

RENATA J. ROMANOWICZ, ELŻBIETA NACHLIK, ANNA JANUCHTA-SZOSTAK,  
LESZEK STARKEL, ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ, ANDRZEJ BYCZKOWSKI,  
PIOTR KOWALCZAK, JANUSZ ŻELAZIŃSKI, LAURA RADCUK,  
PIOTR KOWALIK, KRZYSZTOF SZAMAŁEK

## Zagrożenia związane z nadmiarem wody

### 1. Skala przestrzenno-czasowa zjawiska oraz mechanizmy zachodzących procesów

Powódź jest zjawiskiem przestrzenno-czasowym, które może występować lokalnie lub obejmować większe obszary kraju i trwać od kilku godzin do kilku miesięcy. W myśl Dyrektywy Unii Europejskiej (Dyrektywa..., 2007) w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, powódź oznacza czasowe pokrycie wodą terenu, który normalnie nie jest pokryty wodą.

Zjawisko powodzi najczęściej postrzegane jest jako wezbranie rzeczne, podczas którego wody, po przekroczeniu stanu brzegowego lub korony wałów przeciwpowodziowych (bądź też wskutek awarii wałów), zalewają tereny przybrzeżne, powodując szkody społeczne i materialne (Ciepielowski 1992, Kiciński 1982, Wołoszyn i in. 1994).

Przyczynami wezbrań rzecznych są: zwiększenie zasilania rzek przez wody opadowe lub roztopowe, utrudnienie spływu wody w korycie rzeki wskutek tworzenia się zatorów śryżowych lub lodowych, utrudnienia spływu wody w rzekach przybrzeżnych przez wiatry

---

Prof. dr hab. Renata J. Romanowicz, Instytut Geofizyki PAN, Warszawa;  
prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik, Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej;  
dr inż. Anna Januchta-Szostak, Politechnika Poznańska, Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego;  
prof. dr hab. Leszek Starkel, członek rzeczywisty PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Kraków;  
prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz, członek korespondent PAN, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań;  
prof. dr hab. Andrzej Byczkowski, Prywatna Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska, Radom;  
dr hab. inż. Piotr Kowalczyk, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań;  
dr inż. Janusz Żelaziński, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Inżynierii Wodnej, Warszawa;  
prof. dr hab. Laura Radczuk, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, Wrocław;  
prof. dr hab. Piotr Kowalik Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska;  
prof. UW, dr hab. Krzysztof Szamałek, Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa

sztormowe wiejące w kierunku ujścia rzeki czy wlewy wód morskich w ujścia rzek (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1993). Zdarzają się wystąpienia wezbrań o pochodzeniu antropogenicznym, spowodowanych przez awarie obiektów hydrotechnicznych bądź wadliwą gospodarkę wodną na zbiornikach, powodującą wywołanie sztucznych powodzi poniżej tych obiektów. W korytach rzecznych występowanie wody z brzegów prowadzi do zalewania doliny zalewowej. Wystąpienie z brzegów zależy również od głębokości i szerokości koryt oraz wysokości wałów przeciwpowodziowych. Przepusty i małe mosty, w mniejszych rzekach z pni drzew i gałęzi, powodują zahamowanie i spiętrzanie fal powodziowych. W przypadku szerokich równin zalewowych (5-10 km) z licznymi obniżeniami dawnych starorzeczy zjawiskiem groźnym jest przerzucanie się koryt, występujące m.in. na środkowej Wiśle, spotykane w czasie przechodzenia dużych fal powodziowych i zatorów lodowych.

W dużych systemach rzecznych Wisły i Odry na kulminację w rzece głównej mogą się nakładać fale powodziowe pochodzące z dopływów. Rzadkim zjawiskiem (jak np. zarejestrowanym w lecie 2010) są serie powodzi związane z falami opadów o dużej wydajności lub natężeniu, powtarzających się co kilka tygodni. Każda kolejna fala coraz bardziej zaskakuje służby i ludność, prowadząc do kumulacji zniszczeń. W takich przypadkach szczególnie groźne są przesiąkające wały, które nie wytrzymują naporu wód powodziowych. Zagroženiem są także długotrwałe podwyższone stany wód w korytach, trwające do kilku tygodni. Mimo że woda mieści się w korytach, rzeki podmywają brzegi i przyczółki mostowe, a w górach uruchamiają osuwiska nadbrzeżne.

Do zagrożeń związanych z nadmiarem wody należy zaliczyć tzw. podtopienia, tj. chwilowe zalania terenu wywołane przez lokalne deszcze o dużej wydajności i natężeniu lub przez gwałtowne tajanie śniegu o dużej miąższości i gęstości (Mikulski 1998, Zajbert 1975). Wskutek intensywnego spływu powierzchniowego lub utrudnienia spływu na terenach o małych spadkach, w wyniku niedostatecznej zdolności przepustowej rowów melioracyjnych, przepustów itp., teren pokrywa się warstwą wody (Arkuszewski, Zbikowski 1973).

Proponuje się rozróżnienie powodzi (jako zjawiska czasowego zalania terenu wodami o różnej genezie) na powódzie pochodzenia rzecznego, powódzie powstałe w wyniku lokalnego podtopienia terenu przez wody opadowe lub roztopowe, oraz powódzie pochodzenia morskiego. Inna klasyfikacja może być oparta na czasie trwania wezbrania. Rozróżniamy tu powódzie powstałe w wyniku gwałtownych opadów deszczu (tzw. oberwanie chmury) na terenie o małej retencji podłoża i stosunkowo dużym spadku – np. miasto w terenie górzystym lub autostrady, powodujące powódzie błyskawiczne, tzw. *flash floods*, oraz powódzie o długim czasie wezbrania (powódzie w wyniku wylewów dużych rzek). W wypadku powodzi miejskich może również nastąpić przelanie systemów kanalizacyjnych i połączonych z nimi przepustów burzowych.

## 2. Zagrożenie i straty powodziowe: tło historyczne, stan, tendencje zmian

### 2.1 Przyczyny i stan zagrożenia powodziowego

W ciągu ostatnich dziesięcioleci obserwuje się znaczący wzrost zagrożenia powodziowego w Polsce. Jego przyczyną jest silna antropopresja przejawiająca się w:

- 1) systematycznym przekształceniu terenu – redukcji potencjału retencji naturalnej oraz ograniczenia zasięgu wielkiej wody (zmniejszenie szerokości zalewu przez regulacje i obwałowania „odzyskujące” tereny dla rozwoju);
- 2) zawężaniu obwałowań względem koryta, które powoduje, że częste wezbrania mogą prowadzić do akumulacji osadu w strefie międzywała i stopniowego zmniejszania przekroju koryta, a tym samym objętości wód wezbraniowych mieszczących się między wałami;
- 3) intensyfikacji procesów urbanizacyjnych i niewystarczającej kontroli ich skutków środowiskowych (uszczelnienia powierzchni), które powodują niekorzystną zmianę struktury odpływu wód opadowych ze zlewni – urbanizacja powoduje zmniejszenie odpływu podziemnego i wzrost odpływu powierzchniowego. W efekcie następuje gwałtowne przyspieszenie i wzrost wartości przepływu wezbraniowego w rzekach.
- 4) wzroście inwestowania na obszarach objętych ochroną przeciwpowodziową w efekcie złudnego poczucia bezpieczeństwa, które stwarzają wały przeciwpowodziowe.

Stan zagrożenia powodziowego jest powiązany ze stanem ochrony i zabezpieczenia przeciwpowodziowego, który w Polsce jest niewystarczający w stosunku do potrzeb, zarówno z powodu zbyt małego zróżnicowania środków ochrony, jak i niewystarczającego poziomu tej ochrony. Obecna sytuacja wynika z uwarunkowań historycznych, związanych ze złożoną historią naszej państwowości.

Zarządzanie dyrektywne po 1946 roku było ukierunkowane na duże inwestycje i nie uwzględniało odpowiednich środków finansowych na eksploatację obiektów – na ich utrzymanie, remonty i modernizację. Sektorowość administracji i gospodarki, a w konsekwencji wyraźne oddzielenie gospodarowania wodami opadowymi (odrębnie w miastach, odrębnie w drogownictwie) od odpływu rzeczno-ściekowego, przez całkowite oddzielenie gospodarki wodno-ściekowej od tzw. gospodarki wodnej, utrwaliło dodatkowo ukierunkowanie na duże inwestycje nieprzynoszące oczekiwanych efektów.

Sektorowość utrudnia efektywne wdrożenie zasad integracji ochrony ekosystemów wodnych i zagrożenia powodziowego obowiązujących w UE od roku 2000 na mocy Ramowej Dyrektywy Wodnej. Brak jest możliwości realizacji działań prewencyjnych ograniczających rozwój zagospodarowania przestrzennego, tak aby nie zwiększać zagrożenia powodziowego w przyszłości na terenach objętych planami rozwojowymi. Utrudnia i opóźnia to także wykonanie przedsięwzięć ochrony przed powodzią, zaplanowanych i zaprojektowanych do realizacji po największych powodziach w Polsce (1997, 2001 i 2010), przez brak możliwości zabezpieczenia bądź wykupu terenów narażonych na zalewy.

