

ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ

Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu

KŁĘSKI ŻYWIOŁOWE – OBSERWACJE, PROJEKCJE I MOŻLIWOŚCI PRZECIWDZIAŁANIA

Abstract: Natural Disasters – Observations, Projections and Possibilities of Counteraction. Weather-caused damages, worldwide have dramatically increased in the last few decades. Tendency of extreme weather events in some categories getting increasingly extreme is projected for the future. Increase in flood risks is projected in many areas, due to increase of frequency and amplitude of intense precipitation in the warming world. Yet, snowmelt and ice-jam floods decrease in Poland and much of Europe. Increase in dry land areas, and intensity, frequency, and severity of droughts is projected. Heat waves have become increasingly frequent in summer and affect increasingly ageing European (and Polish) society.

Wstęp

Kłęski żywiołowe, nazywane też katastrofami naturalnymi, spowodowane są wystąpieniem szczególnie niskich lub szczególnie wysokich wartości pewnych zmiennych geofizycznych, na obszarze wrażliwym na ekstrema. Wartości wszystkich zmiennych geofizycznych ulegają wahaniom, przybierając niekiedy ekstremalnie niskie lub ekstremalnie wysokie wartości. Nie wszystkie wystąpienia ekstremalnych wartości zmiennych geofizycznych powodują jednak straty. Zależy to od potencjału strat na obszarze wystąpienia zjawiska. Jeśli ekstremalna wartość zmiennej geofizycznej wystąpi na obszarze o znacznej podatności i wysokim potencjale strat, mogą pojawić się znaczne szkody (ekonomiczne, zdrowotne, społeczne i środowiskowe).

Katastrofy naturalne wiążą się z różnymi podsystemami geosfery – atmosferą, hydrosferą, litosferą. Mogą być wywołane przez zjawiska meteorologiczne (pogodowe) i hydrologiczne (nadmiar lub niedobór wody), przez zjawiska związane z litosferą – trzęsienia Ziemi i erupcje wulkanów, a także zjawiska oceaniczne – tsunami.

1. Klęski żywiołowe w Polsce w ostatnim 20-leciu

Mimo że Polska nie jest krajem szczególnie narażonym na niszczące katastrofy naturalne (np. w porównaniu z Japonią), jednak i w naszym kraju występują klęski żywiołowe. Dominują klęski żywiołowe związane ze zjawiskami meteorologiczno-hydrologicznymi. Nasz kraj nie jest jednak wolny od zagrożeń sejsmicznych (np. liczne mikrowstrząsy na terenach znajdujących się obecnie lub w przeszłości pod wpływem górnictwa; czy też silniejsze wstrząsy zaobserwowane 21 września 2004 r. na rubieżach Rzeczypospolitej, z epicentrum w regionie Kaliningradu). Nasilający się efekt globalnej wioski powoduje, że Polacy są wśród ofiar klęsk żywiołowych w innych krajach, np. tsunami z 26 grudnia 2004 r., które zdewastowało wybrzeża Azji Południowo-Wschodniej.

Klęski żywiołowe w Polsce są na ogół wywołane przez ekstrema klimatyczne. Mogą dotyczyć temperatury (temperatura bardzo niska lub bardzo wysoka), nadmiaru wody w stosunku do „normy” – ekstremalne opady i przeptywy (stany wód i ich konsekwencje – powódź, osuwisko, lawina błotna), lub niedoboru wody (susza meteorologiczna, hydrologiczna czy rolnicza, tzn. niskie wartości opadów, przeptywów rzecznych i stanów wody w rzekach, jeziorach, czy gruncie, wilgotność gleby). Inne kategorie klęsk żywiołowych związanych z pogodą w Polsce, które też mogą prowadzić do znacznych strat obejmują szadź, gołoledź, mgłę, silny wiatr, piorun, pożar lasu, a także obfitość śniegu (ekstremalna pokrywa śnieżna; lawina śnieżna) czy też ekstremalnie długi brak pokrywy śnieżnej (np. wskutek niskich opadów śniegu lub wysokich temperatur).

W ostatnich dekadach wydarzyło się w Polsce wiele ekstremalnych zjawisk, w tym: dotkliwe powódzie w latach 1997, 1998 i 2001, fale upałów w 2006 r., majowe przymrozki w 2007 r., wielkoobszarowe pożary lasów w 1992 r., susze w 1992 i 2006 r., obfita pokrywa śnieżna zimą 2005-2006 (ale częściej – brak pokrywy śnieżnej), i wiele silnych wichur.

W lecie 2008 r. nie wystąpiła w Polsce katastrofa naturalna o znacznych rozmiarach, niemniej jednak miały miejsce trzy grupy zdarzeń klimatycznych o umiarkowanej intensywności. Zaobserwowano okres z niedoborem opadów w stosunku do „normy” (o negatywnych konsekwencjach w rolnictwie), okres z nadmiarem opadów (w tym z opadami intensywnymi i niewielkimi powodziami) oraz wiele okresów silnych wiatrów, które spowodowały znaczne straty.

Przybylak *et al.* (2007) analizowali indeks ekstremów klimatycznych (*Climate Extremes Index*, CEI, będący roczną średnią arytmetyczną z pięciu wskaźników cząstkowych związanych z ekstremami temperatury i opadu) w Polsce w latach 1951-2005, znajdując tendencję wzrostową, ale bez statystycznej istotności.

Najpoważniejszą klęską żywiołową ostatniego 20-lecia była powódź w dorzeczu Odry i Wisły w lipcu 1997 r., powodująca ponad 50 ofiar śmiertelnych i kilkumiliardowe straty (Kundzewicz *et al.* 1999). Również susze dawały się we znaki – okres

znacznego niedoboru opadów od połowy czerwca do końca lipca 2006 r. spowodował znaczne straty w produkcji rolniczej.

Istnieje hipoteza o wzroście częstotliwości i siły wichur. Na podstawie danych z tzw. reanalizy, Araźny *et al.* (2007) zauważyli istotny statystycznie wzrost średniej prędkości wiatru oraz liczby dni z silnym wiatrem. Na terenie Polski wystąpiło w ostatnich latach wiele ekstremalnie silnych burz i wiatrów, powodujących znaczne szkody w leśnictwie (wiatrołomy) i infrastrukturze (dotkliwe straty budowlane – zerwane dachy, przewody elektryczne). Szczególnie groźne, choć w skali lokalnej, jest częstsze występowanie nieprzewidywalnych krótkotrwałych wiatrów typu trąb powietrznych. W sierpniu 2007 r., „biały szkwał” na Mazurach spowodował śmierć 12 osób.

