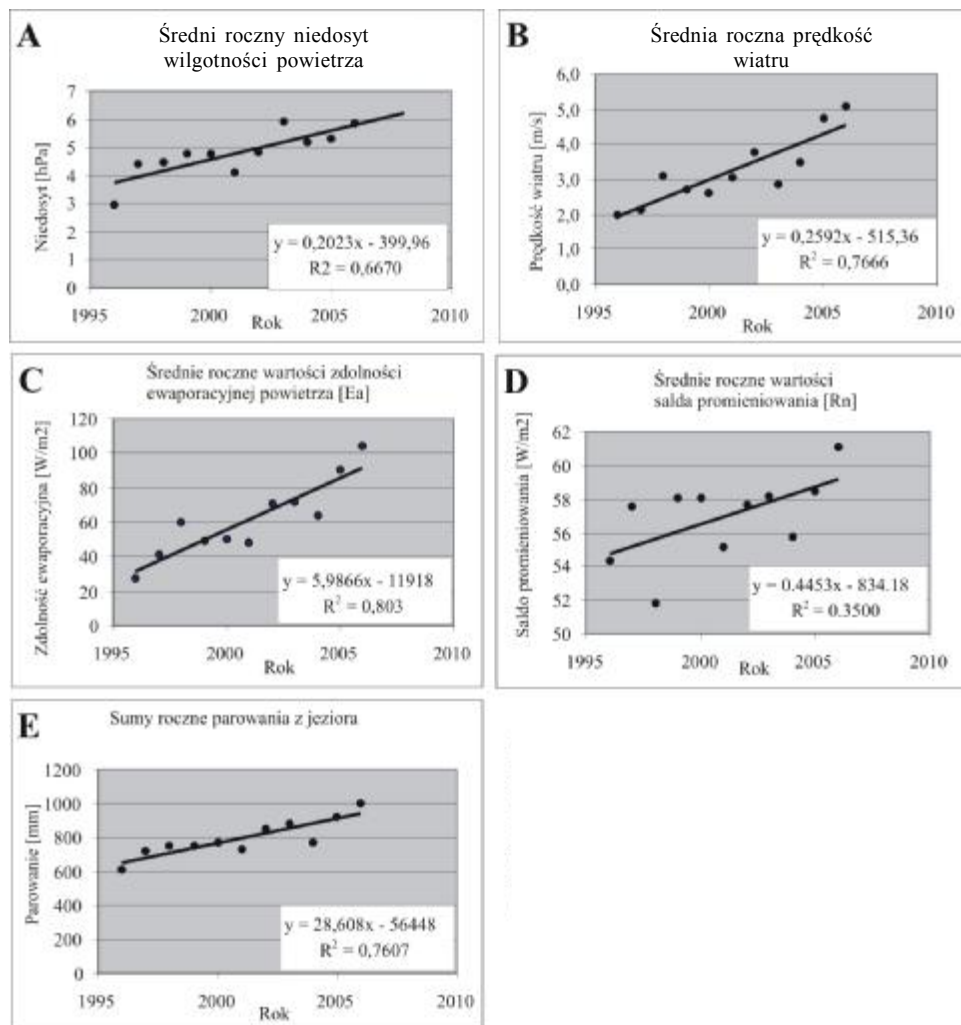


Rys. 3. Oczka siatki prostokątnej w Europie, w których wystąpiły rekordowe wartości temperatury średniej kolejnych 12 miesięcy (biorąc pod uwagę cały rozważany okres 1901–2007) wystąpiły w latach 2006/2007. Zaznaczono tylko rekordy wyższe niż dwa odchylenia standardowe ponad średnią w latach 1901–2007

Źródło: Kundzewicz i in., 2009 (8).

W kategorii lat kalendarzowych najcieplejszy w Polsce był rok 2000, choć są stacje, gdzie w roku 2007 rekordy najwyższej temperatury były wyrównane (np. Warszawa, Poznań), a nawet pobite (np. Łeba). Natomiast w kategorii najcieplejszych okresów 12-miesięcznych natura poprawiła rekord (od lipca 2006 r. do czerwca 2007 r.) w bardzo wielu oczkach siatki pokrywającej Polskę.

Choć globalne zmiany klimatu utożsamia się potocznie ze wzrostem temperatury inne zmienne klimatyczne (np. opad, zachmurzenie, parowanie, prędkość wiatru) też ulegają zmianom. Obserwowane opady atmosferyczne wykazują wzrost w tempie od 0,5 do 1% na dekadę w większości obszarów półkuli północnej o średnich i wysokich szerokościach geograficznych (szczególnie zauważalny jesienią i zimą). Zaobserwo-



Rys. 4. Wzrost parowania z powierzchni jeziora jako wynik zmian elementów meteorologicznych.

Wzrost niedosytu wilgotności powietrza (A) i prędkości wiatru (B) powoduje wzrost zdolności ewaporacyjnej powietrza (C), co wraz ze wzrostem salda promieniowania (D) prowadzi do silnego wzrostu parowania (E). Polska 1996–2006

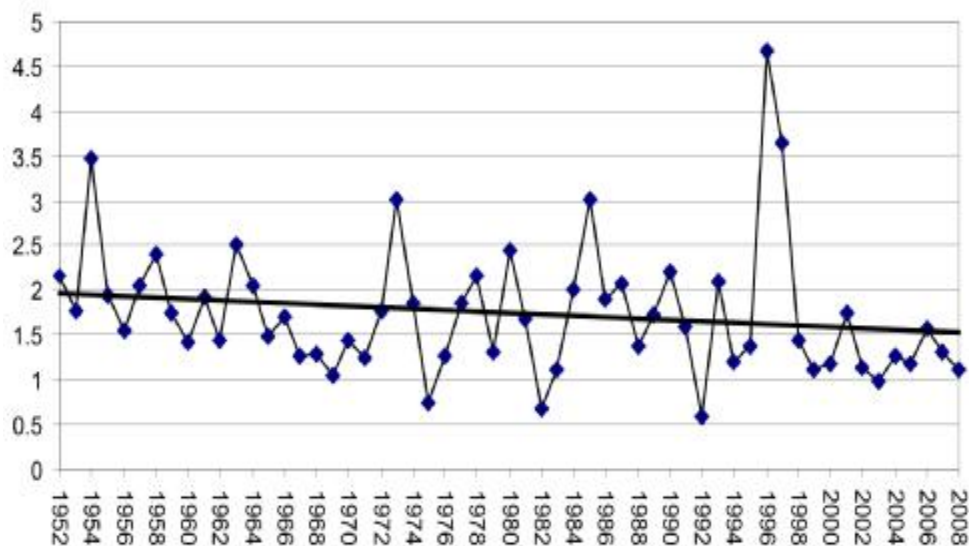
Źródło: opracowanie własne.