Jedną z najistotniejszych przyczyn słabej efektywności ochrony przed powodzią jest **koncentracja działań prewencyjnych/ochronnych** w dolinach rzecznych, gdzie obserwuje się skutki wezbrań, a nie zapobieganie wezbraniom na terenie całych zlewni.

## 2.2. Straty powodziowe

Efektym wymienionych wyżej uwarunkowań jest trudność w szacowaniu strat powodziowych i nakładów ponoszonych na zabezpieczenie przed powodzią. Nie ma możliwości realizacji rachunku „ciągnionego”, który umożliwiłby jasne przedstawienie kształtowania się szkód i strat powodziowych, licząc np. od lat 50. ubiegłego wieku do chwili obecnej, na tle zmian w inwestowaniu w zabezpieczenie przed powodzią.

Największe straty powodują, najczęściej występujące, powodzie opadowe. W okresie 1960-2007 wystąpiło w Polsce 10 powodzi, których efektem były straty przekraczające 0,25% PKB, z których 9 (z wyjątkiem powodzi roztopowej w 1979 roku), spowodowanych było intensywnymi opadami deszczu (Bojarski i in. 2011). Powodzie powodują dotkliwe straty w infrastrukturze gospodarki wodnej i w sektorze rolnictwa. Podczas katastrofalnej powodzi 1997 roku uszkodzonych zostało 2800 różnych obiektów hydrotechnicznych, a zalanych zostało ponad 500 tys. ha gruntów ornych i użytków zielonych. Rekordowa pod względem powierzchni zalanego obszaru była powódź w 1980 roku, kiedy pod wodą znalazło się ok. 1,75 mln ha powierzchni upraw. Rok 2010 przyniósł powódź o ogromnym zasięgu i stratach porównywalnych z tymi z 1997 roku, chociaż od tego czasu znacząco zmodernizowana została infrastruktura przeciwpowodziowa.

W roku 1997 straty powodziowe osiągnęły wartość 12,5 mld zł według szacunków GUS z 1998 roku. W tej powodzi śmierć poniosły 54 osoby. Z kolei w 2001 roku straty wyniosły ogółem około 3 mld zł, prawie w całości w dorzeczu Wisły, z czego ponad 1 mld w samym województwie małopolskim. Powódź, która wystąpiła w 2010 roku (maj – czerwiec) przyniosła straty o wartości co najmniej 10 mld zł.

W powyższych oszacowaniach brak jest jednak wielkości strat w osobistym majątku (tzw. strat bezpośrednich), a także strat pośrednich – społecznych i gospodarczych, związanych z przerwaniem ciągłości komunikacji, pracy instytucji oraz innych pośrednich kosztów tej sytuacji. W wielu gminach i powiatach sumy strat po 2000 roku osiągnęły lub nawet przekroczyły wartość 200% ich rocznych dochodów własnych.

Problem jest poważny, mimo że wiele zrobiono na rzecz wczesnego ostrzegania przed powodzią, modernizacji systemu ochrony oraz reagowania w czasie powodzi dla obniżenia jej negatywnych skutków. Konieczne jest jednak zastosowanie takiego podejścia, które w skali całego kraju pozwoli na ilościową diagnozę przyczyn i źródeł zagrożenia powodziowego, a w rezultacie umożliwi identyfikację wszystkich słabych stron obecnego systemu (Łasut 2006, Bojarski, Nachlik 2010, Nachlik, Zaleski 2010b).

### 2.3. Tendencje zmian

Dyskusje i prace nad europejską polityką redukcji ryzyka powodziowego przyczyniły się do postępu oraz wzrostu świadomości społeczeństwa w naszym kraju.

Za główne symptomy pozytywnych zmian można uznać:

- 1) Trwającą kilka lat konstruktywną dyskusję nad kwalifikacją potencjalnych strat powodziowych (dla powodzi z określonym prawdopodobieństwem przewyższenia).
- 2) Kompletną i konsekwentnie opracowywaną bazę danych dla całego kraju, zawierającą dwa podstawowe rodzaje informacji:
  - a) bazę danych o pokryciu i zabudowie terenu oraz o liczbie mieszkańców;
  - b) bazę zawierającą Numeryczny Model Terenu, umożliwiającą łączenie dokładnych pomiarów przekrojów poprzecznych rzek z topografią terenów zalewowych.
- 3) Rozwinięcie definicji powodzi, na bazie Dyrektywy Powodziowej (Dyrektywa..., 2007), które umożliwi rozróżnienie zalania wodą – głównie od strony rzeki, od podtopienia – o zróżnicowanych konsekwencjach, ale wynikających z niewydolności systemu kanalizacji wód opadowych lub ze złego ukierunkowania ich odpływu ze zlewni przez zlekceważenie dróg naturalnego odpływu (głównie niewłaściwie zaprojektowane przepusty drogowe i kolejowe). To wbrew pozorom bardzo poważny krok w ukierunkowaniu poprawnych tendencji dla ograniczenia zagrożenia powodziowego.
- 4) Rosnącą świadomość, iż niekontrolowany rozwój obszarów zurbanizowanych prowadzi do zmniejszenia możliwości retencji wody i niesie za sobą poważne zagrożenia powodziowe ze strony systemów kanalizacji i mniejszych cieków nieposiadających przepustowości umożliwiającej odprowadzenie wód opadowych z rosnących powierzchni uszczelnionych terenów miejskich.
- 5) Przygotowania do wprowadzenia systemu ubezpieczeń powodziowych (Łasut 2006).
- 6) Dyskusje nad kształtowaniem terenów zalewowych – efekt rosnącej świadomości społeczeństwa o powadze zagrożenia i braku możliwości pełnego zabezpieczenia się przed nim (Koncepcja ochrony przed powodzią ..., 2009-10).

Wymiernym efektem są tutaj także: (1) zmiany w prawie wodnym i w ustawie o zagospodarowaniu przestrzennym, w zakresie ograniczenia zabudowy na terenach zagrożonych powodzią, (2) zmiany metodyki dla opisu składowych oceny ryzyka powodziowego – wdrożone i egzekwowane praktycznie, (3) wspólne rozporządzenie Ministrów Środowiska, Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Administracji i Cyfryzacji oraz Spraw Wewnętrznych w zakresie opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego, gdzie opisano standard zakresu informacyjnego i podano obszarowe wskaźniki wartości zainwestowania, a także stopień uszkodzenia w zależności od głębokości zalania/podtopienia.

### 3. Projekcje i zalecenia na przyszłość

#### 3.1. Wpływ zmian klimatu na częstość oraz intensywność zagrożeń związanych z nadmiarem wody

Powodzie są problemem globalnym i nigdzie człowiek nie radzi sobie z nimi zadowalająco. W ostatnich dziesięcioleciach zaobserwowano znaczny wzrost powodziowych strat materialnych we wszystkich skalach przestrzennych, spowodowanych przede wszystkim wzrostem potencjału strat i ekspozycji (Handmer i in. 2012), ale także zmianami klimatu i zmianami użytkowania terenu. Najbardziej dramatyczne kataklizmy, z tysiącami ofiar, zdarzają się poza Europą (szczególnie w Azji), ale Europa też doświadczyła licznych klęsk powodziowych, a w XX wieku ponad 9 tys. jej mieszkańców straciło życie w powodziach (Kundzewicz i in. 2013). Ryzyko powodziowe w Polsce jest najwyższe na Żuławach i w regionie Zatoki Gdańskiej, a także na południe od 51. równoleżnika (Karpaty, południowa część Sudetów i dorzecze Bugu), por. Kundzewicz i in. (2012). 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, a także zjawiska zimowe (opad i topnienie śniegu, pochód kry i śryżu). Zmiany częstotliwości powodzi związane z klimatem są bardzo złożone i zależą od mechanizmów generujących. Wzrost temperatury prowadzi do wzrostu intensywności opadu, prawdopodobieństwa powodzi, a więc i strat powodziowych. Zagrożenie rośnie, jeśli powodzie powodowane są przez coraz bardziej intensywne deszcze. Jednak charakterystyka statystyczna opadu podlega silnej zmienności między latami i między dekadami, a obserwowane zmiany są zależne od regionu i od pory roku. Natomiast ryzyko powodzi roztopowych zmniejsza się wraz ze spadkiem grubości pokrywy śnieżnej.

Jak dotąd, nie udało się jednoznacznie określić wpływu klimatu w obserwacjach wysokich przepływów rzecznych. Dotychczasowe projekcje przepływów są obciążone znaczną niepewnością i zależne są od modelu, jakiego używamy.

Modele klimatyczne stosowane do predykcji zmian klimatu nie zgadzają się nawet co do kierunku zmian opadów, więc projekcje przepływów rzecznych i poziomu zagrożenia powodziowego są wysoce niepewne. Niemniej w przeważającej części Polski woda 100-letnia (przewyższana w okresie kontrolnym średnio raz na sto lat) może zdarzać się częściej w przyszłości, natomiast w mniejszej części Polski (głównie na wschodzie, gdzie dominują powodzie roztopowe) – rzadziej. Jednak prognozowanie zmian demograficznych, ekonomicznych czy przyszłego użytkowania terenów zalewowych, które także wpływają na zmiany ryzyka powodzi, jest również bardzo niepewne.