Ekstremalnie wysoka pokrywa śnieżna w znacznej części Polski występuje rzadziej (ostatnio – zimą 2005/2006). Podczas trwania wystawy gołębi pocztowych, 28 stycznia 2006 r., pod ogromnymi masami śniegu zawalił się dach hali Międzynarodowych Targów Katowickich. Zginęło 65 osób.

Bardziej typowe stają się jednak w Polsce ciepłe i bezśnieżne zimy, które występują coraz częściej. Brak śniegu zimą w górach powoduje dramatyczne konsekwencje gospodarcze dla regionów, w których obsługa turystów uprawiających sporty zimowe jest ważnym źródłem dochodów ludności. Podczas zimy 2006/2007 z południa Polski dochodziły liczne głosy sugerujące potrzebę ogłoszenia stanu klęski żywiołowej związanej z ekstremalnym brakiem śniegu (i – w efekcie – drastycznym zmniejszeniem oczekiwanych zarobków).

Łagodniejsze ekstrema temperaturowe w okresie zimy wywołują mieszane skutki. Siarczysty mróz występuje rzadziej, a temperatura minimalna jest znacznie wyższa niż dawniej. Mniejsza jest więc zachorowalność i śmiertelność ludzi (uwaga: jeśli mimo ogólnie cieplejszych zim zdarzy się w Polsce okres siarczystego mrozu, giną ludzie – szczególnie osoby pozostające pod wpływem alkoholu), lepsze jest zimowanie roślin. Jednak cieplejsze zimy wpływają na wzrost prawdopodobieństwa rozwoju pasożytów i patogenów. Wzrost wartości temperatury minimalnej zimą i zmniejszenie się pokrywy śnieżnej w Polsce wywołują spadek zapotrzebowania na energię, zmniejszenie niektórych problemów w transporcie drogowym (gołoledź, nieprzejezdne drogi zasypane śniegiem), powodzi roztopowych i zatorów lodowych.

Mroźne noce i zimne dni zdarzają się coraz rzadziej, a ciepłe noce i gorące dni zdarzają się coraz częściej. Jednak mimo to, że niskie wartości temperatur (np. przymrozki) już teraz zdarzają się rzadziej niż w poprzednich dekadach, późne majowe przymrozki w 2007 r. (występujące mimo rekordowo wysokich temperatur średnich w całym pierwszym półroczu 2007 r.) w znacznej części Polski bardzo dotkliwie uderzyły w uprawy roślin wrażliwych (np. brzoskwinia, orzech włoski) i spowodowały znaczne straty w sadownictwie w wielu rejonach Polski.

2. Katastrofy naturalne – tło światowe

Straty wywołane zjawiskami ekstremalnymi, globalnie i w Europie, wykazują gwałtowny trend rosnący na przestrzeni czterech ostatnich dekad. Straty materialne wywołane ekstremalnymi zdarzeniami meteorologicznymi i hydrologicznymi wzrosły 8-krotnie (uwzględniając inflację w latach 60.-90. XX w.; a więc szybciej niż liczba ludności, produkt globalny i wysokość składek ubezpieczeniowych. Straty ubezpieczone wzrosły w tym czasie jeszcze bardziej, bo aż 17-krotnie (Mills 2005).

Globalne straty materialne podlegające ubezpieczeniu i straty całkowite wywołane ekstremami klimatycznymi w 2004 r. wynosiły, odpowiednio, 45 i 107 mld US\$. Zaobserwowano wyraźny wzrost negatywnych skutków społecznych i ekonomicznych spowodowanych katastrofami naturalnymi.

Istnieją liczne przesłanki do stwierdzenia, że w wielu regionach globu, w tym w Europie, niektóre zjawiska ekstremalne (np. fale upałów i susze, intensywne opady, powodzie i tropikalne cyklony, pożary lasów, sztormy, huragany, osuwiska i lawiny) stają się bardziej intensywne i coraz częściej przybierają rozmiar katastrof.

2.1. Powodzie

W wielu regionach powodzie są najczęściej odnotowywaną katastrofą naturalną, która przeciętnie dotyka ponad 100 mln ludzi rocznie na całym świecie, a Azja jest kontynentem, który doświadcza jest najbardziej. W Bangladeszu, podczas powodzi w 1998 r., ponad 70% obszaru kraju znalazło się pod wodą.

Niszczące powodzie, zaobserwowane w ostatnich dekadach na całym świecie, doprowadziły do rekordowo wysokich strat materialnych. W ostatnim okresie, w każdej z kilku katastrofalnych pojedynczych powodzi, straty materialne przekroczyły 10 mld US\$. W krajach słabiej rozwiniętych liczba ofiar, spowodowanych przez niejedną wielką powódź wciąż przekracza 1000. Większość śmiertelnych ofiar powodzi notujemy poza Europą, zwłaszcza w Azji (np. w Chinach, Indiach, Bangladeszu). Podczas lata w 1998 r. powódź w Chinach spowodowała 30 mld US\$ strat materialnych i przyniosła śmierć ok. 3500 ludziom, a wcześniejsza z 1996 r. – spowodowała 26,5 mld US\$ strat oraz ok. 2700 ofiar.

W ostatnich dekadach duże powodzie nękały również znaczny obszar naszego kontynentu. Od 1950 r. mieliśmy do czynienia z 12 powodziami w Europie (powodzie rzeczne i sztormowe), w każdej z nich liczba ofiar przekraczała 100 (Barredo 2007). Wśród nich należy wyróżnić pięć przypadków, które miały miejsce we Włoszech (1951, 1954, 1966, 1968, 1998), po dwa w Rumunii (1970, 1991) i Hiszpanii (1962, 1973). Tylko jedna zabójcza powódź, która dotknęła Hiszpanię w 1962 r., spowodowała śmierć 1000 osób.