wano intensyfikację cyklu hydrologicznego, tj. wzrost częstotliwości występowania opadów intensywnych oraz wzrost liczby dni bez opadu. Wzrosła także powierzchnia terenów dotkniętych suszą. Chociaż obserwowane zmiany poziomu jezior i wód gruntowych są w dużej mierze wynikiem błędów popełnionych przez człowieka w gospodarowaniu wodą (zmiany użytkowania terenu, wylesienie, nadmierne odwodnienie, urbanizacja), to jednak w dużym stopniu wynikają ze zmian klimatycznych, które miały miejsce w ostatnich kilkunastu latach (rys. 4).

Zmiany opadów (a także przepływów rzecznych, które stanowią najczęściej stosowaną charakterystykę odnawialnych zasobów wody słodkiej) są jednak różne

w różnych regionach. W niektórych regionach świata opady wzrosły (np. na północ od szerokości 30°N w okresie 1901–2005), a zmalały w innych (np. między szerokościami 10°S i 30°N od lat 1970.).

Na znacznych obszarach charakter opadów zimowych zmienił się. Wskutek wzrostu temperatury maleją opady śniegu i mniejsza jest grubość pokrywy śnieżnej (choć – rzecz jasna nie jest tak, że mamy mniej śniegu każdej zimy; w styczniu i lutym 2010 r. śniegu było w Polsce dużo), a rośnie objętość i częstotliwość zimowych deszczy. Zmienia się też czasowy reżim procesów hydrologicznych, a więc ich rozkład sezonowy; zmniejszył się stosunek opadów letnich do zimowych (rys. 5). W cieplejszym klimacie rośnie również intensywność opadów – dłuższe okresy posuszne przedzielane są intensywnymi opadami. Częstsze opady nawalne stają się problemem w szybko rozrastających się aglomeracjach, gdzie kanalizacja deszczowa zaprojektowana i wykonana była przed kilkudziesięciu laty, a z upływem czasu nastąpił znaczny wzrost liczby ludności i powierzchni nieprzepuszczalnych (9).



Rys. 5. Stosunek opadów letnich do zimowych w Poznaniu

Źródło: Pińskwar, 2009 (16).

Bardzo silne zmiany dostrzeżono w kriosferze (lodowcach i lodach, pokrywie śnieżnej i zmarzlinie). Kriosfera integruje zmienność klimatu, więc dynamika zasięgu i rozmiaru kriosfery jest pierwszorzędnym, bardzo wrażliwym wskaźnikiem zmian klimatu, reagującym nawet na małe zmiany bilansu cieplnego. Wyraźnym świadectwem globalnego ocieplenia jest obserwowane kurczenie się kriosfery, tj. pokrywy śnieżnej, lodu i zmarzliny, z konsekwencjami dla ekosystemów i ludzi. Zdjęcia satelitarne dowodzą, że globalna powierzchnia pokrywy śnieżnej zmniejszyła się o 10% w porównaniu z jej stanem w latach sześćdziesiątych, zwłaszcza na wiosnę i w lecie. Obserwujemy masowe topnienie, kurczenie się i wyraźne cofanie się większości lodowców

górkich (13). Nieliczne przypadki ekspansji elementów zmarzliny można tłumaczyć wzrostem opadów (tam, gdzie mimo wzrostu temperatura była ciągle ujemna, a wzrosły opady śniegu). Liczne rzeki i jeziora rzadziej zamarzają. Tam, gdzie to się jeszcze dzieje znaczącym zmianom uległy daty zamarzania rzek i jezior oraz pęknięcia pokrywy lodowej. Skraca się okres zlodzenia.

Podnosi się poziom oceanów (obecnie w tempie ok. 3 mm rocznie) w wyniku rozszerzalności cieplnej (cieplejsza woda zajmuje więcej miejsca), a także topnienia kriosfery.

Koszty zjawisk ekstremalnych, globalnie i w Europie, wykazują gwałtowny trend rosnący na przestrzeni czterech dekad, z uwzględnieniem inflacji. Straty wywołane katastrofami naturalnymi, głównie związanymi z pogodą i wodą, wzrosły znacznie gwałtowniej niż wzrosła populacja, czy nastąpił wzrost ekonomiczny (14). Wpływ klimatu na zaobserwowane zmiany w stratach jest prawdopodobny, często jednak czynnikiem dominującym jest fakt, iż to ludzie wkraczają na tereny zalewowe o dużym potencjale strat.

Oprócz wzrostu ryzyka niszczącego nadmiaru wód w ostatnich trzech dekadach zanotowano wzrost zakresu występowania susz, które stały się częstsze, bardziej intensywne i dłuższe z powodu zmniejszających się opadów na niektórych obszarach, a także ocieplenia, które powoduje wzrost parowania i wysychanie. Dai i in. (1) pokazali, że globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych wzrosła ponad dwukrotnie od lat 1970. W ostatnich latach zanotowano szereg dotkliwych wystąpień wielkoobszarowych susz, okresów, w których opad był znacznie niższy od wartości średniej, a dodatkowo występowały fale upałów, które powodowały silny wzrost parowania. Generalnie w systemach wodnych zaobserwowano ocieplenie rzek i jezior z konsekwencjami dla jakości wody. Następuje intensyfikacja procesu eutrofizacji.