#### 3.2. Wpływ procesów urbanizacji i zmian w zagospodarowaniu obszarów rolnych i leśnych na zagrożenie powodzią

Procesy urbanizacji i zmiany w strukturze krajobrazu rolniczego i leśnego skutkują obniżeniem naturalnej retencji zlewni i przyczyniają się do zwiększenia prawdopo-

bieństwa wystąpienia wezbrań powodziowych. Powodzie występujące w ostatnich latach, a w szczególności powódź z 1997 roku, uzmysłowiła możliwość wystąpienia opadów o wielkiej intensywności, będących przyczyną katastrofalnych powodzi na znacznym obszarze kraju, w tym także powodzi występujących w znacznej odległości od miejsca opadu, gdy wielkie masy wodne są transportowane wielkimi rzekami (np. miasta położone nad Odrą: Wrocław, Nowa Sól, Słubice, Frankfurt). Również ekstremalne wysokości opadów na mniejszych obszarach powodowały katastrofalne powodie, np. w 2010 w Bogatyni, gdzie wezbrała niewielka rzeka na skutek ekstremalnego opadu w górnym biegu. Niekiedy fragment miasta ulega zalaniu w wyniku wystąpienia opadu nawalnego (np. Gdańsk w 2001). Szczególnie niebezpieczne jest wystąpienie równocześnie wezbrania wielkiej rzeki oraz wystąpienia opadu ulewnego, np. w Słubicach w 2010 (Kowalczak 2013). Wezbrania rzek kształtowane są przez sposób zagospodarowania zlewni i tu winien się skupiać wysiłek działań przeciwpowodziowych.

### 3.2.1 Urbanizacja i suburbanizacja

Procesy urbanizacji i uprzemysłowienia w Polsce po II wojnie światowej wykazują wysoką dynamikę, szczególnie nasiloną w latach 70. XX wieku. Miasta rosły średnio o 2,4% rocznie, w tym dynamika wzrostu liczby ludności w 22 miastach przekraczała 22% rocznie (Gawryszewski 2005 za: Węclawowicz 2010). Obecnie obszary miejskie zamieszkuje 61,1% populacji (Rozwój miast w Polsce, 2008). Pomimo iż w centrach dużych miast (np. w Poznaniu) zmniejsza się liczba mieszkańców, notowany jest stały rozwój przestrzenny obszarów miejskich. Od roku 2000 r. wzrost powierzchni miast wyniósł łącznie 308 km<sup>2</sup>, mimo iż liczba ludności zmniejszyła się o ponad 360 tys. Równocześnie występują intensywne i słabo kontrolowane procesy suburbanizacji – rozwój obszarów zlokalizowanych wokół metropolii w obrębie aglomeracji. Wiąże się to ze zjawiskiem rozpełzania się miast (*urban sprawl*), któremu towarzyszy wzrost uszczelnienia terenów dotychczas użytkowanych rolniczo oraz wzrost długości sieci drogowej i kanalizacyjnej.

Zjawisko powodzi miejskich i lokalnych podtopień jest spowodowane wzrostem poziomu uszczelnienia gruntów przy zachowaniu tradycyjnych, zbiorczych systemów odprowadzania wód opadowych. Obowiązek odprowadzania wód opadowych do systemów kanalizacji zbiorczej (Prawo budowlane) jest powodem przeciążeń kanalizacji w czasie silnych opadów. Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2003 r. Nr 80 poz. 717) daje wprawdzie możliwość określania i egzekwowania intensywności zagospodarowania terenu i wielkości powierzchni biologicznie czynnej przez odpowiednie zapisy w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, jednak w praktyce inwestorzy często bezkarnie zwiększają powierzchnię terenów uszczelnionych (Januchta-Szostak 2011). Ponadto wskaźniki powierzchni biologicznie czynnej określone w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego (MPZP) i warunkach zabudowy (WZ) nie są kształtowane na podstawie oceny procesów hydrolo-

gicznych i potrzeby związane z gospodarowaniem wodą na obszarach zurbanizowanych. Wzrost uszczelnienia terenów miejskich i podmiejskich oraz rozwój sieci kanalizacji deszczowej, odbierany jako poprawa warunków zamieszkania, ma również negatywne skutki w postaci wzrostu objętości odpływu powierzchniowego z obszarów zurbanizowanych. W Polsce w dalszym ciągu obowiązuje XIX-wieczna zasada polegająca na jak najszybszym odprowadzaniu wód deszczowych z miasta. Znaczne środki finansowe z programów unijnych (Infrastruktura i Środowisko) przeznaczane są na budowę nowych kolektorów deszczowych służących odwadnianiu miast, a nie zagospodarowywanie wody w miejscu opadu. W latach 1999-2007 nastąpił znaczny przyrost długości sieci kanalizacyjnej – z około 46,8 tys. km do 89,5 tys. km. Woda deszczowa jest przechwytywana przez system kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, gdzie miesza się ze ściekami sanitarnymi, po czym poddawana jest kosztownemu procesowi oczyszczania i zrzucana do wód powierzchniowych. Brakuje narzędzi prawnych i ekonomicznych oraz programów wspierających zrównoważone gospodarowanie wodą na obszarach zurbanizowanych. Zaległości w kwestii stanowienia prawa i nieudane próby implementacji przepisów z innych krajów decydują o braku postępu w tej dziedzinie. Harmonizacja prawa w tej sferze z innymi dziedzinami, np. z planowaniem przestrzennym, praktycznie nie istnieje.

Skutki hydrologiczne zagospodarowania miast są nagminnie bagatelizowane w projektowaniu urbanistycznym. Tymczasem urbanizacja powoduje zmiany bilansu wodnego obszarów miejskich, a w dziedzinie stosunków wodnych niekorzystne przeobrażanie się reżimu wodnego cieków i zbiorników wodnych, zmiany geometrii cieków, wzrost zanieczyszczeń wód, degradację i zniszczenia środowiska wodnego i od wody zależnego. Powodzie miejskie, będące rezultatem gwałtownych opadów atmosferycznych, są najbardziej jaskrawym przykładem oddziaływania procesów urbanizacyjnych na kształtowanie odpływu. W miastach pojawiają się wezbrania na skutek opadów wcale nie rekordowo intensywnych, które do czasu urbanizacji nie wywoływałyby wylewów.

Do wzrostu zagrożeń powodziąmi rzecznyymi przyczyniają się również zabiegi regulacyjne w korytach wielkiej wody (skręcanie koryt przez likwidację zakoli i starorzeczy, zawężanie wałami przeciwpowodziowymi, likwidacja rozlewisk) i niezadowalający stan techniczny infrastruktury przeciwpowodziowej. Efektem jest nie tylko wzrost częstotliwości wezbrań, ale również przyspieszenie przepływu i podwyższenie fali wezbraniowej.

Bezpośrednim powodem wzrostu ryzyka zdarzeń katastrofalnych jest również fakt, że coraz więcej zamieszkałych obszarów znajduje się w strefach zagrożonych powodziąmi rzecznyymi i morskimi (poszerzanie się stref zagrożeń oraz intensyfikacja procesów urbanizacyjnych). W Polsce kontrola zabudowy i zagospodarowania tych terenów jest utrudniona z uwagi na brak obowiązku sporządzania planów miejscowych (MPZP) dla terenów całych miast i gmin oraz obawę przed koniecznością wypłaty wysokich odszkodowań w efekcie uchwalenia lub zmiany planów. Niski poziom integracji planowania



przestrzennego z gospodarką wodną oraz niewystarczający dostęp do informacji o zagrożeniach skutkują słabą efektywnością w zapobieganiu skutkom powodzi.

### **3.2.2. Procesy w zlewniach rolniczych i leśnych**

Zmiany sposobów zagospodarowania i użytkowania zlewni rolniczych, takie jak: niewłaściwie prowadzone melioracje, osuszanie bagien, mokradel i torfowisk, likwidacja oczek i zadrzewień śródpolnych są powodem zmniejszenia małej retencji na terenach rolnych. Nowoczesne melioracje są kompleksowymi przedsięwzięciami, za pomocą których obszary wiejskie są chronione, ulepszone, rozwijane i kształtowane (Kowalczak 2004). Dotyczą one również minimalizowania skutków wystąpienia ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych powodujących powodzie i podtopienia, a przez to znaczne straty w rolnictwie (produkcyjne i siedliskowe – degradacja gleb). Przystarzałe i nieprawidłowo eksploatowane urządzenia wodno-melioracyjne nie mogą skutecznie ograniczać oddziaływania powodzi i podtopień na obszarach wiejskich, a bywa, że niedzorowane i niesprawne urządzenia same stają się przyczyną lokalnych podtopień. Na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa opracowano plan odbudowy, rozbudowy, modernizacji i utrzymania urządzeń wodno-melioracyjnych. Konieczne jest również dofinansowanie wojewódzkich zarządów melioracji i urządzeń wodnych oraz odtworzenie spółek wodnych i aktywizacja ich działalności.

