

ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ¹, PIOTR TRYJANOWSKI²

¹*Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN
Bukowska 19, 60-809 Poznań*

²*Instytut Biologii Środowiska
Wydział Biologii UAM
Umultowska 89, 61-614 Poznań
E-mail: kundzewicz@yahoo.com
ptasiek@amu.edu.pl*

EKSTREMA KLIMATYCZNE: DŁUGOTERMINOWE ZMIANY I ICH KONSEKWENCJE

WSTĘP

Wartości wszystkich zmiennych geofizycznych, a więc również zmiennych hydrologicznych i meteorologicznych, ulegają wahaniom. Niekiedy przybierają ekstremalnie niskie bądź ekstremalnie wysokie wartości. W matematyce ekstremum funkcji oznacza najwyższą lub najniższą wartość funkcji (maksimum lub minimum). W rozumieniu potocznym, przymiotnik „ekstremalny” oznacza sytuację (wartość) różniącą się bardzo znacznie od wartości średniej. Na przykład, jako ekstremalną temperaturę można uznać wartość znajdującą się powyżej lub poniżej 3 odchyień standardowych od średniej wieloletniej. Ekstremalne zjawiska naturalne mogą prowadzić do katastrof przyrodniczych (GRANICZNY i MIZERSKI 2007).

Istnieją liczne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu niektóre ekstrema klimatyczne (np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i tropikalne cyklony) stają się bardziej ekstremalne i coraz częściej przybierają rozmiar katastrof. Dotyczy to zarówno prawidłowości już zaobserwowanych, jak i projekcji na przyszłość. Właśnie reakcje na częściej pojawiające się ekstrema mogą wywoływać skutki poważniejsze w swych konsekwencjach, zarówno w systemach przyrodniczych, jak i ekonomicznych, niż stopniowy, jednostajny wzrost temperatur Ziemi (ROSENZWEIG i współaut. 2008). Globalne straty materialne podlegające ubezpieczeniu i straty całkowite wywo-

lane ekstremami klimatycznymi w 2004 r. wynosiły odpowiednio, 45 i 107 miliardów US\$. W ciągu ostatnich kilku dziesięcioleci zaobserwowano wyraźny wzrost negatywnych skutków społecznych i ekonomicznych spowodowanych naturalnymi zdarzeniami ekstremalnymi związanymi z pogodą. Straty materialne wzrosły 17-krotnie i 8-krotnie (po uwzględnieniu inflacji) między latami 1960-tymi i 1990-tymi, a więc szybciej niż liczba ludności, produkt globalny i wysokość składek ubezpieczeniowych (MILLS 2005).

Za ten stan rzeczy odpowiedzialne są różne mechanizmy: procesy społeczno-ekonomiczne, zmiany użytkowania terenu oraz efekty klimatyczne. Coraz wyższy jest potencjał strat spowodowanych katastrofami naturalnymi w bogacących się społeczeństwach. Jednak również globalne zmiany klimatu mają istotny wpływ na wzrost zjawisk ekstremalnych.

Nie wszystkie wystąpienia ekstremalnych wartości zmiennych geofizycznych powodują straty. Jednak w sytuacji, gdy takie ekstremum wystąpi na obszarze o znacznej podatności i wysokim potencjale strat, mogą pojawić się znaczne szkody (materialne, ludzkie i środowiskowe). Można rozróżnić wielorakie aspekty katastrof naturalnych: geofizyczne, środowiskowe, społeczne, zdrowotne, ekonomiczne.

Niektóre ekstrema klimatyczne występujące w Polsce dotyczą temperatury (tem-

peratura bardzo niska lub bardzo wysoka). Ważne są też wskaźniki związane z nadmiarem wody – ekstremalne opady i przepływy (stany wód) i ich konsekwencje (powódź, osuwisko, lawina błotna), bądź niedoborem wody (susza meteorologiczna, hydrologiczna, czy rolnicza, tzn. niskie wartości opadów, przepływów rzecznych i stanów wody w rzekach, jeziorach, czy gruncie, wilgotność gleby). Inne kategorie ekstremów związanych z pogodą to: śnieg (ekstremalna pokrywa śnieżna; lawina śnieżna), szadź; gołoledź, silny wiatr, mgła, piorun, pożar lasu.

Choć Polska nie jest krajem szczególnie narażonym na niszczące ekstrema związane z pogodą (w porównaniu np. z Japonią), jednak i w naszym kraju występuje szereg dotkliwych zjawisk ekstremalnych. W ostatnich dekadach wydarzyło się w Polsce wiele

ekstremalnych zjawisk, w tym: dotkliwe powodzie w latach 1997, 1998 i 2001, fale upałów w 2006 r., majowe przymrozki w 2007 r., pożary lasów w 1992 r., susze w latach 1992 i 2006, obfita pokrywa śnieżna zimą 2005–2006 (ale częściej brak pokrywy śnieżnej), szereg wystąpień silnych wichur i wiatrołomów oraz „biały szkwał” na Mazurach w sierpniu 2007 r. W lecie 2008 r. wystąpił okres posuszny, okres wilgotny z niewielkimi powodziami i szereg okresów silnych wiatrów, które spowodowały znaczne straty.

W niniejszym artykule proponujemy wprowadzenie do zagadnień związanych z ekstremami klimatycznymi, przedstawiając sytuację w Polsce na tle szerszej, globalnej perspektywy. Przedstawiamy również przykłady ekologicznych konsekwencji ekstremów klimatycznych.

