

ZMIANY RYZYKA POWODZIOWEGO W EUROPIE

KUNDZEWICZ Z. W.

Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Bukowska 19, 60-809 Poznań, Polska

kundzewicz@yahoo.com

Streszczenie: W niniejszym referacie rozważono czynniki decydujące o zmianach ryzyka powodziowego w Europie, w świetle materiału obserwacyjnego oraz projekcji na przyszłość. Ryzyko powodziowe zależy od szeregu czynników, klimatycznych i poza-klimatycznych, i ulega zmianom wraz ze zmianami tych czynników. W ostatnich dziesięcioleciach zaobserwowano znaczny wzrost materialnych strat powodziowych w różnych skalach przestrzennych. Przedstawiono oszacowanie zmian ryzyka powodziowego w Europie, wraz z ich interpretacją, w oparciu o materiał zawarty w książce *Changes in Flood Risk in Europe* (pod redakcją Z. W. Kundzewicza, przewidziany druk – marzec 2012). Rozważania odnoszą się do wielu krajów europejskich, a także do całego kontynentu. Szczególnie istotne w kształtowaniu zmian ryzyka powodziowego są konsekwencje zmian klimatu, zmiany użytkowania terenu, wzrost potencjału strat powodziowych, oraz ewolucja systemów zabezpieczenia przed powodzią. Budowa obwałowań generuje rozwój ekonomiczny, gdyż ludność traktuje te zabezpieczenia jako niezawodne. W przypadku, jeśli fala powodziowa jest znacznie większa od założeń projektowych, nie da się uniknąć znacznych strat. Omówiono także projekcje zmian zagrożenia powodziowego w przyszłości.

Słowa klucza: ryzyko powodziowe, obserwacje, projekcje, zmiany klimatu

Abstract: In the present contribution, factors deciding upon changes in flood risk in Europe were considered, in the light of observations and projections for the future. Flood risk depends on a range of climatic and non-climatic factors and is subject to change with changes of these factors. Over last decades, a considerable increase of material flood damages has been observed, in a range of spatial scales. Assessments of changes in flood risk in Europe and their interpretation will be presented, based on the material contained in the book *Changes in Flood Risk in Europe* (edited by Z. W. Kundzewicz, planned publication – March 2012). Considerations refer to many European countries, and to the whole continent. Climate change impacts, land-use change, increase of damage potential, and evolution of flood protection systems are particularly important factors responsible for flood risk change. Construction of structural defenses generates economic development, because people assume perfect safety. Projections of changes in flood risk for the future are also reviewed.

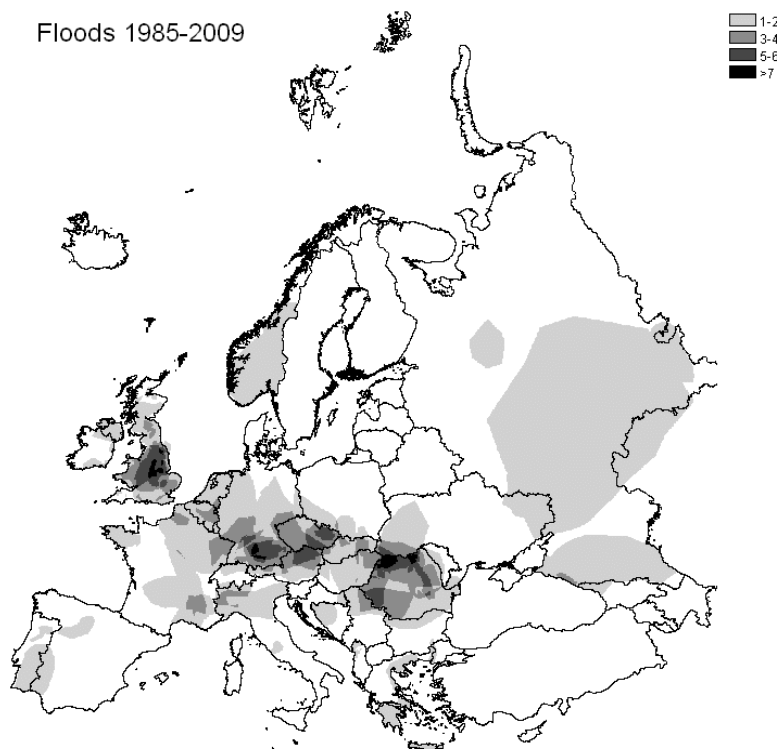
Keywords: flood risk, observations, projections, climate change