Zlewnie zurbanizowane różnią się znacząco od zlewni rolniczych i leśnych (Ciepielowski 1999). Las zużywa znaczne ilości wody, która jest pobierana systemem korzeniowym, a następnie wydzielana jest w procesie transpiracji (około 95%) oraz zużywana w procesie zwiększania masy drzewnej (5%). Na obszarach pokrytych lasem, gdzie zlikwidowano od 20 do 100 % pokrycia, wielkość rocznego odpływu wzrosła od 5 do 30% (Hibbert 1967 i Dżugara 1998).

W przypadku zlewni rolniczych i leśnych koniecznością jest wykorzystanie naturalnych właściwości retencyjnych tych obszarów i wprowadzenie zabiegów poprawiających omawiane cechy. W zlewniach zagospodarowanych rolniczo podstawowe znaczenie mają zabiegi agrotechniczne, umożliwiające zwiększenie retencji gruntowej, a także wykorzystanie retencji korytowej cieków. Wnikliwej analizie należy poddać problem powrotu do nawodnień zalewowych, które poza niewątpliwymi zaletami dla rolnictwa posiadają ważne znaczenie dla sterowania wodą podczas wezbrań.

W zlewniach leśnych odpływy ekstremalne ulegają wyrównaniu. Następuje to wskutek dobrej przepuszczalności gleb leśnych, rozbudowanym systemom korzeniowym roślin oraz ściółce leśnej charakteryzującej się dużą pojemnością wodną. Znacznej redukcji ulegają odpływy największe, również wskutek spowolnienia topnienia śniegu rozłożeniu w czasie ulega wezbranie wiosenne, ponieważ na obszarach leśnych występuje wysokie zasilanie wód podziemnych. Obszary te są źródłem zasilania wód powierzchniowych w okresie niżówek.

#### 4. Metody ograniczania źródeł i skutków zagrożeń powodziowych oraz możliwości ich wprowadzenia w Polsce

Ewolucja podejścia do ograniczania zagrożenia powodziowego, a tym samym strat i szkód, które wywołuje powódź, ma swoją długą historię w okresie drugiej połowy XX wieku i początku XXI wieku. Przełom w sposobie podejścia do tego problemu jest datowany na początek lat 70. XX wieku, kiedy to uświadomiono sobie, że:

- 1) występuje ciągły wzrost ludności niosący ze sobą, wraz ze wzrostem poziomu cywilizacji i dobrobytu, wzrost zasięgu i poziomu zainwestowania – źródła potencjalnych strat i szkód powodziowych,
- 2) intensywne procesy urbanizacji w krajach wysoko rozwiniętych spowodowały wzrost i silne powiązanie dwóch rodzajów zagrożenia powodziowego: od strony rzeki (historycznie starsze) oraz od strony opadu i jego bezpośredniego spływu w obszarach poddanych presji urbanizacyjnej.

Od tego czasu datuje się poszukiwanie, obok aspektów technicznych, rozwiązań problemu w sferze organizacyjnej, społecznej, planowania przestrzennego i ekonomicznej (polityka podatkowa, kryteria planowania przestrzennego – w zakresie ograniczeń zmian w użytkowaniu terenu i jego zabudowie, rekompensaty traconej retencji naturalnej, a także ubezpieczenia powodziowe). Rozpoczęto identyfikację środków ograniczających zagrożenie przy świadomym założeniu, iż ich zakres powodować będzie przenikanie się tych strategii (np. programy „Room for the Rivers” – 2006 w Holandii czy „Making Space for Water” – 2005 w Wielkiej Brytanii). W latach 90. XX wieku uzupełniono te poszukiwania o kryteria wynikające z obowiązujących zasad ochrony środowiska.

##### 4.1. Dyrektywy UE

Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej) wprowadziła zintegrowane podejście w gospodarce wodnej.

Metody zmniejszania strat powodziowych zostały sformalizowane przez Unię Europejską w ramach Dyrektywy Powodziowej (Dyrektywa 2007/60/WE z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim), która wywodzi się z rozwoju polityki integracji na rzecz zrozumienia przyczyn i źródeł zagrożenia powodziowego i jego skutków oraz dopiero na tym tle kształtowania polityki postępowania i rozwiązań, które powinny być adekwatne do problemu zarówno co do rodzaju, jak i zasięgu przestrzennego.

Wprowadzono definicję ryzyka powodziowego jako integrację następujących elementów, które mają na celu ograniczenie wielkości powodzi i jej skutków:

- 1) Prewencji przeciwpowodziowej, czyli działań wyprzedzających dla ograniczenia wzrostu zagrożenia powodziowego w przyszłości, której podstawowe składowe obej-

- mują: (a) ograniczenie rozwoju zagospodarowania terenów zalewowych, (b) dobre praktyki w gospodarowaniu wodami opadowymi w warunkach rozwoju zabudowy, a zwłaszcza rozwoju urbanizacji, (c) dobre praktyki w podnoszeniu poziomu lesistości i inne działania powodujące wzrost retencyjności terenu na obszarze zlewni rzeki.
- 2) Informacji o zagrożeniu i jego skutkach, obejmującej: (a) mapy zagrożenia i ryzyka powodziowego, (b) prognozy powodzi i system wczesnego ostrzegania, (c) plany operacyjnych działań i zasady zachowania się w czasie zagrożenia.
  - 3) Bezpośredniej ochrony przed powodzią, która obejmuje zastosowanie środków technicznych i nietechnicznych dla: (a) obniżenia wysokości i opóźnienia fali powodziowej przez retencje wód powodziowych (głównie zbiorniki retencyjne, poldery i retencję naturalną), (b) ograniczenia zasięgu oraz skutków powodzi (głównie wały przeciwpowodziowe, kanały ulgi, umocnienia koryt rzek i ich brzegów, itd.).
  - 4) Reagowania na powódź, czyli: (a) gotowość – informowanie ludności o zagrożeniu powodziowym oraz o zasadach postępowania w wypadku powodzi, (b) opracowanie planów awaryjnych na wypadek wystąpienia powodzi i ich realizacja operacyjna w warunkach powodzi oraz (c) działania służb kryzysowych i innych w czasie powodzi dla ochrony życia i zdrowia ludzi oraz dla ograniczenia szkód i strat powodziowych.
  - 5) Odbudowę po powodzi, czyli: (a) działania przywracające w możliwie krótkim czasie stan normalny, w tym usuwanie skutków powodzi, oraz (b) wyciąganie wniosków.

Obecnie polityki i rozwiązania w zagospodarowaniu przestrzennym postrzega się nie tylko jako działania prewencyjne, ale jako instrument i narzędzia w zabezpieczeniu przed powodzią. Jest to związane z nową europejską tendencją, którą nazwać można szeroko rozumianym „zarządzaniem terenami zalewowymi”. To nowe, zintegrowane, podejście ma źródło w przekonaniu i doświadczeniu najbogatszych krajów świata, że **nie można zagwarantować pełnej ochrony przed powodzią, a jedynie łagodzić jej skutki i działać tak, aby nie powiększać istniejącego zagrożenia powodziowego**, w warunkach wzrostu liczby ludności, jej majątku oraz rozwoju gospodarczego.

Dyrektywa Powodziowa UE (Dyrektywa..., 2007) narzuca harmonogram realizacji podstawowych etapów wdrażania jej wymagań w poszczególnych krajach, jak następuje:

- I) Wstępna ocena ryzyka powodziowego (2011) – przeprowadzona dla Polski (wykonawca IMGW)
- II) Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego (2013) – w trakcie realizacji, osiągnięcie tego terminu w naszych warunkach jest zagrożone;
- III) Plany zarządzania ryzykiem powodziowym (2015) – na razie dyskutowane są zasady.

Jako narzędzie wspomagające realizację wdrożenia Dyrektywy powodziowej w Polsce wykorzystuje się projekt ISOK (Informatyczny system osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami). Zastosowane w projekcie rozwiązania, w tym nowe technologie informacyjne, a także telekomunikacyjne, usprawnią funkcjonowanie i koordynację prac

podmiotów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i zarządzanie kryzysowe każdego szczebla administracji państwowej oraz podniosą na wyższy poziom operacyjność i współpracę służb w państwie.

#### 4.2 Techniczne przedsięwzięcia inwestycyjne

Istniejąca infrastruktura przeciwpowodziowa w Polsce jest bardzo tradycyjna, głównie techniczna, ale także jest zróżnicowana regionalnie, co jest ciągle konsekwencją wpływu 123-letniego podziału terytorium Polski między trzech zaborców. Obejmuje ona generalnie następujące rodzaje obiektów:

- Zbiorniki retencyjne, które w zależności od regionu są wielozadaniowe (głównie dorzecze Wisły) lub z dominacją funkcji przeciwpowodziowej bądź innej, a w tym suche zbiorniki powodziowe i poldery (głównie dorzecze Odry);
- Wały przeciwpowodziowe na głównych rzekach oraz na ich dopływach w strefie cofkowej na całym obszarze kraju;
- Kanały ulgi – w dorzeczu Odry.