Świadectwo obserwacji ze wszystkich kontynentów i większości oceanów wskazuje, że wiele systemów fizycznych i biologicznych podlega oddziaływaniu regionalnych zmian klimatu, a zwłaszcza wzrostu temperatury i poziomu morza. Wpływ zmian klimatu może być trudny do odróżnienia od przyczyn pozaklimatycznych, jak na przykład zmiany użytkowania terenu (urbanizacja, wylesienie). Uległy zmianie częstość i intensywność występowania ekstremalnych zjawisk związanych z pogodą.

W systemach biologicznych zauważono wiele zmian związanych z fenologią, wynikających ze wzrostu temperatury (np. wcześniejsze nadejście wiosny, rozwój liści, kwitnienie, przylot ptaków, składanie jaj), a także wynikających ze zmian pokrywy śnieżnej, lodowej i poziomu tlenu (związanych z ociepleniem). Zaobserwowano wiele przypadków przesuwania się zasięgu występowania gatunków flory i fauny w kierunku odpowiedniego klimatu (w poszukiwaniu właściwych temperatur), a więc ku biegunom i na wyższe wysokości. Wzrost atmosferycznego stężenia dwutlenku węgla spowodował wzrost kwasowości oceanów o 0,1 pH, licząc od roku 1750.

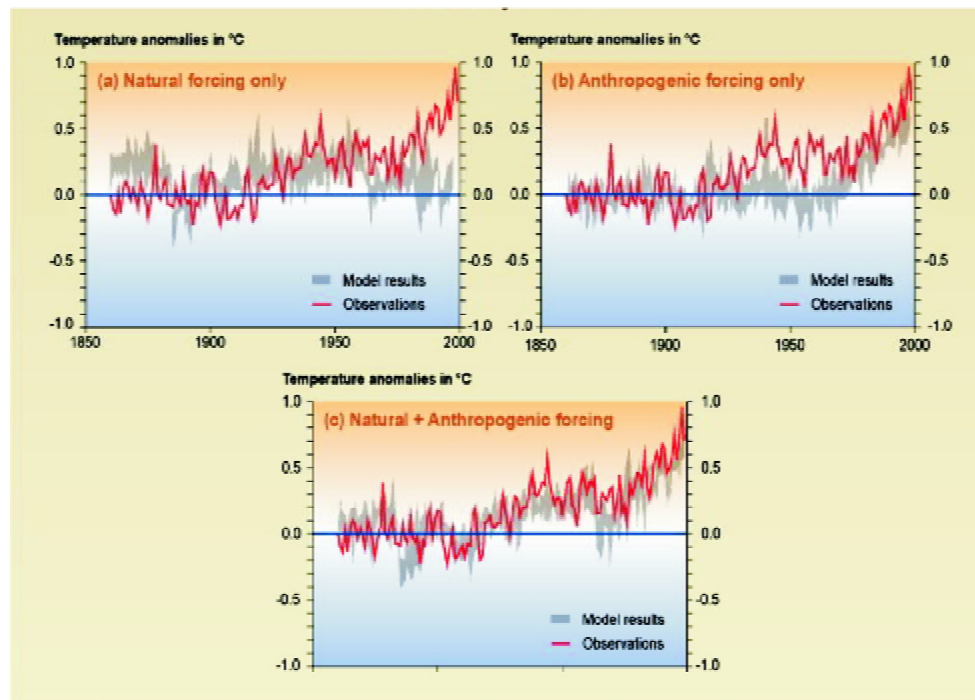
Efekty zmian klimatu obserwuje się w rolnictwie i leśnictwie (zmiany czasu wystąpienia faz fizjologicznych, terminów zabiegów agrotechnicznych). Zanotowano zmiany zasięgu szkodników.

Projekcje zmian klimatu i ich skutków

Można próbować wnioskować o przyszłości poprzez ekstrapolację istniejącego trendu zmian temperatury oraz poprzez modele matematyczne oparte na prawach fizyki. Badania modelowe wzmacniają argumenty o antropogenicznym podłożu obecnych zmian klimatu.

Używając modeli matematycznych przy założeniu wymuszeń naturalnych (aktywność słoneczna, erupcje wulkanów) i antropogenicznych (wzrost atmosferycznych stężeń gazów cieplarnianych, ubożenie szaty roślinnej ziemi) jesteśmy w stanie odtworzyć zasadnicze cechy zaobserwowanego przebiegu temperatury globalnej, w tym brak wzrostu, a nawet lekki spadek temperatury w latach 1945–1975. Zakładając natomiast wyłącznie naturalne wymuszenia, nie jesteśmy w stanie wyjaśnić przebiegu temperatury w ciągu ostatnich 40 lat. Wymuszenia naturalne nie tłumaczą bowiem wzrostu temperatury w ciągu ostatnich dziesięcioleci (rys. 6).

Modele klimatu zgadzają się co do kierunku zmian temperatury (choć niekoniecznie co do wartości) do końca XXI wieku, przewidując wszędzie ocieplenie, przy czym silniejsze ocieplenie oczekiwane jest w wysokich szerokościach geograficznych na



Rys. 6. Porównanie między obserwowanym i modelowanym wzrostem temperatury globalnej od roku 1860. (a) wymuszenia naturalne; (b) wymuszenia antropogeniczne; (c) wymuszenia naturalne i antropogeniczne

Źródło: IPCC, 2001 (3).