Wstęp

Powódzie są problemem globalnym i człowiek nigdzie nie radzi sobie z nimi zadowalająco. W ostatnich dziesięcioleciach zaobserwowano znaczny wzrost materialnych strat powodziowych. Najbardziej dramatyczne kataklizmy, z tysiącami ofiar, zdarzają się poza Europą (szczególnie w Azji), ale Europa też doświadczyła licznych klęsk powodziowych, a ponad 9 tys. jej mieszkańców straciło życie w powodziach w XX w. W niektórych miejscach dokuczliwe powódzie zdarzają się dość często, np. podczas niemal każdych wiosennych roztopów.

Rys. 1 ilustruje rozkład przestrzenny liczby wielkich powodzi w Europie w 25-letnim okresie 1985-2009. Krajami, w których wielkie powódzie występowały najczęściej (nawet do 9 razy) są: Rumunia, Czechy, Słowacja, Wielka Brytania, Niemcy i Austria.

W kilku krajach Europy, zagrożona powodzią jest znaczna część ludności i znaczna część majątku narodowego. Na przykład, 12% całej lądowej powierzchni Wielkiej Brytanii, gdzie mieszka 9% populacji jest zagrożone powodzią [1]. W Holandii liczby te wynoszą 59% i 55% ludności, a na terenach zagrożonych powodzią znajduje się 65% majątku narodowego. Szacuje się, że powódź zagraża 10 milionom ludzi mieszkających wzdłuż Renu, a potencjał strat sięga tam 165 mld euro.



Rys. 1. Rozkład przestrzenny liczby wielkich powodzi w Europie w latach 1985-2009, w oparciu o dane Obserwatorium Powodzi, zob. <http://floodobservatory.colorado.edu>, [2].

W książce [3] dokonano analizy zmian ryzyka powodziowego w Europie. Sporządzono zestawienie wielkich powodzi oraz powodzi najbardziej tragicznych i najbardziej kosztownych. Oprócz analizy wyników obserwacji, wykorzystano modelowanie matematyczne do zbadania zmian powodzi wielko-skalowych. Zbadano także zmiany intensywnych opadów i przepływów rzecznych, a także zmiany ekspozycji. Oprócz spojrzenia zagregowanego w układzie kontynentalnym, książka zawiera szczegółowe informacje o zmianach ryzyka powodziowego w 12 państwach Europy (Austria, Czechy, Francja, Grecja, Holandia, Islandia, Niemcy, Norwegia, Polska, Szwajcaria, Wielka Brytania i Włochy) i w 2 regionach (Alpy i Półwysep Iberyjski). Książka przedstawia też zagadnienia detekcji zmian w szeregach czasowych, o wielkim znaczeniu dla studiów nad powodzią. Jeśli detekcja pozwala na wykrycie trendu, warto spróbować interpretacji, choć jest to, zazwyczaj, bardzo trudne z powodu silnej zmienności naturalnej, wysokiej niepewności, i istnienia różnych czynników, odpowiadających za częstość i amplitudę powodzi.