EKSTREMA TEMPERATUROWE

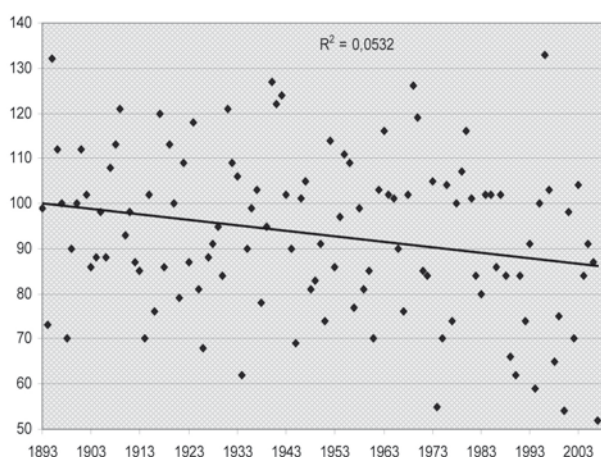
W ciągu ostatnich 100 lat średnia temperatura globalna wzrosła o $0,74^{\circ}\text{C}$, a w ciągu ostatnich 50 lat o $0,65^{\circ}\text{C}$, przede wszystkim wskutek intensyfikacji efektu cieplarnianego. Wyraźne ocieplenie klimatu można zauważyć prawie wszędzie, w różnych skalach czasowych i przestrzennych (IPCC 2007). Nie tylko zauważamy wyraźne tendencje zmian charakterystyk związanych z temperaturami, ale także notujemy rekordy. „Łagodnymi” ekstremami można nazwać rekordy średniej temperatury rocznej, bo nie powodują one takich bezpośrednich konsekwencji jak np. fala silnych mrozów czy upałów. Rekordowo ciepły był globalnie rok 1998, a w Polsce – 2000 r. (na niektórych stacjach – 2007 r.). Spośród 13 najcieplejszych lat w historii globalnych obserwacji temperatury, prowadzonych od 1850 r., aż 12 lat należy do współczesnego okresu 1995–2007. Jeśli zaś przyjąć jako wskaźnik temperaturę średnią kolejnych 12 miesięcy, a więc okresu rozpoczynającego się pierwszego dnia dowolnego miesiąca, to taki rekord został pobity w latach 2006–2007, i to w kilku skalach przestrzennych (pojedyncze stacje, regiony, kraje, Europa, a nawet Półkula Północna) (patrz KUNDZEWICZ i współaut. 2008).

Jeszcze silniejsze ocieplenie jest przewidywane w przyszłości. Według długoterminowej prognozy brytyjskiego Met Office, żywot rekordu temperatury globalnej z 1998 r. nie będzie długi. Oczekuje się, że po zakończeniu obecnej fazy chłodnej (La Niña) cyklu

ENSO, co najmniej trzy z sześciu następnych lat (2009–2014) będą globalnie cieplejsze niż 1998 r.

Mimo wyraźnej tendencji ocieplenia, w krótszym okresie (np. dzień, miesiąc, rok) mogą wystąpić wartości wskaźników temperaturowych znacznie odbiegające od linii trendu. Zatem, ciągle może zdarzyć się zima z wieloma dniami z przymrozkiem (tzn. o temperaturze minimalnej poniżej 0°C), czy też lato z nielicznymi dniami upalnymi. Choć średnia liczba dób z przymrozkiem zmniejsza się w czasie, rośnie zmienność (np. mierzona przez wariancję). Jak wynika z analizy danych z Poczdamu, w ciągu ostatnich 12 lat natura ustanowiła rekordy zarówno w kategorii najniższej, jak i najwyższej liczby dób z przymrozkiem w roku (Ryc. 1). Najwięcej dób z przymrozkami zanotowano w 1996 r. (133), w 1895 r. (132) i w 1940 r. (127). Warto również zwrócić uwagę na swoisty dawny rekord w kategorii trzylatek – wystąpienie trzech kolejnych zim 1940–1942 z wieloma przymrozkami (odpowiednio 127, 122 i 124). Najmniej dób z przymrozkami zanotowano w 2007 r. (52), w 2000 r. (54) i w 1974 r. (55).

Zdaniem wielu ekspertów (IPCC 2007) rośnie zmienność klimatu, a interpretacja Ryc. 1 uzasadnia ten sąd. Mimo cieplejszych zim, wydłuża się okres, w którym mogą wystąpić przymrozki. Pierwszy przymrozek jesienny, a nawet fala krótkotrwałych mrozów, może zdarzyć się bardzo wcześnie, a naj-



Ryc. 1. Liczba dób z przymrozkiem w roku dla stacji w Poczdamie (1893–2008) (wg KUNDZEWICZA i JÓZEFczyKA, 2008).

późniejszy przymrozek wiosenny – bardzo późno. Majowe przymrozki w 2007 r. (występujące mimo rekordowo wysokich temperatur średnich w całym pierwszym półroczu 2007 r.) spowodowały znaczne straty w sadownictwie w wielu rejonach Polski.

Globalne zmiany klimatu dotyczą jednak nie tylko zauważalnie rosnących wartości średnich temperatury. Istotne zmiany wielu innych charakterystyk fizycznych, biologicznych i społeczno-ekonomicznych, związanych z klimatem, zostały już zaobserwowane, a dalsze, silniejsze zmiany są przewidywane w przyszłości. Oprócz wartości średnich, wydatnym zmianom ulegają również wartości ekstremalne zmiennych hydroklimatycznych – minima i maksima (wzrost temperatury dobowej, temperatury maksymalnej w dzień i minimalnej w nocy, charakterystyczny dla wszystkich pór roku, itd.).

Bardziej spektakularne niż rekordy średniej temperatury rocznej czy 12-miesięcznej, są intensywne fale upałów, takie jak podczas gorącego lata (od czerwca do połowy sierpnia) 2003 r., kiedy temperatury w znacznej części Europy przekraczały o 3–5°C średnie wieloletnie. W Szwajcarii, temperatury lata 2003 r. były wyższe od średnich z wielolecia o niemal pięć odchyłek standardowych, co stawia zaobserwowaną sytuację w kategorii zjawisk niezwykle rzadkich (SCHÄR i współaut. 2004). Jednak, przyjmując hipotezę o ociepleniu klimatu, możemy spojrzeć na lato 2003 r. jak na zwiastuna przyszłych upałów. Według mo-

delowych projekcji, co drugie lato będzie tak ciepłe lub cieplejsze, pod koniec XXI w. Podczas fal upałów maleją plony wskutek stresu termicznego. Rosną negatywne skutki zdrowotne (zwłaszcza dotyczy to osób starszych lub małych dzieci, chronicznie chorych, lub samotnych) i śmiertelność wywołana falami upału w Europie (łączny efekt wzrostu temperatury i starzenia się społeczeństwa). Fale upałów w lecie 2003 r. w Europie spowodowały kilkadziesiąt tysięcy przypadków dodatkowych zgonów. Następuje pogorszenie jakości życia. Pocięszający jest fakt, że po wystąpieniu ekstremalnej fali upałów społeczeństwa starają się adaptować do zmieniającej się sytuacji termicznej, i następne gorące lata nie są już tak tragiczne w skutki (KYSSELY i KRÍŽ 2008).