Również wiele dotkliwych powodzi w Europie (powodzie rzeczne i sztormowe), wydarzyło się po 2000 r., w większości wskutek intensywnych opadów. Najbardziej

niszcząca okazała się powódź z sierpnia 2002 r., kiedy to w pięciu krajach (Czechy, Niemcy, Austria, Węgry i Rumunia) śmierć poniosło 55 osób, a straty materialne sięgnęły 20 mld US\$. Miesiąc później, we wrześniu 2002 r., inna ogromna powódź nawiedziła Francję, przynosząc śmierć 23 osobom i straty rzędu 1,2 mld US\$, powodując tym samym, że rok 2002 w Europie dał najwyższe straty materialne spowodowane powodzią. Poważne powodzie nawiedziły także Wyspy Brytyjskie w październiku i listopadzie 2000 r., gdzie śmierć poniosło 13 osób, a straty wyniosły ponad 8,9 mld US\$. Kilka fal intensywnych opadów doprowadziło w 2005 r. do powodzi w Rumunii; zginęły dziesiątki ludzi, a straty oszacowano na ponad 1 mld US\$. W tym samym roku, w sierpniu kilka innych krajów europejskich doświadczyło poważnych powodzi, również ze stratami przekraczającymi 1 mld US\$. W czerwcu i lipcu 2007 r., w rezultacie wystąpień kilku fal intensywnych opadów, odnotowano powódź na części obszaru Wielkiej Brytanii, która spowodowała 8 mld US\$ strat oraz 6 mld US\$ szkód ubezpieczonych.

Mimo że większość dramatycznych powodzi w czasie ostatnich kilku dekad w Europie była wywołana intensywnym opadem, a zaleganie pokrywy śnieżnej w cieplejszym świecie maleje, to jednak wydarzyło się również kilka poważnych powodzi, spowodowanych gwałtownym topnieniem śniegu. Tak było podczas zimy 2005/2006, która przyniosła długotrwałe mrozy i obfite opady śniegu, więc na znacznym obszarze Europy zalegała pokrywa śnieżna. Gwałtowne topnienie śniegu (na niektórych obszarach spotęgowane dodatkowo intensywnym opadem atmosferycznym) dało w rezultacie powodzie w wielu krajach, m.in. Rumunii, Węgrzech, Grecji, Turcji, Bułgarii, Serbii-Czarnogórze, Czechach, Słowacji, Niemczech, Austrii.

2.2. Susze, fale upałów i inne klęski żywiołowe

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 (New *et al.* 1999). Oprócz wzrostu ryzyka wystąpień 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 *et al.* (2004) pokazali, że globalna powierzchnia obszarów bardzo suchych wzrosła ponad dwukrotnie od lat 70. XX w.

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 mld US\$.

Wiele ekstremów ma formę złożoną. Jednocześnie natura bije rekordy deficytu opadów i wysokiej temperatury. Podczas gorącego lata (od czerwca do połowy

sierpnia) 2003 r., temperatury w znacznej części Europy były rekordy, wyraźnie przekraczając średnie wieloletnie. Fale upałów w lecie 2003 r. w Europie spowodowały kilkadziesiąt tysięcy przypadków dodatkowych zgonów. Upałam w lecie 2003 r. w znacznej części Europy towarzyszył długotrwały brak opadów, wskutek czego nastąpił 30% spadek produkcji pierwotnej ekosystemów, a wartość strat w rolnictwie przekroczyła 13 mld euro. Zanotowano utrudnienia i straty w zaopatrzeniu w wodę, w żegludze i energetyce, a także liczne pożary lasu. Ocenia się, że susza w sierpniu 2003 r. spowodowała w Europie straty przekraczające 18 mld USS. Warto zwrócić uwagę, że poprzedniego lata (2002) wystąpiła w Europie seria wielkich powodzi, powodujących także wielomiliardowe straty.

Na szczęście, do tej pory jeszcze nie wystąpiły w Polsce 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⁻¹, co odpowiada huraganowi. Liczba ofiar podczas sztormu wynosiła co najmniej 17 (plus dalsze ofiary wypadków przy pozyskiwaniu drewna z wiatrolomów). Straty w lasach przekraczały 75 000 000 m³ wiatrolomów w południowej Szwecji. Około 341 000 szwedzkich domów wichura pozbawiła energii elektrycznej. O uciążliwościach katastrofy dla zamieszkującego i wysoko rozwiniętego społeczeństwa Szwecji może świadczyć to, że aż ok. 10 000 domów było ciągle bez prądu jeszcze po 3 tygodniach.

Wyraźne ocieplenie klimatu można zauważyć prawie w każdym punkcie globu, w różnych skalach czasowych i przestrzennych (IPCC 2007). Rekordowo ciepły był globalnie rok 1998, a w Polsce – rok 2000 (na niektórych stacjach – 2007, 2008). 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 okresie od lipca 2006 do czerwca 2007 r., i to w kilku skalach przestrzennych (pojedyncze stacje, regiony, kraje, Europa, a nawet półkula północna), zob. opracowanie Kożuchowskiego w tym tomie i Kundzewicz *et al.* (2008a). Aż 13 z ostatnich 14 lat należy do listy 14 lat z najwyższą średnią temperaturą globalną od 1850 r. (od którego zestawiono dla każdego roku wartości temperatury globalnej). Począwszy od kwietnia 2006 r. (włącznie), żaden z miesięcy nie był, po względem temperatury średniej na stacji Warszawa-Okęcie, poniżej zakresu wartości „normalnych” (interpretacja – wartości średnie temperatury miesięcznej z wielolecia +/- pół odchylenia standardowego).

Wydatnym zmianom ulegają wartości ekstremalne takich zmiennych hydroklimatycznych, jak: wartości maksymalne i minimalne i temperatury dobowej (na ogół temperatura maksymalna w dzień i minimalna w nocy), dla wszystkich pór roku.

Zdaniem wielu ekspertów (IPCC 2007) rośnie zmienność klimatu. Mimo cieplejszych zim, okres, w którym mogą wystąpić przymrozki, nie staje się krótszy. Pierwszy przymrozek jesienny, a nawet fala krótkotrwałych mrozów, może zdarzyć się bardzo wcześnie, a najpóźniejszy przymrozek wiosenny – bardzo późno.

3. Niech przemówią dane

Cennym, i dostępnym bezpłatnie (w Internecie – zob. www.klima-potsdam.de), długim szeregiem czasowym zmiennych meteorologicznych jest ciąg obserwacji na „Wiekowej” Stacji Meteorologicznej w Poczdamie. Na stacji tej, położonej z dala od zabudowy miejskiej, warunki otoczenia nie uległy zmianie. Klimat Poczdamu jest zbliżony do klimatu Wielkopolski. Dostępny jest nieprzerwany ciąg wartości dobowych szeregu zmiennych mierzonych na poczdamskiej stacji od 1 stycznia 1893 r. (Kundzewicz, Józefczyk 2008).