1. Zmiany ryzyka i ich mechanizmy, detekcja i interpretacja

1.1. Wprowadzenie

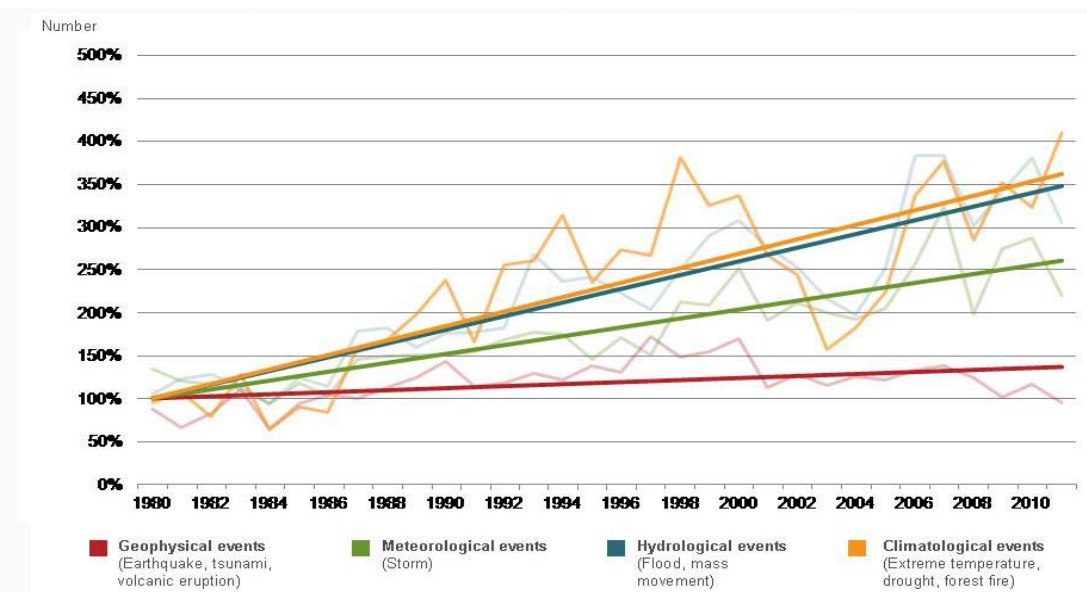
Powodzie rzeczne mogą być generowane przez różne mechanizmy. Najczęstszą przyczyną powodzi w Europie jest - intensywny i/lub długotrwały deszcz, ale w znacznej części kontynentu występują również powodzie roztopowe (niekiedy z udziałem deszczu). Pośród procesów generujących powodzie są zatory lodowe, osuwiska zbocza spiętrzające wodę, awarie obwałowania, czy zapory, zablokowanie przepływu przez materiał transportowany przez wodę, lub napływ wód morskich w strefie ujściowej rzeki.

Istnieje szereg definicji ryzyka powodziowego, które często określa się jako kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi oraz miary ich negatywnych konsekwencji. Ryzyko

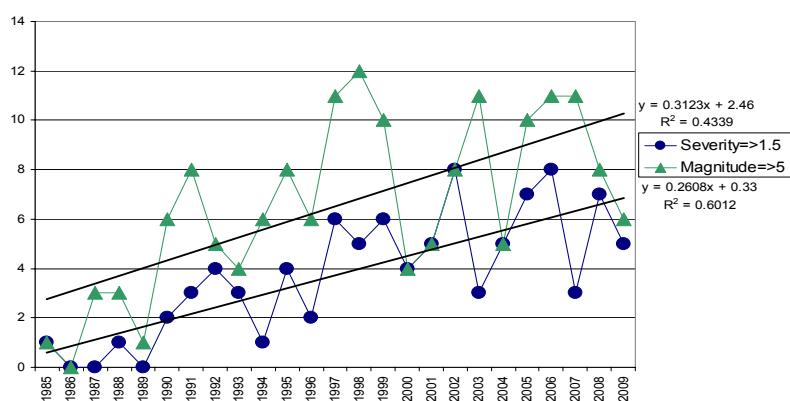
powodziowe zależy od szeregu czynników, klimatycznych i poza-klimatycznych, i ulega zmianom wraz ze zmianami tych czynników.

1.2. Wzrost strat powodziowych

Świadczenia obserwacji pozwalają na sformułowanie stwierdzenia, że straty spowodowane ekstremami klimatycznymi wyraźnie rosną. Straty spowodowane katastrofami naturalnymi związanymi z wodą rosną szybciej niż liczba ludności, czy majątek [4]. Globalne straty spowodowane ekstremami klimatycznymi, po uwzględnieniu inflacji, wzrosły 8-krotnie między latami 1960-tymi, a 1990-tymi, a straty ubezpieczone - nawet 17-krotnie. Rośnie również liczba powodzi i osuwisk (rys. 2).



Rys. 2. Zmiana liczby ekstremów naturalnych generujących znaczne koszty, w latach 1980-2011. Źródło: Munich Re.



Rys. 3. Liczba wielkich powodzi w Europie w latach 1985-2009 [2]. Dane z Obserwatorium Powodzi.

Rysunek 3 ilustruje liczbę wielkich powodzi w Europie [2]. Termin “wielkie powodzie” odnosi się do katastrof o ostrości (*severity*) co najmniej 1.5 lub amplitudę (*magnitude*) co najmniej 5, wg klasyfikacji Brakenridge [2]. Rys. 3 jasno pokazuje, że dla obu definicji progu wielkiej powodzi, można zaobserwować wzrastające trendy liczby wielkich powodzi w latach 1985-2009. Na trend nakłada się jednak silna zmienność. Na przykład, w latach 1997 i 1998, obfitujących w powodzi,

liczby wielkich powodzi (o amplitudzie ≥ 5) w Europie wynosiły, odpowiednio, 11 i 12, podczas, gdy w ubogim w powodzie roku 2000, było ich tylko 4.