Wyraźnym świadectwem ocieplenia jest ekstremalne, w porównaniu z okresem historycznym, kurczenie się kriosfery. Tempo zmian pokrywy śnieżnej, lodu i zmarzliny, a także cofania się lodowców górskich bije rekordy. Topienie lodów Arktyki postępuje intensywnie, a we wrześniu 2007 r. zaobserwowano rekordowo mały zasięg morskiego lodu w Arktyce.

Łagodniejsze ekstrema zimowe (mrozy) wywołują mieszane skutki. Z jednej strony, mniejsza jest zachorowalność i śmiertelność ludzi, lepsze zimowanie roślin, ale z drugiej, wzrasta prawdopodobieństwo rozwoju pasożytów i patogenów (np. owadów, roztoczy, bakterii, riketsji). Wzrost temperatur minimalnych zimą w Polsce wywołuje spadek zapotrzebowania na energię, spadek ilości niektórych problemów w transporcie drogowym (gołoledź), powodzi roztopowych i zatorów lodowych.

W cieplejszym klimacie wzrasta ryzyko bardziej intensywnych, częstszych i bardziej długotrwałych fal upałów. Przewiduje się spadek dobowej amplitudy, a także ilości dób z przymrozkami i częstości występowania fal mrozów, choć w niektórych obszarach, zmiany cyrkulacji mogą skomplikować sytuację (TRENBERTH i współaut. 2007).

W wielu rejonach (np. już gorących) ocieplenie klimatu odbija się niekorzystnie na jakości życia ludzi. Można oczekiwać globalnego wzrostu niedożywienia i negatywnych skutków zdrowotnych ostrzejszych ekstremów klimatycznych (np. fale upałów w połączeniu z zanieczyszczeniami powietrza), a również wzrostu zagrożeń alergenami.

EKSTREMA ZWIĄZANE Z NADMIAREM LUB BRAKIEM WODY

Ekstremalne zjawiska hydrologiczne, susze i powodzie, stały się częstsze i bardziej niszczące w wielu regionach świata. Nasuwa się pytanie, w jakim stopniu za wzrost strat odpowiedzialne są zmiany globalne, a w szczególności zmiany i wahania klimatu. Istnieje szereg czynników poza-klimatycznych, które zwiększają ryzyko suszy i powodzi. Należą do nich: spadek zdolności do magazynowania wody w zlewni, wzrost powierzchni obszarów nieprzepuszczalnych i współczynnika odpływu, a także wzrost osadnictwa na terenach zagrożonych.

W cieplejszej atmosferze zaobserwowano większą zawartość pary wodnej, zgodnie z prawem Clausiusa-Clapeyrona, a więc wzrost potencjału intensywnych opadów, które mogą spowodować powódź. W konsekwencji, zauważono wzrost częstotliwości silnych opadów (a także udziału opadów intensywnych w rocznej sumie opadu), a to może mieć wpływ na wzrost ryzyka powodzi.

Intensywne opady, które mogą prowadzić do powodzi, powodują też szkody w uprawach rolniczych, a często całkowite zniszczenie upraw, niemożliwość odpowiedniej kultywacji (np. użycia ciężkiego sprzętu rolniczego). Straty zależą od długości trwania oraz amplitudy i poziomu zalania terenu.

Zaobserwowano istotny wzrost globalnych strat powodziowych w ostatnich dziesięcioleciach, z których część przypisać można czynnikom społeczno-ekonomicznym, a część – czynnikom klimatycznym. W ostatnich latach zdarzyło się wiele powodzi, w konsekwencji których straty materialne przekraczały miliard dolarów. Jednym z takich kataklizmów była powódź w Polsce w lecie 1997 r. Szczególnie dotkliwe straty powodziowe w Europie, przekraczające 20 miliardów Euro, zanotowano w 2002 r. W sierpniu 2002 r. powódź pokrywała ogromną powierzchnię, wyrządzając rekordowe straty w Czechach, Niemczech i Austrii (ponad 15 miliardów Euro). Absolutny rekord światowy konsekwencji powodzi sztormowej padł w 2005 r., kiedy bezpośrednie skutki huraganu „Karina”, który spowodował zalanie Nowego Orleanu, osiągnęły (według poważnych szacunków) 100 miliardów US\$. W szeregu powodzi w krajach rozwijających się, liczba ofiar śmiertelnych przekraczała tysiąc. Przeciętne roczne materialne straty powodziowe wzrosły globalnie do dziesiątek miliardów

US\$. Powodzie zabijają co roku tysiące ofiar w Azji (szczególnie Bangladesz, Chiny i Indie) i Południowej Ameryce. W Bangladesz, podczas powodzi w 1998 r., prawie 70% kraju znalazło się pod wodą. Najwyższe straty materialne spowodowane przez powódzie rzeczne, rzędu 30 i 26,5 miliardów US\$, zanotowano, odpowiednio, w Chinach w 1998 i 1996 r.