Przegląd rekordów zaobserwowanych na tej stacji wyraźnie potwierdza tezę, że ekstrema „zimne” częściej zdarzały się dawniej, a ekstrema „ciepłe” częściej występują obecnie. Tabele 1 i 2 przedstawiają liczbę dób w styczniu z poszczególnych lat z okresu półwiecza 1960-2009, odpowiednio, z temperaturą minimalną poniżej -10°C (bardzo mroźne noce) oraz z temperaturą maksymalną powyżej $+10^{\circ}\text{C}$ (bardzo ciepłe dni). W tabelach uwzględniono tylko te lata, w których zaobserwowano przynajmniej jedno wystąpienie ciepłego lub zimnego ekstremum. W latach nie uwzględnionych w tabelach liczba wystąpień ekstremów zdefiniowanych powyżej wynosiła zero.

Najwięcej dób w styczniu z temperaturą minimalną poniżej -10°C zaobserwowano w 1963 r., a najwięcej dób w styczniu z temperaturą maksymalną powyżej $+10^{\circ}\text{C}$ zaobserwowano w 2007 r. Choć w styczniu 2009 r. wystąpiło aż 6 dób z temperaturą minimalną poniżej -10°C , jest to liczba znacznie mniejsza niż rekordy z wcześniejszych zim ostatniego 50-lecia (18 w 1987 r., czy 21 w 1963 r.). Wystąpienie dób z temperaturą maksymalną powyżej $+10^{\circ}\text{C}$ było kiedyś bardzo rzadkie – w ciągu całej dekady lat 60. sytuacja taka wystąpiła tylko jeden raz. W ciepłym styczniu 2007 r. dób takich było 9, a więc 9 razy więcej niż w całym dziesięcioleciu 1960-1969.

Tabela 1

Liczba dób w styczniu z temperaturą minimalną poniżej -10°C
dla „Wiekowej” Stacji Meteorologicznej w Poczdamie w okresie 1960-2009

2009	6	1995	3	1979	7	1964	8
2006	5	1993	6	1976	4	1963	21
2004	4	1992	1	1972	7	1962	1
2003	5	1987	18	1971	7	1961	7
2002	2	1986	3	1970	10	1960	4
2000	2	1985	15	1969	2		
1999	1	1982	9	1968	5		
1997	4	1981	1	1967	3		
1996	6	1980	7	1966	5		

Źródło: Zestawienie dokonane przez autora na podstawie danych dostępnych w portalu www.klima-potsdam.de (tab. 1 i 2).

Tabela 2

Liczba dób w styczniu z temperaturą maksymalną powyżej +10°C
dla „Wiekowej” Stacji Meteorologicznej w Poczdamie w okresie 1960-2009

2008	3	1993	7	1965	1
2007	9	1992	1		
2005	4	1991	2		
2002	8	1990	4		
2000	1	1989	1		
1999	8	1988	4		
1998	2	1977	1		
1995	3	1975	2		
1994	1	1974	3		

Warto zauważyć, że w niektórych latach (1992, 1993, 1995, 1999, 2000, 2002) w tym samym styczniu występowały zarówno doby z temperaturą maksymalną powyżej +10°C, jak i doby z temperaturą minimalną poniżej -10°C. Sytuacja taka nie zdarzyła się w latach 1960-1991.

Dane z Poczdamu wskazują na bardzo silną zmienność naturalną. Tabele 3 i 4 ilustrują średnie miesięczne z maksymalnych temperatur dobowych w lecie w Poczdamie od 1893 do 2008 r. i z minimalnych temperatur dobowych w zimie, od 1893 do 2009 r. Choć ciepłe maksima zdarzają się częściej, a zimne maksima – rzadziej, rekord najcieplejszego czerwca padł już dawno (1917 r.), a drugi najcieplejszy sierpień zanotowano w 1944 r. Warto przypomnieć, że tylko 4 lata wcześniej, w styczniu 1940 r. padł rekord najzimniejszego stycznia.

Tabela 3

Najwyższe i najniższe średnie miesięczne
wartości temperatury maksymalnej w lecie
w Poczdamie od 1893 do 2008 r.

	Czerwiec		Lipiec		Sierpień	
	rok	temperatura (°C)	rok	temperatura (°C)	rok	temperatura (°C)
najcieplejszy	1917	27,15	2006	30,3	1997	28,09
2 ^{gi} najcieplejszy	1992	26,59	1994	29,26	1944	27,97
...						
2 ^{gi} najzimniejszy	1984	18,39	1954	19,55	1941	19,79
najzimniejszy	1923	15,62	1898	19,33	1902	19,54

Źródło: Kundzewicz, Józefczyk (2008); po aktualizacji (tab. 3 i 4).

Tabela 4

Najwyższe i najniższe średnie miesięczne
wartości temperatury minimalnej w zimie
w Poczdamie od 1893 do 2008 r.

	Grudzień		Styczeń		Luty	
	rok	temperatura (°C)	rok	temperatura (°C)	rok	temperatura (°C)
najcieplejszy	2006	2,80	2007	2,24	1998	2,41
2 ^{gi} najcieplejszy	1974	2,49	1975	2,13	1990	2,15
...						
2 ^{gi} najzimniejszy	1933	-6,85	1893	-12,76	1956	-13,35
najzimniejszy	1969	-8,99	1940	-13,52	1929	-15,43

Choć zmniejsza się w czasie średnia liczba dób z przymrozkiem i liczba dni mroźnych w roku, zmienność (np. mierzona przez wariancję) jest silna. Jak wynika z analizy danych z Poczdamu, w ciągu ostatnich 13 lat, natura ustanowiła rekordy zarówno w kategorii najniższej dób z przymrozkiem w roku (52 doby w zimie 2006/2007), jak i najwyższej liczby dób z przymrozkiem. Najwięcej dób z przymrozkami zanotowano w 1995/1996 (133), w 1894/1895 (132) i w 1939/1940 (127). Warto również zwrócić uwagę na dawny rekord w kategorii trzylatek – wystąpienie trzech kolejnych srogich zim w ponurym okresie od 1939/1940, 1940/1941 i 1941/1942 z wieloma przymrozkami (odpowiednio – 127, 122, i 124). Najmniej dób z przymrozkami zanotowano w zimie 2006/2007 (52), w 1999/2000 (54) i w 1973/1974 (55).