1.3 Zmiany poza-klimatyczne

Charakterystyki zlewni (np rozmiar zlewni i sieci rzecznej, geologia, ukształtowanie terenu, gleby) i koryt rzecznych mają wielkie znaczenie dla ryzyka powodziowego. Bardzo ważne są zmiany użytkowania terenu, wpływające na zmianę warunków transformacji opadu w odpływ rzeczny. Na terenach zurbanizowanych, dominują powierzchnie nieprzepuszczalne, a współczynnik spływu osiąga wysokie wartości, podczas gdy możliwości retencji są małe. Od dawna rośnie w Europie koncentracja obszarów miejskich. Lasy i pola uprawne ustępują miejsca asfaltowi i betonowi. Wysokie przepływy rzeczne wywołane ulewnymi deszczami pojawiają się szybciej i są wyższe. Również koryta rzek zostały zmodyfikowane – wyprostowane i skrócone, ujęte w ciasny gorset obwałowań. Wielka woda nie ma się gdzie rozlać, nie czyniąc szkody.

Na ryzyko powodzi silnie wpływają też czynniki społeczno-ekonomiczne, od których zależy ekspozycja, wrażliwość, zdolność do adaptacji, świadomość ryzyka, i potencjał strat (funkcja liczby ludności i jej zamożności). Ważną charakterystyką jest liczba ludności, która mieszka na zagrożonych terenach, wzrost ekonomiczny i podatność ludzi i mienia na zagrożenie powodziowe.

Globalnie, nie ulega wątpliwości, że wielką część rosnących strat powodziowych można skojarzyć z dynamicznym rozwojem osadnictwa na terenach zagrożonych [5]. Problemy rosną, gdy ludzie stają się bogatsi i mogą zasiedlać "trudniejsze" tereny. Jednak, w wielu krajach, tereny zalewowe w okolicach wielkich miast są zaludnione przez biedotę.

1.4. Efekty zmian klimatu

Czynniki klimatyczne wpływające na ryzyko powodziowe obejmują pojemność wodną (i zawartość pary wodnej) w atmosferze, charakterystyki opadu intensywnego, oraz jego rozkład w przestrzeni i czasie. Parowanie, faza opadu (deszcz, czy śnieg), topnienie śniegu, systemy cyrkulacji sekwencja temperatur (zamarzanie i topnienie śniegu lub lodu) również odgrywa rolę.

Fizyka sugeruje następującą regułę: jeżeli [temperatura rośnie] i [intensywność opadu rośnie y ociepleniem] wówczas [prawdopodobieństwo powodzi rośnie]. Jednak weryfikacja tej reguły okazała się problematyczna. Scenariusze przyszłego klimatu wskazują prawdopodobieństwo wzrostu zagrożenia powodziowego w wielu obszarach [9], ale obserwacje nie potwierdzają tego przekonywująco [10].

Zmiany klimatyczne mogą zwiększać ryzyko powodzi poprzez wzrost intensywności opadów w cieplejszym klimacie [6], [7]. W wielu regionach rośnie udział dni z wysokim opadem (np. przekraczającym 95 percentyl) w sumie opadu rocznego. Odpowiada to zaobserwowanemu wzrostowi ilości pary wodnej w cieplejszej atmosferze powietrza (zgodnie z prawem Clausiusa-Clapeyrona). Jednak statystyki opadu podlegają silnej zmienności między latami i między dekadami. Intensywne opady w Europie wykazują złożoną zmienność i brak silnego schematu przestrzennego [8]. Zmiany są zależne od regionu i od pory roku. Jednak, dominuje tendencja (dla wielu regionów i przy użyciu różnych wskaźników) wzrostu opadów intensywnych. Zmieniła się również struktura opadu: krótkie, izolowane deszcze ulegają przegrupowaniu w dłuższe okresy z opadem [8], podczas których sumy opadów są wyższe niż dawniej.