Dodatkowo, na całym obszarze kraju, ale głównie na południu Polski, rozwinięty jest system umocnień dna i brzegów. Ich zadaniem jest taka stabilizacja koryt rzecznych w czasie powodzi, by ograniczyć uszkodzenia dróg, mostów i zabudowań przybrzeżnych.

Mamy w Polsce ok. 100 zbiorników o pojemności powyżej 1 mln m<sup>3</sup> (łącznie ok. 3500 mln m<sup>3</sup>). Dla ochrony przed powodzią można wykorzystać także ok. 285 mln m<sup>3</sup> użytkowej pojemności małych zbiorników, zaliczanych do tzw. małej retencji. W krajowym systemie ochrony przed powodzią funkcjonuje ponad 600 stacji pomp odwadniających, oddziałujących na obszar prawie 600 tys. ha.

Zbiorniki retencyjne zlokalizowane w dorzeczu górnej Wisły posiadają 357,8 mln m<sup>3</sup> stałej pojemności powodziowej. Gdyby była możliwość zwiększenia stałej rezerwy Rożnowa z 50 do 80 mln m<sup>3</sup> oraz po zakończeniu budowy zbiornika Świnna Poręba i przy powiększeniu jego rezerwy do 60 mln m<sup>3</sup> (zgodnie z obecnymi ustaleniami projektu), sumaryczna pojemność powodziowa zbiorników wzrosłaby do 447,8 mln m<sup>3</sup>. Jest to znacząca wartość, ale jej efektywne wykorzystanie zależy od prawidłowej prognozy dopływu. Jeśli bowiem uwzględnimy wykorzystanie rezerw pojedynczych zbiorników w celu obniżenia szczytu fali powodziowej o wartości przepływu maksymalnego do Q1%, to realnie wykorzystywana wartość tej rezerwy jest zwykle niższa, co wynika z ograniczonej możliwości sterowania zbiornikami, w szczególności przy braku dobrej prognozy dopływu ( $Q_{\max}$  i kubatury wezbrania). Stosunek stałych pojemności powodziowych tych zbiorników do kubatury wezbrań powodziowych o kulminacji < Q1% w przekrojach zaporowych zbiorników jest niewielki (0,1-0,4) i dlatego skuteczność zbiorników, jak każdej retencji (także naturalnej), maleje wraz ze wzrostem wezbrania. Nieco lepiej jest w górnym i środkowym dorzeczu Odry, ale i tam konieczne jest zwiększenie pojemności

przeciwpowodziowej. Zbiorniki suche i poldery powodziowe (w liczbie ponad 30) odgrywają znaczącą rolę w obniżeniu wielkości powodzi.

Ponieważ znaczący odsetek zbiorników retencyjnych nie posiada odpowiednio dużej stałej rezerwy powodziowej, na efekty ich pracy wielki wpływ mają: położenie zbiornika i reguły sterowania nim zawarte w instrukcjach eksploatacji (w części dotyczącej gospodarki wodnej na zbiorniku w okresie wezbrań), a także trafność prognozy dopływu do zbiornika.

Wały przeciwpowodziowe buduje się na ziemiach polskich od połowy XIX wieku, dostosowując wzniesienie ich korony na ogół do zwierciadła wielkiej wody, zarejestrowanej w czasie katastrofalnych powodzi. Wały przeciwpowodziowe chronią ludzi i majątek, ale nie wpływają na obniżenie wielkości powodzi. Całkowita długość wałów przeciwpowodziowych w Polsce wynosi ponad 8500 km. Zadaniem wałów przeciwpowodziowych jest ochrona terenów przed wezbraniem o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, zależnym od stopnia zagospodarowania terenu. W ostatnich 20-30 latach rodzaj i sposób użytkowania terenu uległ zasadniczej zmianie – znacznie wzrósł poziom urbanizacji. Część wałów nie spełnia w tej chwili funkcji ochronnych na wymaganym poziomie. Ponadto ważnym problemem jest przesiąkanie wałów w okresach długotrwałych wysokich stanów wody.

Najwyższy poziom zabezpieczeń powinny posiadać aglomeracje miejskie. Przy bardzo wysokich wezbraniach przelewanie się wody przez korony wałów dopuszczać się powinno w pierwszej kolejności w terenach o niskim poziomie zagospodarowania oraz za-inwestowania. Natomiast aktualnie różnice we wzniesieniu lub niedoborze rzędnych korony wałów w stosunku do zwierciadła wód obliczeniowych na wielu starych ich odcinkach sięgają kilkudziesięciu centymetrów (lokalnie więcej) i są zaszłością historyczną. Ponadto w obrębie różnych województw korony wałów lewostronnych i prawostronnych na tych samych odcinkach rzeki posiadają często także różne rzędne. Ze względu na kryterium stanu technicznego wałów poziom ochrony jest znacznie niższy, niż wynikałoby to z ich wysokości i trudny do oszacowania. Oceniany on może być liczbą awarii i zagrożeń awarią, które występowały praktycznie przy każdym większym wezbraniach w przeszłości.

#### **4.3 Przedsięwzięcia pozainwestycyjne**

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że lokalne środki ochrony przeciwpowodziowej podejmowane w jednym miejscu będą wywoływały efekt domina w obszarach położonych w górnym/dolnym biegu rzek. Na przykład, jeżeli w obrębie jednego obszaru zostaną zastosowane rozwiązania inżyniersko-techniczne w celu odprowadzania w możliwie najkrótszym czasie wody na należącym do niego odcinku rzeki, jest oczywiste, że pojawi się ona szybciej na sąsiednich terenach w jej dolnym biegu. Z tego względu konieczne jest podejmowanie działań w zakresie ochrony przeciwpowodziowej w sposób uzgodniony i skoordynowany wzdłuż całego biegu rzeki.

O wzroście zagrożenia powodzią w Europie świadczą dwie tendencje. Po pierwsze, zmiana klimatu prawdopodobnie przyczyni się do wzrostu rozmiarów i częstotliwości wystąpienia powodzi w przyszłości (większa intensywność opadów oraz podnoszące się poziomy mórz, choć mniejsze zagrożenie powodziami roztopowymi). Po drugie, na obszarach zagrożonych powodzią nastąpił znaczny wzrost zaludnienia i koncentracja dóbr gospodarczych. Coraz wyższa jest również świadomość istotnego wpływu powodzi rzecznych na zdrowie ludzi (fizyczne i psychiczne).

W tej sytuacji poszukuje się działań pozainwestycyjnych (pozastrukturalnych), które uzupełniać powinny działania techniczne, decydując o powodzeniu działań zabezpieczających przed powodzią. Zaliczono do nich następujące rozwiązania (Nachlik, Zaleski 2010b):

- 1) **Zarządzanie użytkowaniem i zabudową terenu** (związane bezpośrednio z zagospodarowaniem przestrzennym), a ukierunkowane na:
  - wzrost (odbudowę utraconej) retencji w terenach wiejskich;
  - spowolnianie odpływu przez wykorzystywanie naturalnej (także wspomaganą technicznie) retencji zlewni na bazie kierowania odpływem,
  - obniżanie wielkości odpływu w terenach zurbanizowanych przez rekompensatę utraconej retencji w warunkach zabudowy przez rozwiązania techniczne.
- 2) **Zarządzanie środowiskiem naturalnym** – morfologią odpływu i roślinnością, dla regulacji stosunków wodnych wspomagających obniżenie podatności terenu na zagrożenia powodziowe małe i średnie, głównie przez:
  - wykorzystanie naturalnych właściwości roślinności i gruntu w kształtowaniu odpływu z terenów zurbanizowanych (retencja roślinna i gruntowa);
  - kształtowanie dróg i strumieni odpływu w terenach zurbanizowanych;
  - zarządzanie terenami zalewowymi rzek przez obniżenie rzędnej zwierciadła wody, dynamiki przepływu, a także jego opóźnienie.
- 3) **Zarządzanie informacją i ostrzeżeniami powodziowymi**
  - opracowanie i udostępnianie pełnej informacji o terenach zagrożonych powodzią (mapy zagrożeń i ryzyka, plany zarządzania ryzykiem powodziowym);
  - poprawa koordynacji działań resortów odpowiedzialnych za gospodarowanie wodami (zarządzanie zlewniowe) i zarządzanie ryzykiem powodzi;
  - prognozy powodziowe i ich wykorzystanie dla ostrzeżeń i sposobu postępowania w celu ograniczenia skutków zagrożeń;
  - edukacja społeczeństwa;
- 4) **Zarządzanie skutkami powodzi** przez:
  - znaczne ograniczenie i/lub likwidację zabudowy na terenach zagrożonych powodzią;
  - zmiany w polityce ubezpieczeniowej na terenach zagrożonych powodzią;

- planowanie wyprzedzające (prewencyjne) użytkowania terenu i jego zabudowy mające na celu redukcję potencjalnych strat powodziowych;
- działania ochronne w czasie wystąpienia powodzi, akcje ratunkowe.