Podobnie zachowują się ekstrema letnie. Rośnie w czasie średnia liczba dni gorących i liczba dni letnich w roku, ale zmienność (np. mierzona przez wariancję) nie maleje (por. Kundzewicz, Józefczyk 2008, Kundzewicz, Kowalczak 2008).

Choć tendencje są wyraźne, rekordy absolutne zmiennych klimatycznych w różnych kategoriach nie odzwierciedlają charakteru tendencji – wyraźnie widać silną składową losową. Maksymalną i minimalną temperaturę dobową (odpowiednio 39,1°C i -26,8°C) zanotowano 09.08.1992 i 11.02.1929. Najdłuższy okres gorący (z $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ każdego dnia) przypadł na 23.07-06.08.1969 (15 dni). Najwcześniejszym gorącym dniem w roku był 22.04.1968, kiedy $T_{\max}$ przyjmowała wartość 31,8°C, a najpóźniejszym – 20.09.1947 (32,9°C). Najdłuższy okres mroźny (z $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ każdej doby) miał długość 37 dni (21.01-26.02.1947). Najwcześniejszy przymrozek w roku zaobserwowano 02.10.1957 (-0,1°C), a najpóźniejszy 20.05.1952 (-0,8°C). Najwcześniejszy letni dzień w roku (z temperaturą $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) wystąpił 30.03.1968 (25,7°C), a najpóźniejszy 10.10.1995 (25,3°C). Maksymalny opad dobowy (105,7 mm) zmierzono 08.08.1978. Najdłuższy okres suchy (bez opadów atmosferycznych), 32 dni, zaobserwowano od 19.09 do 20.10.1949, a najdłuższy okres wilgotny (z opadami atmosferycznymi każdego dnia) – od 02.02 do 06.03.1970 (33 dni). Tej zimy zanoto-

wano też w Poczdamie maksymalną głębokość śniegu (70 cm 06.03.1970) oraz najdłuższy, 113-dniowy okres z pokrywą śnieżną, która pojawiła się 01.12.1969 i trwała aż do 23.03.1970.

4. Mechanizmy zmian zagrożeń

Za częstsze występowanie klęsk żywiołowych i wzrost spowodowanych nimi strat odpowiedzialne są różne mechanizmy – procesy społeczno-ekonomiczne; zmiany użytkowania terenu, oraz efekty klimatyczne. Niewątpliwie, coraz wyższy jest potencjał strat spowodowanych katastrofami naturalnymi w bogacących się społeczeństwach.

Wszystkie problemy wodne można zaliczyć do trzech ogólnych kategorii: zbyt mało wody, zbyt dużo wody, lub – woda zbyt zanieczyszczona. 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 wiele czynników pozaklimatycznych, 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.

Odpowiedzialnością za częstsze występowanie ekstremów w ostatnim czasie niektórzy, a szczególnie media, łatwo obarczają zmiany klimatu. Czy za konkretną katastrofę naturalną można winić zmiany klimatu? To byłoby nadmierne uproszczenie. Sprawa odpowiedzialności zmian klimatu za wystąpienie konkretnego zjawiska jest skomplikowana. Składowa przebiegu czasowego przepływu, reprezentująca skutki zmian klimatu nakłada się na inną składową wynikającą bezpośrednio z antropopresji. Nad wszystkim dominuje jednak bardzo silna naturalna zmienność procesu przepływu. Wszak ekstrema pogodowe zdarzały się już wcześniej, od zarania dziejów, tyle że teraz zaobserwowane ekstrema są częstsze, silniejsze i bardziej dokuczliwe, mimo rozkwitu technologii i ogromnych nakładów na zabezpieczenia.

Zainteresowanie możliwymi konsekwencjami zmian klimatu narasta w miarę występowania częstych i intensywnych ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, a rosnące straty spowodowały zaniepokojenie światowego sektora ubezpieczeń i reasekuracji.

Działanie różnych mechanizmów zmian zagrożeń można łatwo prześledzić na przykładzie powodzi rzecznych, które są zazwyczaj spowodowane długotrwałymi i intensywnymi opadami deszczu, gwałtownym topnieniem dużej ilości śniegu, albo połączeniem obydwu tych zjawisk. Na rozmiar powodzi ma też wpływ niemożność wsiąkania (np. wskutek nasycenia wodą gruntu, zamarznięcia, czy procesów urbanizacji wzmagających nieprzepuszczalność powierzchni). Ponadto, do powodzi mogą

doprowadzić zjawiska lodowe, katastrofa zapory, czy np. wielkie osuwisko skarpy do zbiornika, które wypycha z niego masy wodne.

Antropopresja ogranicza możliwość wsiąkania wody – nieprzepuszczalne są na ogół powierzchnie parkingów, dachów budynków, szos i chodników. Woda ma coraz mniej możliwości naturalnej retencji. Ulewny opad odpływa do rzek, które też zostały przez człowieka mocno zmodyfikowane, wyprostowane, ujęte w ciasny „gorset” obwałowań. Efektem zmian w samych korytach rzek i zmian użytkowania terenów w zlewni jest coraz wyższy odpływ, szybszy i wyższy szczyt fali powodziowej, będącej odpowiedzią systemu na intensywny opad.

Prawa fizyki orzekają, że cieplejsza atmosfera może pomieścić więcej wody. Linearyzując tzw. równanie Clausiusa-Clapeyrona zauważamy, że ociepleniu o 1°C odpowiada wzrost pojemności wodnej atmosfery o 7%. W cieplejszej atmosferze zaobserwowano więc już większą zawartość pary wodnej, co prowadzi do wzrostu potencjału intensywnych opadów, które mogą spowodować powódź. W efekcie, zauważono wzrost częstotliwości silnych opadów (a także udziału opadów intensywnych w rocznej sumie opadu) z konsekwencjami dla ryzyka powodzi.