Jednak detekcja wpływu zmian klimatu na wysokie przepływy rzeczne nie jest łatwa, nawet w skali regionalnej, z powodu niskiego stosunku sygnału do szumu [11]. Stosunkowo słaby sygnał klimatyczny (jeśli w ogóle istnieje) jest nałożony na silną zmienność naturalną i poza-klimatyczne

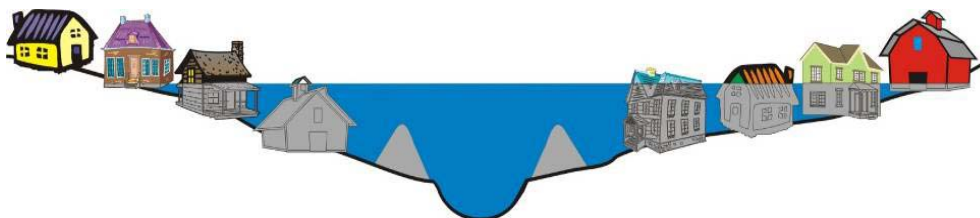
czynniki, np. zmiany użytkowania terenu. Być może, trzeba będzie poczekać jeszcze kilka dziesięcioleci na wykrycie trendów istotnych statystycznie.

Zmiany częstotliwości powodzi związane z klimatem są bardzo złożone i zależą od mechanizmów generujących. Zagrożenie rośnie, jeśli powodzie powodowane są przez coraz bardziej intensywne deszcze. Natomiast ryzyko powodzi roztopowych zmniejsza się wraz ze spadkiem grubości pokrywy śnieżnej. Jednak, mimo ocieplenia, zdarzają się ciągle zimy mroźne i śnieżne w znacznej części Europy (2005–2006, 2009–2010, 2010–2011, 2011–2012). Może rosnąć zagrożenie spowodowane deszczami późnojesiennymi i zimowymi.

2. Redukcja ryzyka

Istnieją trzy zasadnicze strategie redukcji ryzyka powodziowego: (i) wzmacnianie zabezpieczeń technicznych (obwałowania, zbiorniki retencyjne) na ile jest to możliwe technicznie i finansowo, w świadomości, że absolutne zabezpieczenie nie istnieje; (ii) pogodzenie się z „życiem z powodzią”; lub trwałе wycofanie się z terenów zagrożonych powodzią do bezpiecznych. Możliwe są też strategie mieszane.

Środki techniczne osłony przeciwpowodziowej znane są od tysiącleci i do dziś pozostają podstawą ochrony. Magazynowanie wody w zbiorniku pozwala wyrównać czasowy rozkład przepływów poprzez redukcję szczytu fali powodziowej i zwiększenie niskich stanów. Ponieważ powodzie rodzą się w zlewniach rzek, tam winny być skoncentrowane działania. Trzeba „złapać” wodę z obfitego deszczu, nie dopuszczając, by szybko dopłynęła do rzek. Pożyteczne są wszelkie formy zwiększenia możliwości magazynowania wody – również przez rozwój małej retencji i polderów, kształtowanie roślinności i zwiększanie przepuszczalności powierzchni. Zakaz budowy na tarasach zalewowych winien być rygorystycznie przestrzegany. Podejmuje się próby poprawy jakości i zwiększenia horyzontu czasowego prognoz. Gdyby siedziby ludzkie w ogóle nie powstały na zagrożonych terenach nadrzecznych, nie byłoby problemu. Skoro jednak ludzie i infrastruktura już tam są, zapewnienie im osłony przeciwpowodziowej jest trudne i kosztowne. Rozwiązaniem godnym uwagi (choć nie zawsze i nie wszędzie realnym) jest zejście z drogi żywiołowi i trwałе opuszczenie zagrożonych terenów tam, gdzie nie da się zapewnić odpowiedniego zabezpieczenia. Po wielkiej powodzi w USA w 1993r. wprowadzono program wykupu nieruchomości, z którego skorzystały tysiące rodzin mieszkających na zagrożonych terenach. Jednak gotowość ludzi do opuszczenia miejsc wysokiego ryzyka maleje wraz z upływem czasu po powodzi – odbudowa następuje w tym samym, niebezpiecznym miejscu.



Rys. 4. Obwałowania nie gwarantują pełnego bezpieczeństwa. Po budowie obwałowań rośnie potencjał strat – mieszkańcy czują się bezpiecznie, lecz nie jest to uzasadnione.