### **Program wspólnego działania UE**

Do najbardziej istotnych elementów tego programu działania należą:

- poprawa współpracy i lepsza koordynacja działań poprzez opracowywanie i wdrażanie, opartych na podobnych założeniach, planów zarządzania zagrożeniem powodziowym dla każdego dorzecza i strefy przybrzeżnej, gdzie powodzie mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie ludzi, środowisko naturalne, działalność gospodarczą i jakość życia,
- opracowywanie i wykorzystywanie map zagrożeń i ryzyka powodziowego jako narzędzi do celów planowania zabudowy i komunikacji,
- usprawnienie wymiany informacji, dzielenie się doświadczeniami, skoordynowane tworzenie i upowszechnianie najlepszych praktyk,
- budowanie silniejszych związków między środowiskiem naukowo-badawczym a organami odpowiedzialnymi za gospodarowanie wodami i ochronę przeciwpowodziową,
- poprawa współpracy między odpowiednimi politykami UE,
- podnoszenie świadomości w zakresie zagrożenia powodzią przez włączenie szerszego grona interesariuszy i bardziej skuteczną komunikację.

#### **4.3.1. Metody prognozowania zagrożeń powodziowych, system informacji meteorologicznej i hydrologicznej**

Systemy prognostyczno-ostrzegawcze stanowią jedną z najważniejszych nietechnicznych metod zmniejszania strat powodziowych.

System prognostyczny używa pomiarów i prognoz meteorologicznych oraz pomiarów poziomów wody w górnych odcinkach rzeki do budowy prognoz poziomów wody, które potrzebne są do uruchomienia systemu ostrzegania. Dobra prognoza cechuje się długim czasem wyprzedzenia i wysoką wiarygodnością. Są to jednak dwa przeciwstawne kryteria – im większy jest czas wyprzedzenia (zależny od rodzaju powodzi), tym mniejsza jest wiarygodność prognozy. Miarą jakości prognozy jest jej sprawdzalność. Na podstawie prognozy wysokości poziomu wody przygotowywane są i ogłaszane ostrzeżenia i alarmy przeciwpowodziowe.

W wypadku powodzi lokalnych, spowodowanych nagłymi ulewnymi deszczami, na podstawie obecnej wiedzy nie można przewidzieć jej czasu wystąpienia, rozmiaru i miejsca. W przypadku długotrwałych wezbrań, szczególnie na dużych rzekach, czas przejścia fali powodziowej jest wystarczająco długi, by można było prognozować przebieg poziomów wody rzeki. Minimalnym czasem wyprzedzenia jest czas dobiegu fali

pomiędzy źródłem i lokalizacją przekroju rzeki, dla którego stawia się prognozę. Czas wyprzedzenia można przedłużyć za pomocą modeli opad-odpływ oraz, dodatkowo, za pomocą prognoz meteorologicznych (Romanowicz i in. 2006a, 2006b, 2008). Wiarygodny system prognostyczny powinien zawierać model całego systemu rzecznego, gdyż fale powodziowe z dopływów bocznych mogą nałożyć się na falę w cieku głównym (powódź w lecie 2010 roku).

System ostrzegania przed powodzią bazuje zarówno na pomiarach stanów wody, jak i na prognozie. Stany wody zostały sklasyfikowane jako stan niski, stan wody średniej, stan wysoki, stan ostrzegawczy i stan alarmowy. Jeśli stan wody, przy którym wydawane jest ostrzeżenie, jest zbyt wysoki, zwiększa się ryzyko powodzi, ponieważ ludność nie będzie ostrzegana na czas. Jednak postawienie zbyt niskich progów ostrzegania powoduje zmniejszenie wiarygodności powodzi. Występowanie/ogłaszanie fałszywych alarmów powoduje, że ludność przestaje na nie reagować.

System ostrzegania przed powodzią ma ogromne znaczenie w zmniejszaniu ryzyka powodzi. Jego sprawność i wiarygodność są bezsprzecznie najważniejszym elementem w ochronie ludzkiego życia i mienia przed powodzią.

Przeprowadzona przez Romanowicz i Osuch (2011) analiza zmian w użytkowaniu terenów w zlewni Górnej Narwi w ciągu ostatnich 70 lat wskazuje na stosunkowo duży wzrost powierzchni zalesionej, zmniejszenie areału łąk, obniżenie poziomu wód gruntowych, związane z pracami melioracyjnymi w latach 60. XX ubiegłego wieku, oraz stosunkowo mały, w porównaniu ze wzrostem powierzchni zalesionej, wzrost powierzchni zurbanizowanych. W tej sytuacji wypadkowa retencja zlewni rośnie, co ma wpływ na zmniejszenie się zagrożenia powodziowego. Niemniej, ze względu na przestrzenne zróżnicowanie użytkowania terenu, nie można uogólniać wniosków z jednego regionu na cały kraj.

Po klęsce powodzi w 1997 r. na terenie Polski powstało wiele lokalnych systemów monitoringu stanów wody oraz zmodernizowana została sieć monitoringu IMGW-PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy) w ramach programu „Systemy Monitoringu i Osłony Kraju” (SMOK) (Kadłubowski 2005). System ten umożliwia przekazywanie telemetrycznych danych hydrologicznych i meteorologicznych z ogólnokrajowej sieci obserwacyjno-sygnalizacyjnej do systemów meteorologii i hydrologii operacyjnej, a następnie zapewnia on przekazywanie prognoz stanów wody na strategicznych odcinkach rzek służbom ostrzegania przeciwpowodziowego. W krajowych systemach operacyjnych do prognoz krótkoterminowych stosuje się modele oparte na związkach wodowskazowych, uproszczone hydrologiczne modele transformacji przepływu w korycie oraz modele hydrodynamiczne. Klęska powodzi z maja i czerwca 2010 r. pokazała, że obecny prognostyczny system hydrologiczny nie jest wystarczająco sprawny i nie pozwala na postawienie prognozy z dużym czasem wyprzedzenia. W kon-



sekwencji, w rejonie Górnej Wisły nie została wykorzystana zdolność retencjonowania wody przez systemy zbiorników retencyjnych na Sole i Dunajcu (Niedbała 2010). Zaistniała sytuacja wskazuje na konieczność uwzględnienia niepewności prognoz hydrologicznych w ostrzeganiu przeciwpowodziowym oraz na brak narzędzi wspomagania decyzji w postaci scenariuszy symulacyjnych. Znajomość wiarygodności prognozy ma wielkie znaczenie przy wyznaczaniu ryzyka powodzi niezbędnego w systemie ostrzegania przeciwpowodziowego (Romanowicz i in. 2006) i jest warunkiem dopuszczalności systemu prognostycznego w Europie (Thielen i in. 2007).

#### 4.4. Planowanie przestrzenne oraz zarządzanie zabudową i użytkowaniem zlewni i dolin rzecznych

**Planowanie przestrzenne** jest obecnie poważnym instrumentem w kształtowaniu warunków dla ograniczenia zagrożenia powodziowego. Punktem wyjścia do tej polityki stała się identyfikacja głównych obszarów konfliktowych w warunkach rozwoju, których skutkiem jest utrata naturalnej retencji wód opadowych przez uszczelnianie podłoża, w sytuacji zmian w użytkowaniu terenu i jego zabudowie.

Zmiany w użytkowaniu terenu oraz jego zabudowa w warunkach rozwoju powodują:

- 1) Ograniczenie szerokości naturalnego koryta odpływu wielkich wód w rzekach, co podnosi bezpośrednie zagrożenie powodziowe od strony rzeki na terenie zabudowy, ale także powoduje wzrost zagrożenia powodziowego w rejonie rzeki na jej niżej położonym odcinku na skutek przyspieszenia odpływu wielkich wód.
- 2) Obniżenie naturalnego poziomu infiltracji wód opadowych do gleby, co niekorzystnie zmienia strukturę odpływu, przyspieszając i podnosząc wartość odpływu powierzchniowego kosztem obniżenia odpływu podziemnego, a tym samym powoduje wzrost zagrożenia powodziowego bezpośrednio na terenie objętym zmianami w zagospodarowaniu, ale także w rejonie rzeki, którą ten odpływ powierzchniowy zasila.

Zgodnie z polityką UE, do prawa polskiego wprowadzono już ograniczenia w zabudowie terenów narażonych na powódzie (Prawo Wodne). Dotyczy to jednak jedynie rejonu rzek i ma charakter przyszłościowy. Instrument planowania przestrzennego może i powinien być wykorzystany znacznie szerzej w odniesieniu do całych zlewni.