Nie jest jasne, czy w cieplejszym świecie należy obawiać się częstszych, a bardzo niechcianych odwiedzin tzw. cyklonu genueńskiego (system Vb), odpowiedzialnego za powódzie w Polsce w 1997 i 2001 r. W sierpniu 2002 r., wystąpienie systemu Vb doprowadziło do dramatycznej powodzi w Czechach i Niemczech. Deszcze o nie notowanej dotąd intensywności (do 352 mm w ciągu 24 godzin) wystąpiły niedaleko od granic Polski. Mieliliśmy szczęście, że ogromna atmosferyczna „gąbka” napęczniona wodą wypróżniła się nad dorzeczem Łaby sąsiadującym z dorzeczem Odry, a nie np. nad Kotliną Kłodzką. Wielka woda w dorzeczu Odry była jednak tuż tuż.

Powódzie są skomplikowanymi zjawiskami, wywoływanymi przez wiele mechanizmów (intensywne i/lub długotrwałe opady deszczu, topnienie śniegu, zator lodowy), więc potrzebna jest ostrożność w formułowaniu ogólnych sądów. Na ogół ryzyko powodziowe rośnie tam, gdzie dominują powódzie opadowe, a maleje tam, gdzie dominują powódzie 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, percepcja i świadomość ryzyka, kultura kompensacji, ubezpieczenia).

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

Powierzchnia terenów zurbanizowanych (pokrytych w znacznym stopniu nieprzepuszczalną powierzchnią, uniemożliwiającą wsiąkanie wody) w zachodniej części Niemiec podwoiła się z 6% w 1950 do ok. 13% w 1995 r. Trwa tendencja do zasiedlania niebezpiecznych terenów (np. przez powstawanie nieformalnych osiedli na

terenach zalewowych, np. wokół ogromnych miast w krajach rozwijających się), przez to powiększając potencjalne straty. Rośnie majątek zgromadzony na terenach zagrożonych powodzią. W Japonii, np., połowa ludności i ok. 70% aktywów jest rozmieszczonych na terenach zalewowych, które pokrywają zaledwie ok. 10% powierzchni kraju.

Pielke i Downton (2000) studiowali szybkość zmian charakterystyk powodzi i wskaźników społeczno-ekonomicznych w USA w latach 1932-1997. Stwierdzili, że całkowite roczne straty powodziowe, po uwzględnieniu inflacji, rosły średnio w tempie +2,92% rocznie, a więc silniej niż liczba ludności (+1,26%) i majątek na głowę ludności (+1,85%, z uwzględnieniem inflacji). Znalezione istotne korelacje strat powodziowych z szeregiem charakterystyk opadu.

Wpływ klimatu na zaobserwowany wzrost strat jest prawdopodobny, jednak często czynnikiem dominującym jest wkraczanie ludzi na tereny zalewowe o dużym potencjale strat. Gromadząc dobra na terenach zagrożonych powodzią, sami przyczyniamy się do wzrostu strat. Przestrzeń dla rzeki została poważnie ograniczona przez rozwój gospodarczy tych terenów i eliminację mokradeł i obszarów podmokłych. Czas formowania i amplituda fali powodziowej w rzece zostały zmienione przez regulację rzek (prostowanie i skracanie koryta, budowa obwałowań), a to również ma wpływ na wielkość ryzyka powodzi.

5. Przewidywanie klęsk żywiołowych

Prognoza pogody na kilka dni jest niepewna, a na dłuższy okres – niemal niemożliwa. Niemniej jednak, można prognozować zmiany klimatu na wiele dziesięcioleci, na podstawie założonego poziomu atmosferycznych stężeń gazów cieplarnianych. Tendencja do zaostrzania ekstremów związanych z pogodą dotyczy, i to w jeszcze większym stopniu niż już dokonanych obserwacji, modelowych projekcji na przyszłość. Przewiduje się, że w cieplejszym świecie ekstremalne zjawiska klimatyczne mogą stać się bardziej intensywne.

W przyszłości, w cieplejszym klimacie wzrośnie ryzyko bardziej intensywnych, częstszych, i bardziej długotrwałych fal upałów. Przewiduje się spadek dobowej amplitudy, a także liczby dób z przymrozkami i częstości występowania fal mrozów, choć w niektórych obszarach, zmiany cyrkulacji mogą skomplikować sytuację (Trenberth *et al.* 2007).

W tabeli 5 przedstawiono zaobserwowane i prognozowane zmiany występowania tych ekstremów klimatycznych, które mają znaczenie na terenie Polski. Obserwacje dotyczące zmian szybkości wiatru są mniej przekonujące, ze względu na brak wiarygodnych długookresowych informacji, choć istnieją przesłanki uzasadniające wzrost ryzyka, w tym – zmiana torów i zasięgu cyklonów. Niedobłą okolicznością dla sektora zdrowia jest projekcja wzrostu liczby upalnych dni, o znacznej uciążliwości dla starzejącego się społeczeństwa polskiego. Natomiast dobrą wiadomością dla sektora zdrowia

Tabela 5

Ekstremalne zjawiska klimatyczne i zmiany prawdopodobieństwa ich wystąpienia, na podstawie obserwacji z przeszłości i projekcji na przyszłość

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 deszczów (albo wzrost udziału silnych deszczów w opadzie rocznym) na większości obszarów	Prawdopodobne	Bardzo prawdopodobne
Wzrost powierzchni obszarów zagrożonych suszą	Prawdopodobne na wielu obszarach po 1970 r.	Prawdopodobne

Źródło: IPCC (2007).

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.

W wielu rejonach (np. już gorących) ocieplenie klimatu odbije 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 alergienami.

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 (Kundzewicz *et al.* 2006). Może to prowadzić do wzrostu zagrożenia powodziowego, erozji wodnej, osuwisk terenu, a także wzrostu presji na administrację i systemy osłony przeciwpowodziowej oraz systemy ubezpieczeń, jakkolwiek intensywne opady i przebiegi powodziowe mogą zwiększyć zasilanie 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. Przewiduje się zmiany częstości wysokich przepływów (i stanów) rzecznych. Według projekcji, tzw. woda stuletnia (o prawdopodobieństwie przewyższenia w wysokości 0,01, a więc średnio raz na sto lat) we wszystkich zlewniach badanych przez Milly *et al.* (2002) może występować znacznie częściej przy czterokrotnym wzroście atmosferycznego stężenia CO₂ w stosunku do stanu obecnego. Według autorów dla warunków badanych na niektórych obszarach, powódź większa od tej uznawanej za 100-letnią w okresie kontrolnym może zdarzyć się w cieplejszym klimacie średnio nawet co 2 do 5 lat, a więc 20-50 razy częściej.