Rośnie potencjał strat powodziowych, bo zabezpieczenia strukturalne (obwałowania, zapory i zbiorniki) budzą nieuzasadnione przekonanie o absolutnym bezpieczeństwie. Obwałowania dobrze zabezpieczają przed wezbraniami średniej wielkości, tzn. liczba powodzi w tym zakresie maleje. Obwałowania są tak projektowane, by przy właściwej eksploatacji wytrzymały np. wodę stuletnią. Jeśli jednak zdarzy się woda jeszcze większa, np. 300-letnia, obwałowanie może zawieść. Wał projektowany na powstrzymanie wody 300-letniej byłby droższy, ale też nie wystarczyłby,

gdyby pojawiła się woda tysiącletnia. Jeśli powódź przerywa obwałowanie, zniszczenia są większe, niż byłyby bez obwałowań. Budowa obwałowań generuje rozwój ekonomiczny, gdyż ludność traktuje te zabezpieczenia jako niezawodne. W przypadku, jeśli fala powodziowa jest znacznie większa od założeń projektowych, nie da się uniknąć znacznych strat.

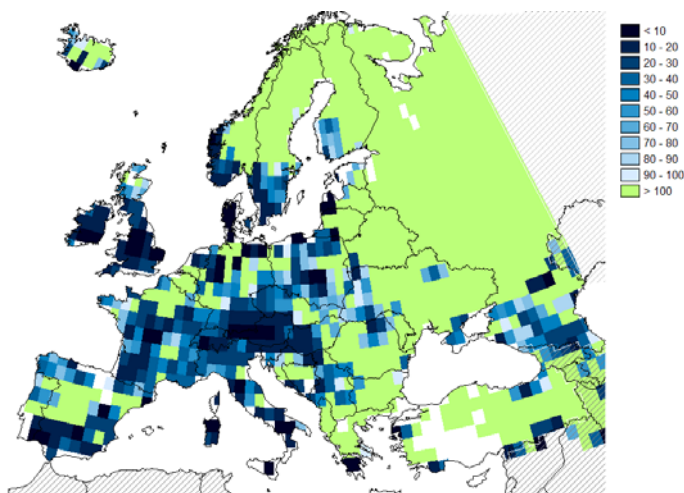
Istniejące procedury projektowania zabezpieczeń przed powodzią są tradycyjnie oparte na założeniu stacjonarności przepływów. Obwałowania powinny wytrzymać wodę N -letnią, tzn. przepływ o prawdopodobieństwie przekroczenia w pojedynczym roku $1/N$, gdzie N jest różne dla różnych krajów i różnych obszarów (od 10 do 10 000 lat). Często projektuje się osłonę na wodę 100-letnią. Jeśli pojawi się wyższa woda, obwałowania mogą nie wystarczyć (rys. 4).

Koncepcja wody N -letniej jako podstawy projektowania zasługuje na szczególną uwagę przy zmianie klimatu, bo wygodne założenie stacjonarności nie jest spełnione [12]. Woda 100-letnia z przeszłości jest inna niż teraz, czy w przyszłości. Gdyby udało się stworzyć wiarygodne projekcje zmian ekstremów hydrologicznych w cieplejszym świecie, to konsekwencje dla projektowania i gospodarki wodnej byłyby bardzo poważne.

W reakcji na wielkie powodzie w ostatnich dekadach wprowadzono Dyrektywę Powodziową UE, która zobowiązuje wszystkie Kraje Członkowskie Unii do przeprowadzenia oceny zagrożenia powodziowego oraz przygotowania map ryzyka i potencjalnych strat. Celem Dyrektywy jest poprawienie bezpieczeństwa w krajach Unii, poprzez „zarządzanie ryzykiem powodziowym”.

3. Projekcje na przyszłość

Istnieją dwie kategorie ostrzeżeń przed powodzią. Prognoza informuje o tym, kiedy w określone miejsce przyjdzie powódź, jaki będzie poziom wody, i jaka powierzchnia zostanie zalana. Jeśli ostrzeżenie jest wydane wcześniej, można np. ewakuować mieszkańców i wzmocnić obwałowania. Inna kategoria ostrzeżeń, kierowanych do decydentów, dotyczy długofalowych zmian ryzyka powodziowego.



Rys. 5. Okres powtarzalności obecnego (1961-1990) przepływu 100-letniego w końcu XXI wieku (2071-2100), dla scenariusza SRES A1B. Źródło mapy [9], źródło danych [13].

Istnieją znaczne trudności naukowe uniemożliwiające - jak dotąd - jednoznaczne i niewątpliwe wykrycie sygnału klimatycznego w obserwacjach wysokich przepływów rzecznych. Dotychczasowe projekcje przepływów są obciążone znaczną niepewnością i zależne od modelu, jakiego używamy. Zachodzi więc pytanie - „do czego się adaptować?”