Zbadanie oceny możliwości realnego ograniczenia zagrożenia powodziowego przez kontrolę rozwoju zagospodarowania przestrzennego powinna objąć koncepcja przestrzennego zagospodarowania kraju (Nachlik, Zaleski 2010b), zawierająca:

- (I) Rozwiązania dla ograniczenia zagrożenia powodziowego w warunkach rozwoju, w tym:
  - 1) Rozwiązania organizacyjne i planistyczne ukierunkowane na kontrolę zmian w użytkowaniu terenu i jego zabudowy **w rejonie rzeki**, bazujące na:
    - Zakazie i wycofaniu istniejącej zabudowy z terenów najbardziej narażonych na powódź;

- Określeniu warunków zabudowy i zagospodarowania terenów narażonych na ryzyko powodzi, których realizacja nie przyczyni się do wzrostu tego ryzyka, a umożliwi rozwój w koegzystencji z wodą bez konieczności budowy obwałowań;
- Zwiększaniu pojemności retencyjnej dolin rzecznych poprzez m.in.: odtwarzanie starorzeczy i mokradeł na terasach zalewowych, tworzenie kanałów lateralnych, poszerzanie międzywala poprzez relokację wałów itp.
- Budowie nowych obwałowań w większej odległości od koryta rzeki pozwalających przyjmowanie mniejszych fal powodziowych w strefie międzywala, tak aby umożliwić odprowadzenie fali wezbraniowej przy najniższym możliwym poziomie wody oraz zapewnić planowany rozwój w warunkach bezpiecznego funkcjonowania jego infrastruktury.

2) Rozwiązania planistyczne, techniczne i technologiczne **rekompensujące utratę infiltracji wód opadowych do gleby** w warunkach rozwoju, bazujące na:

- Delimitacji terenów: (a) obowiązkowo chronionych w zakresie struktury odpływu wód opadowych, (b) przeznaczonych do intensywnej urbanizacji i rozwoju gospodarczego oraz (c) poddanych urbanizacji kontrolowanej (zapis w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego i decyzjach o warunkach zabudowy);
- Zastosowaniu rekompensaty utraconej infiltracji na bazie czasowej retencji wód opadowych, tak aby opóźnić i obniżyć ich odpływ (planistyczno-techniczne polegające m.in. na wdrażaniu systemów zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych w miastach);
- Zastosowaniu systemu kontroli gospodarowania wodami opadowymi w obszarach rozwojowych z wykorzystaniem rozwiązań planistycznych minimalizujących wielkość terenów przeznaczonych pod infrastrukturę, rozwiązań technicznych kształtujących odpływ i retencję wód opadowych przed ich zrzutem do kanalizacji oraz bioinżynieryjnych rozwiązań technologicznych rekompensujących utraconą infiltrację w danym obszarze.

Każde z zaproponowanych rozwiązań wymaga odpowiednich regulacji prawnych oraz zastosowania instrumentów metodycznych, ekonomicznych i organizacyjnych, które umożliwią ich zastosowanie i egzekwowanie.

(II) Konieczne **regulacje prawne** wspierające planowanie przestrzenne zintegrowane z gospodarowaniem wodami.

1) Na poziomie ustawowym niezbędne jest wprowadzenie:

- w prawie wodnym – kryteriów oceny zagrożenia powodziowego oraz kryteriów ochrony przed powodzią (w porozumieniu z urbanistami);
- w prawie o zagospodarowaniu przestrzennym – zasad kontroli zmian w użytkowaniu terenu i w jego zabudowie na bazie powyższych kryteriów;

- w prawie budowlanym – zmiany klasyfikacji wód opadowych, które są zaliczane do ścieków.
- 2) Na poziomie rozporządzeń niezbędne jest wprowadzenie szczegółowych zasad postępowania oraz doboru rozwiązań planistycznych, projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych, wspartych materiałami metodycznymi z uwzględnieniem rozwiązań typowych, w zakresie:
- oceny zasięgu i poziomu zagrożenia powodziowego z uwzględnieniem warunków zewnętrznego i wewnętrznego zasilania danego obszaru;
  - kryteriów ochrony korytarza rzeki w warunkach przejścia wielkich wód;
  - oceny wpływu zmian w użytkowaniu terenu i w jego zabudowie na zmianę warunków odpływu w określonych warunkach meteorologicznych i glebowych;
  - zasad planowania zabudowy z uwzględnieniem warunków ochrony systemu odpływu wód opadowych (zmiana obowiązku odprowadzania wód opadowych do zbiorczych systemów kanalizacji na obowiązek ich zagospodarowania na miejscu zaistnienia opadu);
  - warunków planowania i projektowania rozwiązań technicznych i technologicznych rekompensujących utratę infiltracji gleby wraz z katalogiem rozwiązań zalecanych, a także typowych;
  - instrumentów ekonomicznych (np. ulg w opłatach za odprowadzanie wód opadowych uzależnionych od zastosowania rozwiązań retencyjno-infiltracyjnych) dla motywowania inwestorów do zwiększania powierzchni biologicznie czynnych, zatrzymywania i zagospodarowania wód deszczowych w obrębie zlewni zurbanizowanych w celu ograniczenia natężeń przepływów szczytowych w kanalizacji zbiorczej.

#### **4.5. Proces zmian w zarządzaniu zabezpieczeniem przed powodzią w Polsce**

Dramatyczna powódź 1997 roku była impulsem do podjęcia działań w zakresie zarządczym i legislacyjnym, zarówno w kierunku usuwania strat powodziowych, jak i zapobiegania i ograniczenia strat powodziowych w przyszłości (Nachlik, Zaleski 2010b). Bezpośrednią reakcją na powódź 1997 roku ze strony rządu i parlamentu było przyjęcie przez Sejm regulacji prawnych ułatwiających proces usuwania skutków powodzi. Wprowadzono wiele ułatwień w sprawach związanych z odbudową zniszczeń powodziowych, znajdujących się w ustawie z dnia 17 lipca 1997 r. o stosowaniu szczególnych rozwiązań w związku z likwidacją skutków powodzi, która miała miejsce w lipcu 1997 roku (Dz. U. nr 80, poz. 491).

Drugą bezpośrednią reakcją na powódź 1997 roku była inicjatywa rządu w postaci ustanowienia rezerwy celowej w budżecie państwa na usuwanie skutków powodzi, co stało się ważnym i trwałym rozwiązaniem w zakresie finansowania działań bezpośrednio związanych z wystąpieniem kataklizmu (np. odbudowa zniszczonych urządzeń i obwoła-

wań), jak również stało się stabilnym źródłem finansowania i współfinansowania działań o charakterze prewencyjnym.

Po 2009 roku koncentracja zadań dotyczy głównie formułowania i budowy elementów systemowego podejścia do modernizacji zabezpieczenia przed powodzią w naszym kraju, a w szczególności rozwoju podejścia systemowego łączącego elementy działań regionalnych i lokalnych, na tle stanu technicznego obiektów istniejącego systemu, rozwiązania problemu odbudowy retencji polderowej w dolinach rzecznych, kryteriów oceny efektywności przedsięwzięć oraz uwzględnienia kryteriów środowiskowych poprzez analizy wariantowe i podejście do rekompensat w różnych skalach przestrzennych (np., Bojarski, Nachlik 2010, Bojarski i in. 2011, Nachlik, Zaleski 2010a).

Reasumując, można z całą odpowiedzialnością stwierdzić, że w Polsce dokonano znacznego postępu organizacyjnego, merytorycznego, finansowego i prawnego dla modernizacji podejścia i realizacji zabezpieczenia przed powodzią w nowym wymiarze i ujęciu.

## 5. Poszukiwanie efektywnej strategii ochrony przeciwpowodziowej

Użyteczna definicja strategii pochodzi z teorii gier. Strategia jest sposobem zachowania się uczestnika gry pozwalającym mu osiągnąć cel gry z uwzględnieniem faktu, że istnieją inni uczestnicy gry dążący do osiągnięcia swoich celów. Jest to przydatna definicja, bowiem ochronę przeciwpowodziową zaliczyć można do tak zwanych „gier z naturą”, tj. działań człowieka, w których zjawiska przyrodnicze są „graczem” (przeciwnikiem). Strategią optymalną nazywamy taką strategię, która pozwala osiągnąć cel przy minimalnych kosztach. W przypadku ochrony przed powodzią są to koszty społeczno-ekonomiczne i ekologiczne. Ustalając strategię, należy uwzględnić działania podejmowane dla realizacji innych celów, powodujące skutki niekorzystne ze względu na cele ochrony przeciwpowodziowej (np. obwałowanie terenu dotychczas nieobwałowanego powoduje rozwój infrastruktury wrażliwej na szkody powodziowe).

### 5.1. Uzasadnienie konieczności zmiany dotychczasowej strategii

Podsumowując, przyczynami wielkich szkód wywoływanych powodzią w Polsce są:

- 1) Niewłaściwe zagospodarowanie terenów zalewowych.** Ostatnia wielka powódź w dorzeczu Odry przed rokiem 1997 wystąpiła w 1903 roku. Po powodzi 1903 roku wykonano wiele przedsięwzięć ochrony przeciwpowodziowej (wały, zbiorniki, poldery, kanały ulgi). Przedsięwzięcia te oraz długi okres bez powodzi stworzyły iluzję pełnego bezpieczeństwa. Spowodowało to szybki rozwój zabudowy terenów zalewowych, w tym również polderów. Kiedy wreszcie przyszła wielka woda, w roku 1997, straty były ogromne. Brak jest symptomów poprawy w tej dziedzinie oraz uregulowania problemu odszkodowań dla właścicieli terenów objętych niezbędnymi ograniczeniami prawa do zabudowy. Jeżeli w planie miejscowym tereny zalewowe (w szczególności tereny obwało-

wane, gdzie awarie wałów wywołują szczególnie wielkie szkody i zagrożenie życia ludzi) zostaną wyłączone z możliwości zabudowy, to tereny te i znajdujące się na nich nieruchomości tracą wartość, a gmina będzie zmuszona do wypłaty odszkodowań. Projekt takiego restrykcyjnego planu miejscowego nie ma szans na uzgodnienie, jeśli problem odszkodowań nie znajdzie zadowalającego rozwiązania.