półkuli północnej. Najbardziej prawdopodobny zakres ocieplenia w horyzoncie roku 2100 dla różnych scenariuszy rozwoju gospodarczego i emisji, ale bez uwzględnienia ochrony klimatu, wynosi od 1,8 do 4,0°C w porównaniu z okresem 1980–1999 (czyli od 2,3 do 4,5°C w porównaniu z okresem przedprzemysłowym). Pomiedzy rozważanymi scenariuszami emisji CO₂ są znaczne różnice jeśli chodzi o projektowany zakres zmian temperatur. Najmniej korzystny scenariusz zakłada, że rozwój gospodarki światowej przebiega szybko, ale głównie w oparciu o spalanie tradycyjnych paliw kopalnych. Gdyby ziścił się ten scenariusz temperatura globalna do końca wieku może wzrosnąć w zakresie od 2,4 do 6,4°C w porównaniu ze stanem z końcówki zeszłego stulecia. W najbardziej korzystnym scenariuszu (szybko bogacącego się świata post-industrialnego, w którym przemysł ma mały udział w wytwarzaniu dochodu narodowego, a energia dzięki nowym technologiom jest oszczędnie zużywana i pochodzi głównie z „czystych” źródeł) temperatury podniosą się w zakresie 1,1–2,9°C. Jak widać, nawet w najkorzystniejszym z rozważanych wariantów można także oczekiwać pewnego ocieplenia. Wszystkie wymienione wyżej scenariusze zakładają brak skoordynowanej polityki klimatycznej w sensie światowej redukcji emisji. Jak pokazała Konferencja Stron Konwencji Klimatycznej COP 15 w Kopenhadze bardzo trudno (o ile to w ogóle możliwe) jest dojść do światowych ograniczeń emisji, których przestrzeganie można by egzekwować. Ponieważ globalny system klimatyczny cechuje się znaczną bezwładnością dwutlenek węgla, który już wprowadziliśmy i jeszcze wprowadzimy do atmosfery, będzie przez długie dekady wzmacniał efekt cieplarniany.

Dla terenu Polski projekcje przewidują do końca XXI wieku wzrost średniej rocznej temperatury powietrza o 3–3,5°C, wzrost temperatury w zimie o 3,5–5°C, a w lecie o 3–3,5°C.

Tendencja globalnego ocieplenia wydaje się przesądzona co najmniej przez kilkadziesiąt lat. Jeśli zdarzy się potężna erupcja wulkanu może nastąpić krótkotrwałe (kilkuletnie) ochłodzenie, ale potem temperatura będzie rosła dalej. Stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze jest już bowiem wysokie, a – pomimo pewnych (mało skutecznych w skali światowej) prób ograniczenia emisji – końca wzrostu nie widać.

Wszystkie problemy związane z wodą można zaliczyć do trzech ogólnych kategorii: zbyt mało wody, zbyt dużo wody lub zanieczyszczenia wody. Obawiamy się wzrostu częstotliwości występowania wymienionych trzech kategorii problemów wodnych, a także ich dotkliwości i ostrości w zmieniającym się klimacie. Przewiduje się, że w cieplejszym świecie ekstrema hydrologiczne – susze i powodzie – mogą być coraz większe i coraz częstsze.

Na podstawie praw fizyki można orzec, że cieplejsza atmosfera jest zdolna pomieścić więcej wody. Wyższa zawartość pary wodnej w cieplejszej atmosferze prowadzi do wzrostu intensywnych opadów, które mogą spowodować powódź, erozję i osuwiska. Dodatkowo antropopresja ogranicza możliwość wsiąkania wody; nieprzepuszczalne są powierzchnie parkingów, dachów budynków, szos i chodników. Woda ma coraz mniej możliwości naturalnego magazynowania, gdyż wyeliminowano tereny podmokłe i retencję na terasach zalewowych. Ulewny opad odpływa do rzek, które też zostały przez człowieka zmodyfikowane – skrócone, wyprostowane i ograniczone

obwałowaniami. Efektem zmian samych rzek i zmian użytkowania terenów w zlewni jest coraz wyższy odpływ, szybszy i wyższy szczyt fali powodziowej będącej odpowiedzią systemu na intensywny opad. Straty powodziowe zależą od wielu czynników nie związanych z klimatem (np. wzrost liczby ludności, wzrost ekonomiczny, planowanie zagospodarowania przestrzennego, percepcja i świadomość ryzyka, kultura kompensacji, ubezpieczenia).

W wysokich szerokościach geograficznych i w części tropików modele klimatyczne zgodnie symulują kierunek przyszłych zmian opadu, przewidując jego wzrost. W niektórych obszarach podzwrotnikowych i w obszarach o średnich szerokościach (np. basen Morza Śródziemnego) modele klimatyczne również zgadzają się co do kierunku zmian, przewidując zmniejszanie się rocznej sumy opadów średnich. Między tymi strefami zgodnego wzrostu i zgodnego spadku opadów, na przykład w Europie środkowej, leżą obszary o znacznej niepewności projekcji, dla których symulacje z użyciem różnych modeli klimatycznych nie są zgodne nawet co do kierunku zmian.

Według modelowych projekcji zwiastujących wszechobecne ocieplenie tendencje do wzrostu poziomu mórz i do kurczenia się kriosfery będą się nasilać. Bardzo szybko będzie zmniejszać się powierzchnia lodowców – do końca XXI wieku może zniknąć zupełnie połowa lodowców alpejskich. Gdy zabraknie wody z topniejącego śniegu i lodu niskie stany wód staną się bardziej dotkliwe (9). Topnienie lodowców chwilowo poprawia dostępność wody: przepływy rzeczne rosą, ale maleje ilość wody w stanie stałym zgromadzona w tych wielkich lodowych i śnieżnych zbiornikach, które stworzyła natura. Kiedy jednak lodowce przestaną istnieć średnie przepływy rzeczne zmniejszą się, a ich rozkład sezonowy ulegnie dalszym niekorzystnym zmianom. Jest to o tyle niepokojące, że ponad miliard ludzi mieszka na terenach zasilanych przez wodę z topniejących śniegów i lodowców z wielkich łańcuchów górskich.