Jednak w opublikowanych wynikach detekcji zmian przepływów maksymalnych nie widać wyraźnego śladu zmian klimatu. Niektóre studia pokazują wzrost częstości i/lub intensywności powodzi, ale inne nie. W studiach detekcji zmian rocznych przepływów maksymalnych testem Manna-Kendalla, KUNDZEWICZ i współaut. (2005) znaleźli 27 przypadków statystycznie istotnych wzrostów, ale również 31 przypadków statystycznie istotnych spadków. Jednak w dominującej części materiału, bo aż w 137 przypadkach, nie było statystycznie istotnych zmian. Ciekawe wyniki znaleziono dla Europy. Najwyższe przepływy w latach 1961–2000 zdarzały się znacznie częściej (na 46 stacjach) w ostatnich dwóch dekadach (1981–2000) niż we wcześniejszych dwóch dekadach, 1961–1980 (maksyma na 24 stacjach). Ta analiza nie różni jednak mechanizmów generacji powodzi (opad lub topnienie śniegu). Zaobserwowano zmianę terminu wystąpienia powodzi; mniej jest wiosennych wysokich przepływów roztopowych czy zatorowych. Zdarzają się one wcześniej, czasem zimą, a nie wiosną, i mają mniejszą amplitudę.

Zmiany ryzyka powodzi zależą od trzech grup czynników:

- atmosferycznych/klimatycznych (opad, temperatura, poziom morza);
- lądowych (stan wody i przepływ rzeczny – amplituda, częstotliwość, sezonowość; zmiany powierzchni terenu związane ze zmianą użytkowania terenu: spadek retencji; wzrost współczynnika odpływu; spadek przepuszczalności powierzchni);
- społeczno-ekonomicznych (wzrost zaludnienia, wylesienie lub zalesienie, urbanizacja, regulacja rzek, wkraczanie człowieka na tereny zagrożone, potencjał strat, potencjał adaptacji, świadomość ryzyka, stan systemu osłony).

Dla znacznego obszaru Europy, częstość i amplituda intensywnych opadów i wywołanych przez nie powodzi mogą wzrosnąć w

przyszłości. W wielu miejscach Europy projekcje zmian opadu średniego w lecie różnią się co do kierunku, od projekcji zmian maksymalnego opadu 24-godzinnego. Projekcje wskazują możliwość wzrostu zawartości pary wodnej w powietrzu i wzrost opadów intensywnych nawet tam, gdzie maleje opad całkowity (KUNDZEWICZ i współaut. 2006). Zmiany ekstremów opadowych przewidują symulacje modelowe w wielu regionach świata. To może prowadzić do wzrostu powodzi, erozji wodnej, osuwisk terenu, a także wzrostu presji na administrację i systemy osłony przeciwpowodziowej i systemy ubezpieczeń. Z drugiej jednak strony, intensywne opady i przepływy powodziowe mogą zwiększyć zasilenie niektórych podziemnych formacji wodonośnych w strefie suchej.

PALMER i RÄISÄNEN (2002) przewidują znaczny wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia bardzo wilgotnej zimy w Europie i bardzo wilgotnego sezonu monsunowego w Azji. Przy dwukrotnym wzroście stężenia dwutlenku węgla w atmosferze, w porównaniu z epoką przed-przemysłową (co może nastąpić jeszcze w XXI wieku), oczekuje się, że prawdopodobieństwo bardzo wilgotnej zimy w znacznej części Europy będzie 5 lub więcej razy wyższe niż w okresie kontrolnym.

Przewiduje się zmiany częstości wysokich przepływów (i stanów) rzecznych. Według projekcji, tzw. woda stuletnia (przewyższana średnio raz na sto lat), we wszystkich zlewniach badanych przez MILLY i współaut. (2002), może występować znacznie częściej przy czterokrotnym wzroście atmosferycznego stężenia CO₂, w stosunku do stanu obecnego. Na niektórych obszarach, powódź 100-letnia w okresie kontrolnym może zdarzyć się średnio nawet co 2 do 5 lat w warunkach 4×CO₂.

Powodzie są jednak skomplikowanymi zjawiskami, wywoływanymi przez szereg mechanizmów (intensywne i/lub długotrwałe opady deszczu, topnienie śniegu, zator lodowy), więc potrzeba ostrożności w formułowaniu ogólnych sądów. Na ogół, ryzyko powodziowe rośnie tam, gdzie dominują powodzie opadowe, a maleje tam, gdzie dominują powodzie roztopowe i zatorowe. Roztopy przychodzą wcześniej (nawet zimą, a nie wiosną), natomiast rośnie zimowe zagrożenie powodzią opadową. Straty powodziowe zależą od wielu czynników nie związanych z klimatem (np. wzrost liczby ludności, wzrost ekonomiczny, planowanie zagospodarowania przestrzennego, percep-

cja i świadomość ryzyka, kultura kompensacji, ubezpieczenia).

Rosną opady intensywne, ale rośnie także liczba dni bez opadów. Nawet w XX w., kiedy to zanotowano statystycznie na Ziemi nieznaczny wzrost opadów średnich, na niektórych obszarach, w tym w części Europy, stwierdzono drastyczny ich spadek, nawet o 20% (NEW i współaut. 1999). 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 współaut. (2004) pokazali, że globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych wzrosła ponad dwukrotnie od lat 1970-tych. W ostatnich latach zanotowano szereg dotkliwych wystąpień wielko-obszarowych susz – okresów, w których opad był znacznie niższy od wartości średniej, a dodatkowo występowały fale upałów, które powodowały silny wzrost parowania.

Problemy spowodowane brakiem wody, definiowane z reguły słowem susza, występują w wielu regionach świata. W części Europy Środkowej i na terenie Polski rośnie stosunek sumy opadów zimowych do sumy opadów letnich. Na znacznych obszarach rośnie temperatura, a zmniejsza się wartość opadu rocznego, a to oznacza wzrost ryzyka suszy i pożarów lasów.

Nawet w krajach rozwiniętych, o wysokim potencjale adaptacji, ekstremalna susza może prowadzić do znacznych strat środowiskowych, ekonomicznych, i społecznych. W 1998 r., susza w sektorze rolnictwa USA spowodowała straty na poziomie ponad 10 miliardów US\$. W Polsce, sześciotygodniowy okres bez opadów w lecie 2006 r. (od połowy czerwca do końca lipca) spowodował znaczne straty w produkcji rolniczej. Ocenia się, że susza w sierpniu 2003 r. spowodowała w Europie straty przekraczające 18 miliardów US\$. Kolejna susza, o negatywnych konsekwencjach w rolnictwie, nastąpiła w Polsce na wiosnę i w lecie 2008 r.