Hirabayashi *et al.* (2008) badali zmianę częstości występowania wysokich przepływów. Przyjmując za bazę poziom wody 100-letniej odpowiadający okresowi kontrolnemu 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 wyraźnie częściej (znaczna część Europy Południowej, Środkowej i Zachodniej), a dla innej części kontynentu – rzadziej (Europa Wschodnia i Skandynawia).

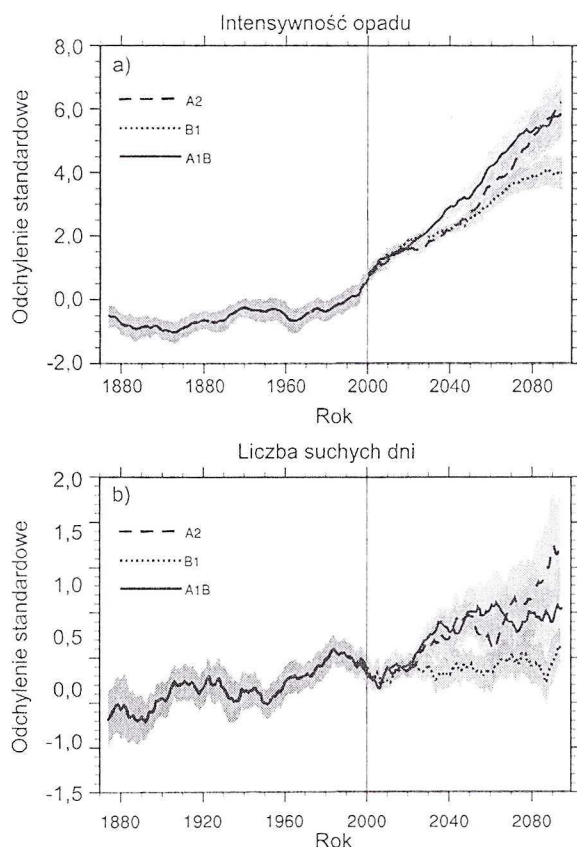
Według modelowych projekcji, susza, która w okresie kontrolnym 1961-1990 była tzw. suszą 100-letnią w przeważającej części Europy będzie występowała częściej w przyszłości (por. Kundzewicz *et al.* 2007).

Przewiduje się wzrost suchości 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), a także wydłużenia okresów suchych i jednocześnie gorących, co ze względu na spotęgowane parowanie, jeszcze bardziej przyspieszy wystąpienie stresu wodnego. Spodziewać się także możemy, że w przyszłości deficyty wodne będą występować 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 będzie prowadzić do licznych negatywnych skutków, takich jak: spadek plonów, wzrost ryzyka pożarów lasów, pogorszenie zaopatrzenia w wodę (w aspekcie zarówno ilości, jak i jakości), szkody budowlane (wskutek kurczenia się i spękania gruntu). Kurczenie się lodowców i pokrywy śnieżnej spowoduje pogłębienie się ekstremów – niżówek (niskich przepływów w rzekach) oraz problemów w zaopatrzeniu w wodę mieszkańców wielu krajów rozwijających się (Ameryka Południowa, Azja), gdzie woda w rzece pochodzi z topniejących śniegów i lodów, a także spadek produkcji energii wodnej, por. Kundzewicz *et al.* (2007, 2008b).

Eksperci zapowiadają, że wiek XXI stanie się stuleciem światowego niedoboru wody. Z globalnego punktu widzenia najważniejszym problemem jest dynamiczny przyrost liczby ludności w krajach słabiej rozwiniętych, który zwiększa potrzeby wodne. W efekcie, kubatura zasobów wodnych przypadających na jednego mieszkańca globu dramatycznie maleje. Dodatkowo nakładają się efekty zmian klimatu.

Uporczywe i długotrwałe susze potęgują na wielu obszarach niebezpieczeństwo stepowania i pustoszczenia, wywoływanych połączonym działaniem człowieka i zmian klimatycznych. W Europie, szczególnie zagrożenie deficytem wody przewiduje się w basenie Morza Śródziemnego, gdzie roczna amplituda opadu może niebezpiecznie wzrosnąć (coraz bardziej suche lata i coraz bardziej wilgotne zimy).

Ryc. 1 przedstawia obserwowane i projektowane zmiany ekstremów – zmiany średniej intensywności opadu (określonej jako iloraz sumy rocznej opadów i liczby dni z opadem) dla trzech scenariuszy SRES (B1, A1B i A2) oraz zmiany rocznego maksimum liczby kolejnych dni bez opadu (Meehl *et al.* 2007). Projekcje pochodzą z symulacji za pomocą 9 modeli klimatycznych. Ryc. 1 ilustruje wzrost zarówno intensywności opadów, jak i liczby kolejnych suchych dni, zarówno na podstawie obserwacji z przeszłości, jak i projekcji na przyszłość.



Ryc. 1. Obserwowane i projektowane zmiany ekstremów – zmiany średniej intensywności opadu (określonej jako iloraz sumy rocznej opadów i liczby dni z opadem) dla trzech scenariuszy SRES (B1, A1B i A2) oraz zmiany rocznego maksimum liczby kolejnych dni bez opadu (Źródło: Meehl *et al.*, 2007).

Przewiduje się, że w przyszłości liczba dni gorących (z temperaturą maksymalną przekraczającą 30°C) i suchych (bez opadu lub z opadem dobowym poniżej 0,1 mm) w przeciętnym roku będzie w Polsce coraz wyższa (Kundzewicz, Kowalczak 2008).

6. Świadomość zagrożeń i adaptacja

Zmieniły się częstość i intensywność wystąpienia niektórych ekstremalnych zjawisk związanych z pogodą, a według projekcji – ich dalszy wzrost jest bardzo prawdopodobny. Świadomość zagrożeń nie jest jednak powszechna. Projekcje zmian klimatu na obszarze Polski wskazują, że istnieje wiele 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). Można jednak dostrzec także korzystne zjawiska (np. spadek częstości i intensywności fal mrozów przekłada się na mniejszą śmiertelność zimą oraz mniejsze zużycie opału na ogrzewanie pomieszczeń).