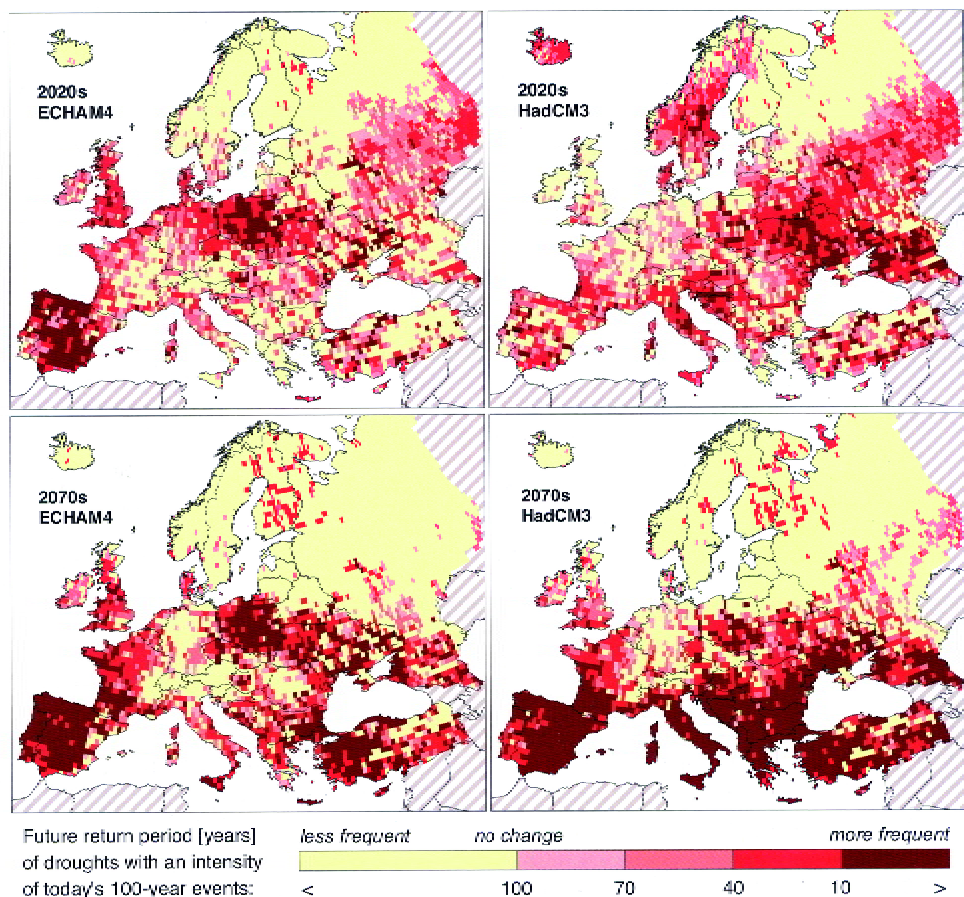
Projekcje zmian klimatycznych dla kontynentu europejskiego przewidują wszechobecne ocieplenie, którego wartość waha się od 0,2 do 0,6°C na dekadę, zależnie od przyjętego scenariusza. Projekcje wskazują również, że wzrosną różnice między coraz bardziej wilgotną północą i coraz bardziej suchym południem Europy, zwłaszcza w lecie.

Scenariusze zmian opadu w Polsce uzyskane za pomocą odmiennych modeli różnią się istotnie dla okresu letniego (czerwiec – sierpień). Wszystkie modele zgodnie przewidują wzrost temperatury, ale tylko niektóre wzrost opadów (inne spadek). Dla okresu zimowego (grudzień – luty) wszystkie rozważane modele zgodnie przewidują charakter (choć nie amplitudę) zmian – wzrost zarówno temperatury, jak i opadów.

Dla znacznego obszaru Europy częstość i amplituda intensywnych opadów i wywołanych przez nie powodzi mogą w przyszłości wzrosnąć. W wielu miejscach Europy modelowe projekcje zmian opadu średniego w lecie różnią się co do kierunku od projekcji zmian maksymalnego opadu 24-godzinnego. Nawet tam, gdzie maleje opad całkowity projekcje wskazują możliwość wzrostu zawartości pary wodnej w powietrzu i wzrost opadów intensywnych (11). Może to prowadzić do wzrostu zagrożenia powodziowego, erozji wodnej, osuwisk terenu, a także wzrostu presji na administrację i systemy osłony przeciwpowodziowej oraz systemy ubezpieczeń.

Hirabayashi i in. (2) badali zmianę częstości występowania wysokich przepływów. Przyjmując jako bazę poziom wody 100-letniej, odpowiadający okresowi kontrolnemu z lat 1961–1990, dokonali porównania średniego okresu przekroczenia tego poziomu dla horyzontu 2071–2100. Okazuje się, że dla części Europy przepływ, który uznano za wodę 100-letnią w okresie 1961–1990 będzie w przyszłości występował częściej (znaczna część Europy południowej, środkowej i zachodniej) lub rzadziej (Europa wschodnia i Skandynawia).

Susza stuletnia w Europie określona według kryteriów przyjętych dla okresu referencyjnego 1961–1990 będzie występowała częściej (kolory czerwone) lub rzadziej (kolor zielony) w przyszłości. Na rysunku 7 przedstawiono zmiany okresu powtarzalności w porównaniu z okresem kontrolnym dla dwóch horyzontów czasowych (lata 2020. i 2070.) i dla dwóch modeli (ECHAM4 i HadCM3).



Rys. 7. Zmiany częstości występowania obecnej suszy 100-letniej w Europie dla dwóch modeli (ECHAM4 i HadCM3) i dla dwóch horyzontów czasowych (lata 2020. i 2070.).

Kolor czerwony – wzrost częstości, kolor zielony – spadek częstości

Źródło: Lehner i in., 2005 (12).