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 ekstremalnych typu „zbyt mało 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 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: spadek plonów, wzrost ryzyka pożarów lasów, pogorszenie zaopatrzenia w wodę (w aspekcie ilości i jakości), szkody budowlane (wskutek kurczenia się i spękania gruntu). W wielu rzekach zasilanych z lodowców i z topniejącego śniegu, przepływ

wiosenny wcześniej osiągać będzie wartości maksymalne. Kurczenie się lodowców i pokrywy śnieżnej spowoduje pogłębienie się ekstremów, niżówek (niskich przepływów w rzekach), oraz problemów w zaopatrzeniu w wodę mieszkańców szeregu krajów rozwijających się (Ameryka Południowa, Azja), gdzie woda w rzece pochodzi z topniejących śniegów i lodów, a także spadek produkcji energii wodnej.

Trzeba jednak pamiętać, że brak opadów dopiero inicjuje bardziej złożony proces suszy. W konsekwencji braku opadów (suszy atmosferycznej) następują jej kolejne etapy, susza hydrologiczna (niskie stany wód powierzchniowych i podziemnych), a także susza glebowa czy rolnicza (niska zawartość wilgoci w glebie).

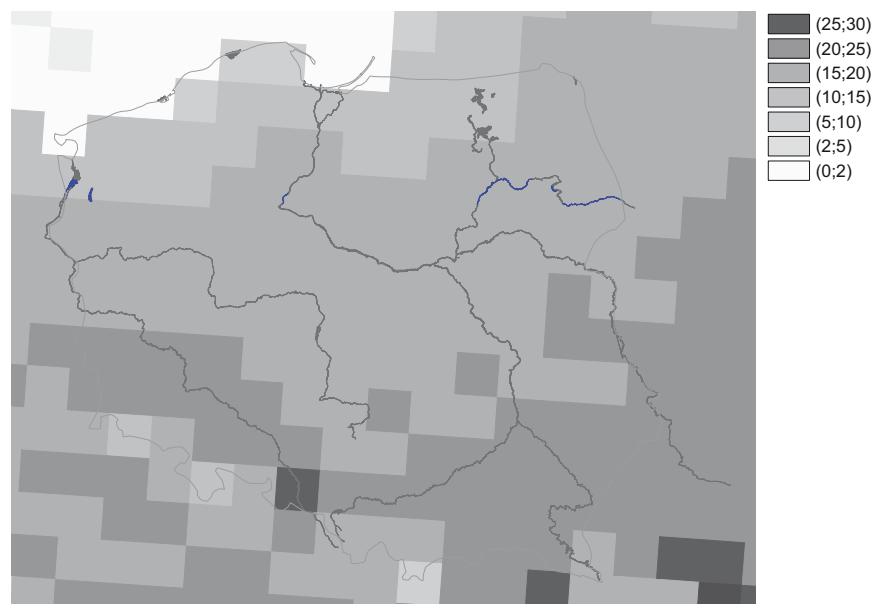
INNE EKSTREMA KLIMATYCZNE

Szereg ekstremów ma formę złożoną. Jednocześnie natura bije rekordy deficytu opadów i wysokiej temperatury. Upałom w lecie 2003 r. w znacznej części Europy towarzyszył długotrwały brak opadów, wskutek czego nastąpił 30% spadek produkcji pierwotnej ekosystemów, a straty w rolnictwie przekroczyły 13 miliardów Euro. Zanotowano utrudnienia (i straty) w zaopatrzeniu w wodę, w żegludzie i w energetyce, a także liczne pożary lasu. Przewiduje się, że liczba dni gorących i suchych w przeciętnym roku będzie coraz wyższa. Ryc. 2 przedstawia projekcję zmiany

liczbę dni gorących (z temperaturą maksymalną przekraczającą 30°C) i suchych (bez opadu lub z opadem dobowym poniżej 0.1 mm), w porównaniu do okresu kontrolnego.

Istnieje hipoteza o wzroście częstotliwości i siły wichur. Silne wiatry wyrządziły w ostatnich latach znaczne szkody w leśnictwie (wiatrołomy) i infrastrukturze (dotkliwe straty budowlane – zerwane dachy, przewody elektryczne).

Na terenie Polski wystąpiło w ostatnich latach szereg ekstremalnie silnych burz i wiatrów. Szczególnie groźne, choć w skali



Ryc. 2. Różnica liczby dni z temperaturą ponad 30°C i opadem dobowym poniżej 0.1 mm dla okresu 2071–2100, w porównaniu z 1960–1989 (wg modelu Centrum Hadleya).

lokalnej, jest częstsze występowanie nieprzewidywalnych krótkotrwałych wiatrów typu trąb powietrznych. W sierpniu 2007 r., „biały szkwał” na Mazurach spowodował śmierć 12 osób. W lecie 2008 r., silne wiatry występowały szereg razy, prowadząc do wielkich szkód ludzkich i materialnych. Jednak nie wystąpiły w Polsce do tej pory szkody porównywalne ze skutkami potężnego sztormu Erwin (Gudrun), który uderzył w Danię i Szwecję 8 stycznia 2005 r. Szybkość wiatru osiągała w porywach do 165 km/h, co odpowiada huraganowi. Liczba ofiar podczas sztormu wynosiła co najmniej 17 (plus dalsze ofiary wypadków przy pozyskiwaniu drewna z wiatrołomów). Straty w lasach przekraczały 75 000 000 m³ wiatrołomów w południowej Szwecji. Około 341 000 szwedzkich domów wichura pozbawiła energii elektrycznej. O uciążliwościach katastrofy świadczy fakt, że

aż ok. 10 000 domów było jeszcze ciągle bez prądu po 3 tygodniach.