Modele klimatyczne nie zgadzają się nawet co do kierunku zmian opadów atmosferycznych w części Europy, więc projekcje przepływów rzecznych i poziomu zagrożenia powodziowego są wysoce niepewne. Tym niemniej, istnieją projekcje zmian ryzyka powodziowego w przyszłości. Rysunek 5 przedstawia modelowe projekcje zmian częstości przepływu uważanego w okresie kontrolnym za wodę 100-letnią. Według tych projekcji, w znacznej części Polski, Niemiec, Austrii, Szwajcarii, Francji i Włoch, woda 100-letnia (przewyższana średnio raz na sto lat) będzie zdarzać się częściej w przyszłości, natomiast w znacznej części Wschodniej Europy i Skandynawii – rzadziej. Projekcje wskazują, że dla 30% powierzchni Europy, woda stuletnia będzie zdarzać się średnio częściej niż raz na 50 lat, a więc jej częstotliwość ulegnie tam w ciągu 110 lat co najmniej podwojeniu. Jednak prognozowanie zmian demograficznych, ekonomicznych, czy przyszłego użytkowania terenów zalewowych w dłuższym horyzoncie czasowym jest również bardzo niepewne.

Projekcje przyszłych strat powodziowych wymagają przyjęcia istotnych założeń upraszczających, np. [13], że poziom zabezpieczeń zależy od PKB. Zakłada się ochronę przed wodą 100-letnią, 75-letnią, i 50-letnią w krajach, gdzie PKB, odpowiednio, przekracza 110 %; jest między 55 a 110 %; i poniżej 55% średniego poziomu PKB w Unii Europejskiej. Zakłada się również brak adaptacji do rosnących stanów wód i brak wzrostu wartości eksponowanego majątku. Przy takich założeniach, oczekiwane roczne straty powodziowe, które obecnie wynoszą ok. 6.5 miliardów Euro, mogą się niemal potroić (do poziomu 18 miliardów Euro) w okresie 2071-2100 przy przyjęciu scenariusza SRES A2. Istnieje pięć krajów, w każdym z których oczekiwane roczne straty powodziowe przekroczą 1 miliard Euro. Spośród 25 krajów UE, gdzie notuje się straty powodziowe, wzrost (aż do 80%) przewiduje się w 20, a spadek (nawet o 85%) w 5.

Wraz z urbanizacją rosną przepływy rzeczne odpowiadające określonej opadowi. Wraz z ociepleniem intensywne opady stają się częstsze i silniejsze, więc wysokie stany rzek powszednieją. W ostatnich dekadach zegar powodziowy znacznie więc przyspieszył i ta tendencja raczej utrzyma się w przyszłości. Obecna „woda stuletnia” w przyszłości zdarzy się częściej.

Analiza obszaru dynamicznej urbanizacji w USA pokazuje, że dawna woda tysiącletnia stała się w ciągu zaledwie półwiecza wodą dziesięcioletnią. Aby utrzymać pożądany poziom zabezpieczeń, trzeba wzmocnić system osłony. Robią tak Niemcy, Anglicy i Holendrzy.

Ponieważ nauka nie jest w stanie wyprodukować precyzyjnej informacji o przyszłym ryzyku powodziowym, którą można by spożytkować w praktyce, stosuje się współczynnik bezpieczeństwa i zabezpieczenia projektuje się na nieco wyższe wartości przepływów. W Wielkiej Brytanii zakłada się, że maksymalne przepływy rzeczne wzrosną o mniej niż 10% w horyzoncie roku 2025, a o mniej niż 20% w horyzoncie roku 2085, w oparciu o istniejące oszacowania modelowe. Przepływ projektowy Renu w Holandii ulegnie wzrostowi z 15 000 do 16 000 m³/s przed rokiem 2015, a w dalszej perspektywie planuje się zapewnienie osłony na przepływ 18 000 m³/s. Na obszarach, gdzie przepływy 100-letnie maleją, istniejące zabezpieczenia mogą zapewnić wyższy poziom bezpieczeństwa.

Wnioski

Mimo zmasowanych wysiłków w kierunku redukcji ryzyka powodziowego i miliardów zainwestowanych w systemy osłony, powódzie ciągle pozostają dużym problemem, powodując znaczne straty ludzkie i materialne.