Przewiduje się wzrost wysychania w okresach letnich, przede wszystkim w znacznej części obszarów położonych w średnich szerokościach geograficznych. Na podstawie projekcji klimatycznych w przyszłości należy się spodziewać zaostrzenia zjawisk związanych z niedostatkiem wody, w tym wydłużenia okresów suchych (bez opadów lub z opadami znacznie poniżej wartości średnich), czy wydłużenia okresów suchych i jednocześnie gorących, co z uwagi na spotęgowane parowanie jeszcze bardziej przyspieszy wystąpienie stresu wodnego. Spodziewać się także możemy, że w przyszłości deficyty wodne występować będą na znacznie większych obszarach i będą bardziej intensywne. Według modelowych projekcji globalna powierzchnia terenów objętych silną suszą ulegnie znacznemu zwiększeniu: 10-, a nawet 30-krotnie do końca wieku. Wzrost ryzyka suszy prowadzić będzie do licznych negatywnych skutków, takich jak: obniżka plonów, wzrost ryzyka pożarów lasów, pogorszenie zaopatrzenia w wodę (w aspekcie ilości i jakości), szkody budowlane (wskutek kurczenia się i spękania gruntu).

Projekcje na przyszłość wskazują, że ekosystemy w Polsce poddane będą coraz większemu stresowi wodnemu z powodu czynników związanych z brakiem lub nadmiarem wody (susza, pożar lasu, intensywny opad, powódź) w połączeniu z czynnikami pozaklimatycznymi (antropopresja, zmiana użytkowania terenu, osuszenie terenów podmokłych, zanieczyszczenia, fragmentacja siedlisk, nadmierna eksploatacja). Jeśli w Polsce wzrośnie suchość okresów letnich, jeśli częściej będziemy wychodzić z zimy bez wystarczającego zapasu wilgoci w glebie (jak w roku 2000), a brak wody wystąpi już wiosną, to wtedy wzrośnie zagrożenie erozją wietrzną.

Zmiana formy opadów zimowych (ze śniegu na deszcz) towarzysząca ociepleniu spowoduje zmniejszenie zimowej retencji w pokrywie śnieżnej i zmianę sezonowości przepływów w rzekach. Wzrośnie zimowy przepływ rzeczny, a pogłębią się niżówki (niskie przepływy w rzekach) w lecie i jesieni.

Na koniec XXI wieku przewiduje się wzrost poziomu morza o 18-59 cm powyżej poziomu z lat 1980–1999, w zależności od scenariusza. W ocenie tej nie jest uwzględnione radykalne przyspieszenie topnienia lądolodów Grenlandii i Antarktydy, które zdaniem większości ekspertów jest mało prawdopodobne w XXI wieku. Niektórzy eksperci kwestionują jednak powyższe oceny, sugerując możliwość znacznie wyższego wzrostu poziomu mórz już za kilkadziesiąt lat.

Istnieją także liczne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu niektóre zjawiska ekstremalne związane z pogodą (tak krótko- jak i długookresowe, np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i tropikalne cyklony) będą przybierały na sile i występowały częściej.

W przyszłości ekosystemy poddane będą coraz większemu stresowi z powodu zmian klimatu w połączeniu z innymi czynnikami związanymi z klimatem, takimi jak: ekstrema (intensywny opad, powódź, susza, pożar lasu) i pozaklimatycznymi (zmiana użytkowania terenu, zanieczyszczenie, fragmentacja, nadmierna eksploatacja). Według projekcji w ciągu XXI wieku globalna sekwestracja węgla przez ekosystemy lądowe osiągnie maksimum i zacznie się zmniejszać, wzmacniając zmiany klimatu.

Projekcje wskazują, że lekkie ocieplenie poprawiłoby plony w średnich i wysokich szerokościach geograficznych dzięki dłuższemu sezonowi wegetacyjnemu i łagodniejszym zimom. Niekorzystny wpływ na produkcję roślinną w południowej i wschodniej Europie może mieć jednak niedobór wody oraz skrócenie okresu wypełniania kłosów wielu roślin zbożowych (5). Rolnictwo wkroczy na nowe tereny. Na przykład zasięg uprawy pszenicy może się zwiększyć o duże obszary w Finlandii, Rosji, czy Kanadzie, na których obecnie panują jeszcze zbyt surowe warunki. Jednak w krajach rozwijających się położonych w niskich szerokościach geograficznych już małe ocieplenie spowoduje obniżkę plonów.

Przeciwdziałanie zmianom klimatu i adaptacja do nich

Prawdopodobieństwo niekorzystnych konsekwencji zmian klimatu rośnie wraz ze wzrostem szybkości i amplitudy zmian (17). Dlatego przy znacznym ociepleniu może nie wystarczyć adaptacja w reakcji na już zaistniałe skutki zmian klimatu. Potrzebna jest aktywna ochrona klimatu (poprzez redukcję emisji i zwiększanie możliwości wiązania dwutlenku węgla, np. przez odbudowanie szaty roślinnej Ziemi), aby negatywne konsekwencje zmian klimatu w przyszłości nie przekraczały możliwości adaptacji. Ponieważ jednak dalsze ocieplenie jest nieuchronne potrzebna będzie adaptacja do zmian. A więc na pytanie: przeciwdziałanie, czy adaptacja? Odpowiedź jest oczywista – jedno i drugie.

Wielu niekorzystnych konsekwencji można uniknąć, osłabić je, czy też opóźnić poprzez prowadzenie skutecznej polityki zapobiegania zmianom klimatu. Jeśli ocieplenia nie uda się ograniczyć, adaptacja do niekorzystnych skutków zmian klimatu może być bardzo trudna.

Przyjmując podczas tzw. Szczytu Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 r. Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych dotyczącą Zmian Klimatu (UNFCCC), przywódcy państw zgodzili się, że trzeba podjąć wysiłki w celu uniknięcia „niebezpiecznego poziomu antropogenicznego wpływu na klimat” (Artykuł 2 Konwencji). Potrzebna jest więc stabilizacja stężeń gazów cieplarnianych na takim poziomie i w takim horyzoncie czasowym, żeby można było osiągnąć powyższy cel. Kryteria Artykułu 2 specyfikujące ryzyko niebezpiecznego poziomu antropogenicznego wpływu na klimat dotyczą przede wszystkim globalnego bezpieczeństwa żywnościowego, ochrony systemów unikalnych i zagrożonych (w tym ekosystemów), zrównoważonego rozwoju gospodarczego oraz ochrony przed zjawiskami ekstremalnymi. Ważnym elementem rzutującym na implementację artykułu 2 Konwencji jest znaczna niepewność w ocenie ryzyka i konsekwencji zmian klimatu oraz w ocenie skuteczności i kosztów działań, jakie można by podjąć.