W ostatnich latach, ekstremalnie wysoka pokrywa śnieżna występuje rzadziej (ostatnio – zimą 2005/2006). Podczas trwania wystawy gołębi pocztowych, 28 stycznia 2006 r., zawalił się dach hali Międzynarodowych Targów Katowickich pod ogromnymi masami śniegu. Zginęło 65 osób. Istotne znaczenie mają w Polsce ciepłe i bezśnieżne zimy, które występują coraz częściej. Jeśli brakuje śniegu nawet w górach, następują dramatyczne konsekwencje gospodarcze dla regionów, w których obsługa turystów uprawiających sporty zimowe jest podstawą dochodów ludności. Podczas zimy 2006/2007 liczne głosy na południu Polski sugerowały potrzebę ogłoszenia stanu klęski żywiołowej związanej z brakiem śniegu (i stratą oczekiwanych zarobków).

EKOLOGICZNE KONSEKWENCJE EKSTREMÓW

Od długiego czasu podnoszony jest problem negatywnego wpływu *Homo sapiens* na większość ziemskich ekosystemów. Tymczasem, w sensie szybkiej i skutecznej destrukcji, ekstrema hydrologiczne i/lub klimatyczne mogą mieć nawet bardziej niebezpieczny charakter, niż bezpośrednia niszczyielska działalność człowieka (PARMESAN i współaut. 2000, SCHEFFER i współaut. 2001, HOLMGREN i współaut. 2006). Efekty wpływu lokalnych katastrof, np. tornad, czy powodzi na lokalne ekosystemy opisywano wielokrotnie, jednakże większość z tych prac miała jedynie charakter lokalny i krótkoterminowy (SCHEFFER i współaut. 2001, KATZ i współaut. 2005, JIGUET i współaut. 2006). Taki niedostatek prac wykonywanych w szerszym kontekście przestrzennym i czasowym wynika ze strategii finansowania współczesnych badań ekologicznych, promujących szybkie rozwiązania, najlepiej najniższym kosztem i w relatywnie małej skali przestrzennej, co niestety utrudnia później sprawne zarządzanie ochroną środowiska (WEATHERHEAD 1986, DALE i współaut. 1998). W istocie, do prawidłowego oszacowania skutków zjawisk ekstremalnych potrzeba danych długoterminowych, gromadzonych zarówno w miejscach wystąpienia katastrofy, jak i w miejscach referencyjnych. Z jednej strony, musimy wiedzieć jak często pojawiają się zjawiska nazywane przez ekologów katastrofami, a z ich frekwencji możliwe jest oszacowanie zmiany parametrów de-

mograficznych, a nawet ekologicznych badanych organizmów (WEATHERHEAD 1986). Ponadto, dziś dobrze wiemy, że nawet w przypadku ekstremów część zmian w strukturze populacji i ekosystemów może następować z opóźnieniem czasowym (ang. time lag effect) (SÆTHER i współaut. 2005).

Przykładem badań wpływu zjawisk ekstremalnych, w szerszej skali czasowej i przestrzennej, są prace obejmujące analizy ponad 30 lokalnych populacji bociana białego (*Ciconia ciconia*), badanych przez ponad 20 lat z wykorzystaniem tych samych, standardowych metod (TRYJANOWSKI i współaut. 2008). Gatunek ten wybrano celowo, ponieważ istnieją wystarczające dane długoterminowe, a ponadto gatunek ten stanowi ikonę współczesnej ochrony przyrody. Ponadto, tradycyjnie ptak ten był postrzegany jako organizm lubiący zalewane sezonowo doliny rzek (TRYJANOWSKI i współaut. 2005). Jednak reakcja populacji lokalnych dotkniętych powodzią tysiąclecia w 1997 r. wskazuje na znaczne zmniejszenie zarówno liczby par przystępujących do lęgów, jak i ich produktywności w porównaniu do populacji referencyjnych. Wskazano jednak, że populacje dotknięte powodzią wracają do stanu wyjściowego już po 3–4 latach od zakończenia trwania zjawiska ekstremalnego (w tym wypadku powodzi). Dzieje się tak jednak tylko w sytuacjach, gdy obszary dotknięte klęską mogą być (re)kolonizowane przez osobni-

Tabela 1. Ekstremalne zjawiska klimatyczne i zmiany prawdopodobieństwa ich wystąpienia, na podstawie obserwacji z przeszłości i projekcji na przyszłość (wg IPCC 2007).

Zjawisko i kierunek zmian	Prawdopodobieństwo, że trend występował pod koniec XX w. (po 1960 r.)	Prawdopodobieństwo wystąpienia trendu w przyszłości na podstawie projekcji dla XXI w.
Zimne noce i dni – rzadziej występujące i cieplejsze na większości obszarów	Bardzo prawdopodobne	Praktycznie pewne
Gorące dni i noce – częściej występujące i cieplejsze na większości obszarów	Bardzo prawdopodobne	Praktycznie pewne
Fale upałów – wzrost częstotliwości na większości obszarów	Prawdopodobne	Bardzo prawdopodobne
Wzrost częstotliwości występowania silnych deszczy (albo wzrost udziału silnych deszczy w opadzie rocznym) na większości obszarów	Prawdopodobne	Bardzo prawdopodobne
Wzrost powierzchni obszarów zagrożonych suszą	Prawdopodobne na wielu obszarach po roku 1970	Prawdopodobne

ki pochodzące z innych, nie zalewanych obszarów (TRYJANOWSKI i współaut. 2008). Jednakże z racji skąpości dotychczas uzyskanych wyników temat ten jest wart szerszej eksploracji w przyszłości.

Przedstawiony przykład ekstremalnej powodzi i jej wpływu na funkcjonowanie populacji wybranego organizmu nie jest, rzecz jasna, przykładem jedynym, choć na tle innych badań jest spektakularny. Jednakże wyniki innych badań wskazują, że nawet pojedyncze drobne ekstrema pogodowe, takie jak sekwencja wiosennych przymrozków, albo wyjątkowo ciepły okres zimą, wpływają na czas i tempo zakwitania roślin oraz długość sezonu wegetacyjnego,

co jasno wykazano dla ponad 20 gatunków roślin badanych w Niemczech w latach 1951–2000 (MENZEL 2003). Podejrzewa się, że nawet takie początkowo drobne zaburzenia mogą wpływać na dynamikę całych ekosystemów (ROSENZWEIG i współaut. 2008).