Istnieje szereg czynników powodujących zmiany ryzyka powodziowego, zarówno klimatycznych, jak i poza-klimatycznych. Szczególnie istotne są konsekwencje zmian klimatu (zmiany częstotliwości, intensywności, i rozkładu czasowego opadów

atmosferycznych oraz redukcja pokrywy śnieżnej towarzysząca ociepleniu), zmiany użytkowania terenu, ewolucja systemów zabezpieczenia przed powodzią, oraz wzrost potencjału strat powodziowych.

Ryzyko powodziowe wzrasta wskutek działania ludzi, którzy – mówiąc językiem mechaniki – zwiększyli obciążenie, a zmniejszyli wytrzymałość systemu. Dla określonego poziomu opadu projektowego, rośnie z czasem amplituda fali powodziowej. Rośnie także majątek zgromadzony na terenach zagrożonych powodzią, a więc i potencjał strat.

Z uwagi na istnienie wielu czynników, słabość sygnału klimatycznego i silną zmienność naturalną, detekcja zmiany i jej interpretacja są bardzo trudne. Do tej pory nie znaleziono ogólnego i wszechobecnego trendu wzrostowego wysokich przepływów rzecznych. Trendy klimatyczne można znaleźć, ale są one skomplikowane - np w Niemczech [15] wykryto wzrost maksymalnych przepływów rzecznych w części kraju, a brak zmiany, lub nawet spadek w innej części. Jeśli zmieniają się charakterystyki wielkich przepływów, trzeba dopasować metody używane w projektowaniu do warunków niestacjonarności [12]. Wyzwaniem jest obecnie lepsza adaptacja do istniejącego obecnie ryzyka, w świadomości, że przyszłe ryzyko jeszcze wzrośnie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] IWR (Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers) *Flood Risk Management Approaches as Being Practiced in Japan, Netherlands, United Kingdom, and United States*. IWR Report no. 2011-R-08, 2011, 124 str..
- [2] Kundzewicz Z.W., Pińskwar I., Brakenridge T., Large floods in Europe on the rise. *Hydrol. Sci. J.* (w druku), 2012.
- [3] Kundzewicz Z.W. (red.) *Changes in Flood Risk in Europe*. IAHS Press (w druku), 2012.
- [4] Mills E., Insurance in a climate of change. *Science* 309, 1040–1044, 2005.
- [5] Pielke Jr. R. A., Downton, M. W., Precipitation and damaging floods: Trends in the United States, 1932–97. *J. Climate* 13, 3625–3637, 2000.
- [6] Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N., Trends in intense precipitation in the climate record. *J. Clim.* 18, 1326–1350, 2005.
- [7] 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., Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. W: Solomon S. D., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.
- [8] Zolina O., Change in intense precipitation in Europe. In: Kundzewicz, Z.W. (ed.) *Changes in Flood Risk in Europe*. IAHS Press (w druku), 2012.
- [9] Kundzewicz Z.W., Luger N., Dankers R., Hirabayashi Y., Döll P., Pińskwar I., Dysarz T., Hochrainer S., Matczak P., Assessing river flood risk and adaptation in Europe – review of projections for the future, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15(7), 641–656, 2010.
- [10] Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Maurer T., Pińskwar I., Radziejewski M., Svensson C., Szwed M., Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow, *Hydrol. Sci. J.* 50(5), 797–810, 2005.
- [11] Wilby R.L., Beven K.J., Reynard N.S., Climate change and fluvial risk in the UK: more of the same? *Hydrol. Process.* 22, 2511–2523, 2008.
- [12] Feyen L., Barredo J.I., Dankers R., Implications of global warming and urban land use change on flooding in Europe. W: Feyen L., Shannon K., Neville M. (red.) *Water and Urban Development Paradigms. Towards an Integration of Engineering, Design and Management Approaches*. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-48334-6, 217–225, 2009.

- [13] 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.* 53(4):754-773, 2008.
- [14] Hattermann F. F., Kundzewicz Z. W., Shaochun Huang, Vetter T., Kron W., Burghoff O., Merz B., Bronstert A., Krysanova V., Gerstengarbe F.-W., Werner P., Hauf Y., Flood risk in holistic perspective – observed changes in Germany. W: Kundzewicz, Z.W. (red.) *Changes in Flood Risk in Europe*. IAHS Press (w druku), 2012.
- [15] Milly P. C. D., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R. M., Kundzewicz Z. W., Lettenmaier D. P. & Stouffer R. J., Stationarity is dead: whither water management? *Science* 319, 573–574, 2008.