Mimo intensywnych prób osiągnięcia porozumienia w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych emisja tych gazów dalej rośnie. Na globalny efekt cieplarniany składają się: emisje gazów cieplarnianych w sektorze energetycznym (26%), przemysł (19%), wylesianie (17%), rolnictwo (14%), transport (13%), osadnictwo oraz sektor handlu i usług (8%), a także gospodarka odpadami (3%).

Kosztów zapobiegania ociepleniu nie da się uniknąć. Ale ekonomiści oceniają, że koszty zlekceważenia problemu będą wyższe niż koszty przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Koszty silnie zależą od zamierzonego poziomu stabilizacji dwutlenku węgla w atmosferze. Z obszernego studium podjętego w Wielkiej Brytanii (17) wynika, że roczne straty spowodowane zmianami klimatu wzrosną w XXI wieku do co najmniej 5% produktu światowego brutto, a przy uwzględnieniu szerszego wachlarza skutków i mniej prawdopodobnych wariantów nawet do 20% i więcej. Natomiast koszt redukcji gazów cieplarnianych (nie pozwalającej na wzrost stężeń ponad 450-550 ppm CO₂-eq), tzn. umożliwiającej uniknięcie najgorszych skutków zmian klimatu wyniesie około 1% produktu światowego. Znaczna redukcja emisji winna nastąpić w ciągu najbliższych 10-20 lat. Jeśli tak się nie stanie późniejsza redukcja musiałaby być znacznie ostrzejsza, a więc bardziej kosztowna.

Ambitnym (acz mało realnym) celem w zakresie przeciwdziałania globalnemu ociepleniu przyjętym przez Unię Europejską jest ograniczenie ocieplenia do co najwyżej 2°C w horyzoncie roku 2100 w porównaniu z okresem przedprzemysłowym (czyli o co najwyżej 1,5°C w porównaniu ze stanem z okresu 1980–1999). Aby to osiągnąć potrzeba znacznego globalnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (atmosferyczne stężenie nie powinno przekroczyć 450 ppm CO₂-eq.), a to byłoby bardzo trudne i drogie. Obecnie stężenie (po wygładzeniu wahań sezonowych) sięga 383 ppm i szybko rośnie. Unia Europejska forsuje koncepcję 3 x 20, tzn. do roku 2020 redukcję emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 20% (w porównaniu ze stanem z roku 1990) oraz uzyskanie co najmniej 20% energii ze źródeł odnawialnych.

Unia Europejska przoduje w inicjatywach podejmowanych na rzecz przeciwdziałania zmianom klimatu. W porównaniu z innymi kontynentami Europa ma mało paliw kopalnych, a jej mieszkańcy żyją na ogół we 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 – myślenie o dalszej przyszłości. Mówi się, że odziedziczyliśmy środowisko od pokolenia naszych rodziców, ale można też spojrzeć inaczej, że „wypożyczamy” je od pokolenia naszych dzieci czy wnuków.

Do atmosfery dostaje się za dużo dwutlenku węgla i metanu. Trzeba podjąć starania, żeby gazów tych było w atmosferze mniej, a nie coraz więcej. 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. Potrzebne są zharmonizowane działania globalne i to we wszystkich sektorach, a w szczególności w tych, które są w wysokim stopniu odpowiedzialne za znaczną emisję gazów cieplarnianych, tj. energetyka i rolnictwo (dotyczy metanu i podtlenku azotu), transport, osadnictwo, sektor handlu i usług, gospodarka odpadami. Ważna jest także dbałość o wiązanie (sekwestrację) dwutlenku węgla poprzez odpowiednie kształtowanie użytkowania terenu, w tym zapobieganie wylesianiu i zalesianie (poprawiające bilans wiązania dwutlenku węgla przez rośliny).

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: odsalanie wody dla zwiększenia dyspozycyjnych zasobów wody słodkiej, pompowanie głębokiej wody gruntowej, czy klimatyzacja łagodząca zdrowotne skutki fal upałów nie są korzystne dla przeciwdziałania ociepleniu. Wraz z globalnym ociepleniem przybliża się perspektywa spędzania lata w klimatyzowanym domu i w klimatyzowanym miejscu pracy. Klimatyzacja wymaga jednak użycia znacznych ilości energii, a więc „nakreca” efekt cieplarniany, wzmacniając ocieplenie.

Wzrost lesistości przyczynia się do intensyfikacji ewapotranspiracji, a to powoduje intensyfikację cyklu wodnego i wzrost opadów w skali regionalnej. W efekcie wzrost lesistości poprawia bilans wodny. „Wielka” retencja wody (np. zapory i zbiorniki wodne) jest korzystna zarówno dla adaptacji, jak i ochrony klimatu. Istnieją jednak inne aspekty ograniczające stosowalność tego rozwiązania (wyłączenie obszarów spod uprawy rolnej, konsekwencje ekologiczne, uniemożliwienie migracji ryb, konieczność przesiedlenia ludności).

Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że w ostatnim 50-leciu występuje ocieplenie klimatu, a wytłumaczyć je można przede wszystkim wywołanym przez ludzi wzrostem emisji gazów cieplarnianych i redukcją zdolności wiązania węgla przez roślinność wskutek wylesienia, jak również pogorszeniem struktury bilansu cieplnego przypowierzchniowych warstw atmosfery ziemskiej. W efekcie rośnie stężenie atmosferyczne gazów cieplarnianych, które powoduje intensyfikację efektu cieplarnianego.