Projekcje na przyszłość orzekają, że 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 poza-klimatycznymi (zmiana użytkowania terenu, zanieczyszczenie, fragmentacja, nadmierna eksploatacja).

UWAGI KOŃCOWE

Zmieniły się częstości i intensywności wystąpienia szeregu niektórych ekstremalnych zjawisk związanych z pogodą, a według projekcji ich dalszy wzrost jest prawie pewien. Projekcje zmian klimatu na obszarze Polski wskazują, że istnieje szereg zagrożeń związanych ze zmianą częstości i intensywności ekstremów klimatycznych (fale upałów, opady intensywne, powodzie i osuwiska, susze w sezonie wegetacyjnym i zimowym, silne wiatry, rozwój patogenów związany z ociepleniem, wzrost poziomu morza). Z drugiej strony, można jednak dostrzec także korzyst-

ne zjawiska (np. rzadsze i mniej intensywne fale mrozów – mniejsza śmiertelność zimą, mniejsze zużycie opału na ogrzewanie pomieszczeń).

Tabela 1 przedstawia zaobserwowane i prognozowane zmiany występowania tych ekstremów klimatycznych, które mają znaczenie na terenie Polski. Obserwacje dotyczące zmian szybkości wiatru są mniej przekonujące, choć istnieją przesłanki uzasadniające tendencję wzrostową, w tym – zmiana torów i zasięgu cyklonów. Niedobłą wiadomością dla sektora zdrowia jest wzrost liczby upałów

nych dni o znacznej uciążliwości dla starzejącego się społeczeństwa polskiego. Natomiast dobrą wiadomością dla sektora zdrowia jest tendencja wzrostu temperatur minimalnych w zimie – siarczyste mrozy zdarzają się rzadko, i nie są tak ostre jak w poprzednich dziesięcioleciach. Nie musi to być jednak dobra wiadomość dla rolników – mrozy są ważne w kontroli szkodników. Mroźne noce i zimne dni zdarzają się coraz rzadziej, a ciepłe noce i gorące dni zdarzają się coraz częściej. Jednak mimo niezaprzeczalnego faktu, że niskie wartości temperatur (np. przymrozki) już teraz zdarzają się rzadziej, majowe przymrozki (np. w 2007 r.) bardzo dotkliwie uderzyły w uprawy roślin wrażliwych (np. brzoskwinia, orzech włoski).

Analiza zmian ekstremów jest jednak bardzo trudna ze względu na dużą zmienność naturalną procesów hydrometeorologicznych oraz liczne poza-klimatyczne przyczyny zmian (interwencja człowieka w środowisko – zmiany użytkowania terenu, wzrost zapotrzebowania na wodę i energię związane z urbanizacją, regulacja przepływów). Do tego dołącza się brak odpowiednich danych pomiarowych niezbędnych do analiz. Monitoring jest niewystarczający, a nawet jeśli istnieją szeregi czasowe pomiarów, jest do nich trudny dostęp (np. przez wysoki, zaporowy, koszt).

Nawet jeśli systemy opieki zdrowotnej pozwoliły, globalnie, na znaczne wydłużenie ludzkiego życia i poprawę zdrowotności, katastrofy naturalne ciągle powodują bardzo negatywne skutki zdrowotne, zwłaszcza w krajach słabiej rozwiniętych. W krajach rozwiniętych ofiar w ludziach jest stosunkowo mniej, ale w przypadku nadzwyczajnych katastrof naturalnych straty materialne sięgają

dziesiątek miliardów dolarów. Społeczeństwa nie są przygotowane do ekstremalnych katastrof naturalnych, których amplituda przewyższa założenia przyjęte do planowania systemów osłony. Poprawa systemów monitorowania, prognozy, ostrzeżenia i akcji, może jednak znacznie zmniejszyć straty.

Przykłady analiz długoterminowych ekosystemów i ich części składowych (gatunków, zespołów) wskazują, że im bardziej naturalny (a zwykle również skomplikowany) jest system, tym większa zdolność powrotu do stanu przed katastrofą. Jest to jednak możliwe tylko w przypadku istnienia żywotnych populacji położonych poza miejscami lokalnej katastrofy. Rodzi to nowe wyzwania dla współczesnej ochrony przyrody i wskazuje, że ochrona powinna koncentrować się nie tylko na miejscach przyrodniczo najcenniejszych, ale też systemowo powinno się dążyć do zachowania w jak najlepszym przyrodniczo stanie również innych miejsc. Z nich bowiem, w przypadku katastrofy i zniszczenia miejsc najcenniejszych, odbywa się dyspersja i kolonizacja zniszczonych obszarów.

Warto przyjąć perspektywę holistyczną i przemyśleć strategię zabezpieczeń przed ekstremami pogodowymi. Na przykład, zabezpieczając się przed powodzią możemy położyć nacisk na wzmacnianie zabezpieczeń strukturalnych, przyzwyczajenie się do “życia z powodzią”, bądź trwale opuszczenie terenów zagrożonych. Dyrektywa powodziowa Unii Europejskiej wymaga „gospodarowania ryzykiem” (ang. risk management). Ryzyka nie da się zmniejszyć do zera. Choć nie wszyscy jesteśmy tego świadomi, żyjemy z ryzykiem. Zabezpieczenia projektowane są na określoną amplitudę, a więc nie wystarczą, jeśli pojawi się silniejsze ekstremum.

CLIMATIC EXTREMES: LONG-TERM CHANGES AND THEIR IMPACTS

Summary

Material damages caused by weather-related extreme events have dramatically increased worldwide in the last few decades. Explanations of these events can be sought *via* changes in physical, terrestrial, climate and socio-economic systems. Some types of weather events have become increasingly extreme and strengthening of this tendency is projected for the future. Increase in intense precipitation resulting from world warming has been already observed, with all possible consequences of flooding. Human encroaching into the harm's way and increase in the damage potential in floodplains are often the dominating factors in the rising flood

damages. Projections for the future, based on regional climate models, indicate increased risks of flood in many areas. Yet, risk of snowmelt and ice-jam floods has decreased for the most part of Europe. Increase in very dry land areas has been already noted. Further increase in dry land areas, and intensity, frequency, and severity of droughts is projected, due to ubiquitous higher temperatures and reduced, annual or seasonal, precipitation in some regions. Heat waves become increasingly frequent in summer affecting ageing European society. Impacts of extreme weather events are discussed, including the environmental track.