W Szwajcarii, temperatury lata 2003 były wyższe od średnich z wielolecia o niemal pięć odchylen standardowych, co stawia zaobserwowaną sytuację w kategorii zjawisk niezwykle rzadkich (Schär *et al.* 2004). Jednak przyjmując hipotezę o ociepleniu klimatu, możemy spojrzeć na lato 2003, jak na zwiastuna przyszłych upałów. Według modelowych projekcji co drugie lato będzie tak ciepłe, lub nawet cieplejsze, pod koniec XXI w. Podczas fal upałów, maleją plony wskutek stresu termicznego. Na dodatek fale upału najczęściej wiążą się z okresem bezdeszczowym, a więc posuszonym. Rosną negatywne skutki zdrowotne (zwłaszcza dotyczy to osób starszych lub małych dzieci, chronicznie chorych, lub samotnych). Rośnie śmiertelność wywołana falami upału w Europie (w wyniku wzrostu temperatury i starzenia się społeczeństwa). Następuje pogorszenie jakości życia.

Analiza zmian ekstremów jest jednak bardzo trudna, ze względu na dużą zmienność naturalną procesów hydrometeorologicznych oraz liczne pozaklimatyczne przyczyny zmian (interwencja człowieka w środowisko – np. zmiany użytkowania terenu, wzrost zapotrzebowania na wodę i energię w wyniku urbanizacji, regulacja przepływów). Ponadto, brak jest odpowiednich danych obserwacyjnych, niezbędnych do analiz. Monitoring jest niewystarczający, a nawet jeśli istnieją szeregi czasowe pomiarów, dostęp do nich może być trudny (np. przez wysokie, zaporowy koszt danych).

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 relatywnie 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.

Potrzebne są skuteczne działania w kierunku poprawy świadomości zagrożeń oraz adaptacja do zwiększonej częstości i amplitudy ekstremów meteorologicznych i hydrologicznych. Warto przemyśleć strategie zabezpieczeń przed ekstremami pogodowymi. Na przykład, zabezpieczając się przed powodzią możemy położyć nacisk na wzmacnianie zabezpieczeń strukturalnych (obwałowania, kanały ulgi, zapory i zbiorniki), przyzwyczajanie się do „życia z powodzią”, lub trwałe opuszczenie terenów zagrożonych. Dyrektywa powodziowa Unii Europejskiej wymaga „gospodarowania ryzykiem” (*risk management*). Ryzyka nie da się zmniejszyć do zera. Chociaż nie wszyscy jesteśmy tego świadomi, żyjemy z ryzykiem. Zabezpieczenia projektowane są na określoną amplitudę wymuszenia, np. na tzw. wodę 100-letnią, a więc nie wystarczą, jeśli pojawi się wyższy poziom wody. Warto zdawać sobie z tego sprawę.

Literatura

- Arażny A., Przybylak R., Vizi Z., Kejna M., Maszewski R., Uscka-Kowalkowska J., 2007, *Mean and Extreme Wind Velocities in Central Europe (On the Basis of Data from NECP/NCAR Reanalysis Project)*. *Geographia Polonica*, 80 (2), s. 69-78.
- Barredo J. L., 2007, *Major Flood Disasters in Europe: 1950-2005*. *Nat. Hazards* 42, s. 125-148.
- 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, s. 1117-1130.
- Hirabayashi H., Kanae S., Emori S., Oki T., Kimoto M., 2008, *Global Projections of Changing Risks of Floods and Droughts in a Changing Climate*. *Hydrol. Sci. J.*, 53 (4), s. 754-773.
- 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, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (red.). Cambridge University Press, Cambridge, UK i New York, NY, USA.
- Kundzewicz Z. W., Szamałek K., Kowalczak P., 1999, *The Great Flood of 1997 in Poland*. *Hydrol. Sci. J.* 44 (6), s. 855-870.
- Kundzewicz Z. W., Radziejewski M., Pińskwar I., 2006, *Precipitation Extremes in the Changing Climate of Europe*. *Clim. Res.* 31, s. 51-58.
- Kundzewicz Z. W., Mata L. J., Arnell N., Döll P., Kabat P., Jiménez B., Miller K., Oki T., Şen Z., Shiklomanov I., 2007, *Freshwater Resources and Their Management*, [w:] *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, C. E. Hanson, P. J. van der Linden (red.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Kundzewicz Z. W., Józefczyk D., 2008, *Temperature-related Climate Extremes in the Potsdam Observation Record*. Geografie, 113 (4), s. 372-382.
- Kundzewicz Z. W., Kowalczak, P., 2008, *Zmiany klimatu i ich skutki*. Wyd. Kurpisz.
- Kundzewicz Z. W., Gerstengarbe F.-W., Österle H., Werner P. C., Fricke W., 2008a, *Recent Anomalies of Mean Temperature of 12 Consecutive Months – Germany, Europe, Northern Hemisphere*. Theor. and Applied Climatol. DOI 10.1007/s00704-008-0013-9.
- Kundzewicz Z. W., Mata L. J., Arnell N., Döll P., Jiménez B., Miller K., Oki T., Şen Z., Shiklomanov, I., 2008b, *The Implications of Projected Climate Change for Freshwater Resources and Their Management*. Hydrol. Sci. J., 53 (1), s. 3-10.
- Meehl G. A., Stocker T. F., Collins W. D., Friedlingstein P., Gaye A. T., Gregory J. M., Kitoh A., Knutti R., Murphy J. M., Noda A., Raper S. C. B., Watterson I. G., Weaver A. J., Zhao Z.-C., 2007, *Global Climate Projections*, [w:] *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, op. cit.
- Mills E., 2005, *Insurance in a Climate of Change*. Science, 309, s. 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, s. 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. of Climate, 12, s. 829-856.
- Palmer T. N., Räisänen J., 2002, *Quantifying the Risk of Extreme Seasonal Precipitation Events in a Changing Climate*. Nature, 415, s. 512-514.
- Pielke R. A., Downton M., 2000, *Precipitation and Damaging Floods. Trends in the United States, 1932-1997*. J. of Climate, 13, s. 3625-3637.
- Przybylak R., Vizi Z., Arażny A., Kejna M., Maszewski R., Uscka-Kowalkowska J., 2007, *Poland's Climate Extremes Index, 1951-2005*. Geographia Polonica, 80 (2), s. 47-58.
- 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, s. 332-336.
- 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*, op. cit.