Projekcje na przyszłość przewidują dalsze, jeszcze bardziej intensywne i nieuniknione, ocieplenie. Można je jednak ograniczyć przez skuteczne i zharmonizowane działania w skali globalnej. Dalsze ocieplenie zależy od tego, jaki scenariusz rozwoju społeczno-ekonomicznego i polityki przeciwdziałania ociepleniu zostanie zrealizowany.

Globalne zmiany klimatu powodują zmiany zarówno korzystne, jak i niekorzystne we wszystkich regionach świata i we wszystkich sektorach i systemach. Jednak ich zaistnienie i ostrość zależą od scenariusza rozwoju społeczno-ekonomicznego, który ma wpływ na emisję oraz od realizowanej polityki przeciwdziałania zmianom klimatu.

Polska jest i pozostanie blisko końca listy państw europejskich pod względem zasobów wodnych. Niski jest średni opad i odpływ rzeczny oraz zasoby wodne na głowę mieszkańca. Obserwujemy przesuszenie środowiska na Niżu Polskim – deficyty wody w glebie, serie lat suchych i wysychanie małych cieków oraz zbiorników. Czynnikiem, które spowodowały tę sytuację są: wzrost temperatury, wylesienie pasa centralnego, zmniejszenie zawartości materii organicznej w glebie i pogorszenie struktury gleby, spadek małej retencji powierzchniowej (np. śródpolnych zbiorników), melioracje odwadniające oraz (ogólnie) uproszczenie struktury krajobrazu. Wzrost lesistości powoduje intensyfikację ewapotranspiracji, ale to powoduje intensyfikację cyklu wodnego i wzrost opadów w skali regionalnej. W efekcie wzrost lesistości poprawia bilans wodny gleby.

Polska na pewno nie będzie wielkim przegranym w zmieniającym się klimacie, jednak problemy z wodą już istniejące w obecnym klimacie prawdopodobnie nasilą się. Projekcje wskazują na wzrost zagrożenia ekstremami wodnymi (suszami i powodziami, szczególnie typu opadowego), co będzie stanowić wyzwanie dla gospodarki wodnej.

Strategia gospodarki wodnej na obszarach rolniczych wymaga podjęcia następujących kroków, które mogą zwiększyć ilość wody w krajobrazie, wydłużyć czas jej przebywania i zwiększyć intensywność jej obiegu (6):

- zwiększenie małej retencji poprzez odbudowę zniszczonych małych zbiorników wodnych i poprawę struktury gleby;
- zwiększenie zawartości materii organicznej w glebach dla zwiększenia ich zdolności retencyjnych;
- odpowiednie kształtowanie szaty roślinnej prowadzące do zwiększenia infiltracji, a zmniejszenia spływu powierzchniowego i parowania potencjalnego;
- wyhodowania bardziej wodooszczędnych odmian roślin uprawnych.

Rolnictwo zależy od klimatu, ale też wpływa na klimat. W obszarze zmian klimatu pełni więc różnorakie role: ofiary, beneficjenta, winowajcy i sprzymierzeńca w przeciwdziałaniu zmianom.

Literatura

1. Dai A., Trenberth K. E., Qian T.: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology*, 2004, **5**: 1117–1130.
2. Hirabayashi Y., Kanae S., Emori S., Oki T., Kimoto M.: Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrol. Sci. J.*, 2008, **53**(4):754–773.
3. IPCC. Synthesis report. In: *Climate change 2001*. Eds. Watson R. T. & Core Writing Team. Cambridge University Press, Cambridge, 2001, 35-145.
4. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
5. Kędzióra A.: Zmiany środowiskowe warunków życia człowieka na początku XXI wieku – prognoza ostrzegawcza, zmiany klimatyczne. *Nauka*, 1994, **2**: 85-120.
6. Kędzióra A., Olejnik J.: Water balance in agricultural landscape and options for its management by change of plant cover structure of landscape. In: *Landscape Ecology in Agroecosystems Management*. Ed. L. Ryszkowski. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 2002, 57-110.
7. Kędzióra A., Ryszkowski L.: Ocena wpływu struktury krajobrazu na bilans cieplny i wodny zlewni wraz z określeniem jej modyfikującej roli dla efektów zmian klimatycznych. W: *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach klimatycznych – monitoring, ochrona, edukacja*. Wyd. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań, 2001, 202-223.
8. Kundzewicz Z. W., Gerstengarbe F. W., Österle H., Werner P. C., Fricke W.: Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere. *Theor. and Applied Climatol.*, 2009, **95**, 417-422. DOI 10.1007/s00704-008-0013-9.

9. Kundzewicz Z. W., Kowalczak P.: Zmiany klimatu i ich skutki. Wyd. Kurpisz SA, Poznań, 2008, ss. 214.
10. Kundzewicz Z. W., Mata L. J., Arnell N., Döll P., Kabat P., Jiménez B., Miller K., Oki T., Sen Z., Shiklomanov I.: Freshwater resources and their management. In: Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., Hanson C. E., van der Linden P. J. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
11. Kundzewicz Z. W., Radziejewski M., Pińskwar I.: Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res.*, 2006, **31**: 51-58.
12. Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs T., Kaspar F.: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 2006, **75**: 273-299.
13. Lemke P., Ren J., Alley R. B., Allison I., Carrasco J., Flato G., Fujii Y., Kaser G., Mote P., Thomas R. H., Zhang T.: Observations: changes in snow, ice and frozen ground. In: Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter4.pdf>
14. Mills E.: Insurance in a climate of change. *Science*, 2005, **309**: 1040-1044.
15. Parry M. L. (Ed.): Assessment of the potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 2000, pp. 320.
16. Pińskwar I.: Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce. Praca doktorska. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydz. Melioracji i Inżynierii Środowiska, 2009, ss. 170.
17. Stern N.: The economics of climate change (The Stern Review). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, pp. 692, por www.sternreview.org.uk

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz
Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN
ul. Bukowska 19
60-809 Poznań
tel.: (61) 847-56-01
e-mail: kundzewicz@yahoo.com
kedan@man.poznan.pl