LITERATURA

- DAI A., TRENBERTH K. E., QIAN T., 2004. *A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming*. J. Hydrometeorol. 5, 1117–1130.
- DALE V. H., LUGO A. E., MACMAHON J. A., PICKETT S. T. A., 1998. *Ecosystem management in the context of large, infrequent disturbances*. Ecosystems 1, 546–557.
- GRANICZNY M., MIZERSKI W., 2007. *Katastrofy przyrodnicze*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
- HOLMGREN M., STAPP P., DICKMAN C. R., GRACIA C., GRAHAMS S., HICE C., JAKSIC F., KELT D. A., LETNIC M., LIMA M., LÓPEZ B. C., MESERVE P. L., MILSTEAD W. B., POLIS G. A., PREVITALI M. A., RICHTER M., SABATÉ S., SQUEO F. A., 2006. *Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems*. Front. Ecol. Environ. 4, 87–95.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Summary for Policymakers*. [W:] *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K. B., TIGNOR M., MILLER H. L. (red.). Cambridge University Press, Cambridge, New York, NY.
- JIGUET F., JULLIARD R., THOMAS C. D., DEHORTER O., NEWSON S. E., COUVET D., 2006. *Thermal range predicts bird population resilience to extreme high temperatures*. Ecology Lett. 9, 1321–1330.
- KATZ R. W., BRUSH G. S., PARLANGE M. B., 2005. *Statistics of extremes, modeling ecological disturbances*. Ecology 86, 1124–1134.
- KUNDZEWICZ Z. W., JÓZEFczyk D., 2008. *Temperature-related climate extremes in the Potsdam observation record*. Geografia (Praga), w druku.
- KUNDZEWICZ Z. W., GRACZYK D., MAURER T., PIŃSKWAR I., RADZIEJEWSKI M., SVENSSON C., SZWED M., 2005. *Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow*. Hydrol. Sci. J. 50, 797–810.
- KUNDZEWICZ Z. W., RADZIEJEWSKI M., PIŃSKWAR I., 2006. *Precipitation extremes in the changing climate of Europe*. Clim. Res. 31, 51–58.
- KUNDZEWICZ Z. W., GERSTENGARBE F.-W., ÖSTERLE H., WERNER P. C., FRICKE W., 2008. *Recent anomalies of mean temperature of 12 consecutive months – Germany, Europe, Northern Hemisphere*. Theor. Appl. Climatol. DOI 10.1007/s00704-008-0013-9.
- KYSELÝ J., KRÍŽ B., (2008). *Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response?* Int. J. Biometeorol. (w druku); DOI 10.1007/s00484-008-0166-3.
- MENZEL A., 2003. *Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO*. Clim. Change 57, 243–263.
- MILLS E., 2005. *Insurance in a climate of change*. Science 309, 1040–1044.
- MILLY P. C. D., WETHERALD R. T., DUNNE K. A., DELWORTH T. L., 2002. *Increasing risk of great floods in a changing climate*. Nature 415, 514–517.
- NEW M., HULME M., JONES P. D., 1999. *Representing twentieth century space-time climate variability, part I: development of a 1961–90 mean monthly terrestrial climatology*. J. Climate 12, 829–856.
- PALMER T. N., RÄISÄNEN J., 2002. *Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate*. Nature 415 512–514.
- PARMESAN C., ROOT T. L., WILLIG M. R., 2000. *Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota*. Bull. Am. Meteorol. Soc. 81, 443–450.
- ROSENZWEIG C., KAROLY D., VICARELLI M., NEOFOTIS P., WU Q., CASASSA G., MENZEL A., ROOT T. L., ESTRELLA N., SEGUIN B., TRYJANOWSKI P., LIU C., RAWLINS S., IMESON A., 2008. *Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change*. Nature 453, 353–358.
- SÆTHER B.-E., LANDE R., ENGEN S., WEIMERSKIRCH H., LILLEGAARD M., ALTWEGG R., BECKER P. H., BREGNBALLE T., BROMMER J. E., MCCLEERY R., MÉRILÄ J., NYHOLM E., RENDELL W., ROBERTSON R. R., TRYJANOWSKI P., VISSER M. E., 2005. *Generation time and temporal scaling of bird population dynamics*. Nature 436, 99–102.
- SCHÄR C., VIDALE P. L., LUTHI D., FREI C., HABERLI C., LINIGER M. A., APPENZELLER C., 2004. *The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves*. Nature 427, 332–336.
- SCHAEFFER M., CARPENTHER S., FOLEY J. A., FOLKE C., WALKER B., 2001. *Catastrophic shifts in ecosystems*. Nature 413, 591–596.
- TRENBERTH K. E., JONES P. D., AMBENJE P., BOJARIU R., EASTERLING D., KLEIN TANK A., PARKER D., RAHIMZADEH F., RENWICK J. A., RUSTICUCCI M., SODEN B., ZHAI P., 2007. *Observations: surface and atmospheric climate change*. [W:] *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K. B., TIGNOR M., MILLER H. L. (red.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- TRYJANOWSKI P., JERZAK L., RADKIEWICZ J., 2005. *Effect of water level and livestock on the productivity and numbers of breeding White Storks*. Waterbirds 28, 378–382.
- TRYJANOWSKI P., SPARKS T. H., PROFUS P., 2008. *Severe flooding causes a crash in production of white stork (Ciconia ciconia) chicks across Central and Eastern Europe*. Basic Appl. Ecol. (w druku).
- WEATHERHEAD P. J., 1986. *How unusual are unusual events?* Am. Nat. 128, 150–154.