**2) Brak właściwej organizacji operacyjnej ochrony przeciwpowodziowej.** Ochrona przeciwpowodziowa należy do obowiązków administracji rządowej i samorządowej. Zarządzanie ochroną przed powodzią, i generalnie gospodarką wodną, powinno odbywać się w granicach zlewni. Ponadto lokalna administracja nie posiada wiedzy potrzebnej do racjonalnych działań. Niejasny podział kompetencji między administracją lokalną i wodną powoduje wiele niewłaściwych i opóźnionych decyzji oraz nieefektywne sterowanie zbiornikami retencyjnymi. Działaniem we właściwym kierunku było powołanie po 1997 roku organów antykrzysowych. Natomiast zarządzanie zlewniowe w Polsce jest nadal dalekie od skuteczności. W problematykę wodną zaangażowane są trzy resorty: Środowiska, Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej oraz Spraw Wewnętrznych. Władzę ma administracja, pieniądze mają Fundusze Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska, a większość rzek i urządzeń wodnych administrowana jest przez agendy resortu rolnictwa. Oczywiście postulaty mówiące o konieczności zarządzania ryzykiem powodziowym w skali zlewni oraz jednoosobowej odpowiedzialności za ochronę przeciwpowodziową nadal nie są realizowane.

**3) Brak merytorycznego przygotowania osób zarządzających ochroną przeciwpowodziową do podejmowania decyzji w warunkach głębokiej niepewności.** Podczas – a w szczególności po powodzi – obserwuje się zjawisko „transferu odpowiedzialności”. Decydenci oczekują pewnej informacji na temat przyszłych wydarzeń, tymczasem prognozy hydrologiczne cechuje wysoki poziom niepewności. W warunkach pewności niepotrzebny jest decydent, bowiem poprawna decyzja jest oczywista. Decydent jest potrzebny, gdy informacja jest niepewna i trzeba podjąć decyzję, uwzględniając ryzyko wynikające z niepewności (Shackle 1961). Jest to konieczne i możliwe, ale wymaga zarówno wiedzy, jak i świadomości osobistej odpowiedzialności za skutki podjętej decyzji. Przygotowanie osób zarządzających ochroną przeciwpowodziową powinno obejmować szkolenia w zakresie podejmowania decyzji w warunkach niepewności.

**4) Niska świadomość zagrożenia powodziowego i słabe przygotowanie społeczności zamieszkującej tereny zalewowe do sytuacji kryzysowych.** Brak potrzebnej informacji i zaniedbania edukacyjne powodują często irracjonalne, szkodliwe zachowania (np. niezgodę na ewakuację pomimo ewidentnego zagrożenia, a po powodzi żądanie odbudowy zniszczonego domu w tym samym miejscu).

**5) Brak dokładnych ilościowych prognoz opadów (IPO).** Podczas powodzi dostępne są IPO przygotowywane z wykorzystaniem mezoskalowych modeli komputerowych.

Prognozy hydrologiczne wykorzystują IPO jako wejścia do symulacyjnych modeli hydrologicznych. Wymagania są tu rygorystyczne – czas wyprzedzenia prognozy rzędu 72 godzin i prognoza sformułowana jako średnia suma opadowa z krokiem czasowym rzędu 1-3 godziny dla każdej podzlewni o powierzchni rzędu 1000 km<sup>2</sup>. Jednak postęp w zaspokojeniu powyższych wymagań, pomimo wykorzystania superkomputerów, zdjęć satelitarnych, radarów meteorologicznych i innych osiągnięć nauki i technologii, jest niewielki. Brak IPO obarczonych błędem porównywalnym z błędami obserwacji opadów jest przyczyną wielu opóźnionych i błędnych decyzji, co powoduje wzrost szkód powodziowych. Naiwne jest oczekiwanie, że IPO spełni wymagania prognoz hydrologicznych, a wynika to ze zjawiska chaosu deterministycznego. Można i trzeba natomiast żądać sformułowania tych prognoz w kategoriach probabilistycznych, tj. z ujawnieniem ich niepewności. Aktualnie autorzy prognoz raczej starają się ukryć niepewność swoich prognoz. Konieczne jest uświadomienie sobie, że prognoza obciążona znacznym błędem, lecz sformułowana kategorycznie (bez oszacowania rozkładu błędów), jest nieprzydatna, a nawet może być szkodliwa.

**6) Nieadekwatność standardowych metod statystycznych wykorzystywanych do wyznaczania parametrów urządzeń ochrony przeciwpowodziowej.** Standardowe metody statystyczne (zalecane normatywami) prowadzą do wniosku, że powtarzalność powodzi 1997 roku na górnej Odrze jest rzędu 10 000 lat. Metody wykorzystywane jako standard w Wielkiej Brytanii prowadzą do oceny powodzi 1997 jako zdarzenia o powtarzalności rzędu 300 lat. Jest to przykład niepewności ocen „przepływów prawdopodobnych” stanowiących podstawę projektowania systemów ochrony przed powodzią. Brak jest metod pozwalających ocenić niepewność wynikającą z przyjmowanych założeń.

**7) Niewłaściwa polityka ubezpieczeniowa.** Składki ubezpieczeniowe nie uwzględniają należyte ryzyka powodzi (na terenach obwałowanych). Ten fakt oraz uzasadniona dotychczasową praktyką nadzieja, że w przypadku powodzi państwo przyjdzie z pomocą (to znaczy koszty poniesie ogół podatników), jest jedną z przyczyn rozwoju wrażliwej na skutki zalania infrastruktury na terenach zalewowych. W ten sposób nakręca się „błędne koło ochrony przeciwpowodziowej”.

**8) Zły stan techniczny istniejących technicznych środków ochrony przeciwpowodziowej.** W przypadku powodzi odrzańskiej 1997 roku o rozmiarach szkód przesądziły dwa fakty: stały brak środków na gospodarkę wodną i długi okres bez wielkiej powodzi, usypiający czujność.

Powyższe przyczyny wymieniono w porządku hierarchicznym od najważniejszej do najmniej istotnej. Jest to hierarchia poprawna tylko w odniesieniu do całego kraju, lecz w przypadku poszczególnych zlewni kolejność może być inna. Przykładowo, w zlewni Nisy Kłodzkiej istnieją dwa duże zbiorniki retencyjne, które w roku 1997 wypełniły się przed kulminacją dopływu. Brak dobrej ilościowej prognozy opadów oraz brak instrukcji

eksploatacyjnej zbiornika, umożliwiającej wykorzystanie obciążonej nieuchronnym błędem prognozy, można w tym przypadku uznać za główną przyczynę niedostatecznej efektywności zbiorników. Powszechnie akceptowane cele ochrony przeciwpowodziowej to:

- 1) Ochrona życia i zdrowia ludzi,
- 2) Minimalizacja ekonomicznych, społecznych i ekologicznych szkód powodziowych.

W niektórych przypadkach minimalizacja sumarycznych szkód powodziowych w długim okresie czasu (np. przez budowę obwałowań) może zwiększać zagrożenie życia ludzi (największe ryzyko stwarza awaria wałów). Poszukiwana optymalna strategia powinna umożliwiać osiągnięcie tych celów z uwzględnieniem ich hierarchii i czynnika niepewności przy minimalnych kosztach.

## 5.2. Strategia złożona jako kombinacja strategii elementarnych

Strategia optymalna w tak skomplikowanym zadaniu, jak ochrona przed powodzią nie może być strategią prostą, posługującą się tylko jednym sposobem działania – musi to być strategia złożona, wykorzystująca optymalną kombinację wszystkich dostępnych działań oraz umożliwiająca ocenę ich skutków w sposób zintegrowany.

Strategia złożona jest zbiorem strategii elementarnych (cząstkowych) stosowanych w odpowiednich proporcjach i w odpowiedniej kolejności, z rozłożeniem akcentów i preferencji wobec wybranych strategii elementarnych. Przez strategię elementarną należy w tym przypadku rozumieć sposoby działania jednego, określonego typu, np.:

- strategia oparta na zmianie zasad polityki przestrzennej, tj. prawnym ograniczeniu możliwości wykorzystywania terenów zalewowych w sposób wrażliwy na skutki zalania (potrzebne są tu trudne, ale niezbędne decyzje polityczne),
- strategia oparta na **systemie informacyjnym, właściwej organizacji** (zarządzanie w skali zlewni, jednoosobowa odpowiedzialność) i sprawnej ewakuacji,
- strategia **techniczna** (wały, zbiorniki, kanały ulgi, poldery) zorientowana zarówno na budowę nowych urządzeń, jak i na zwiększenie efektywności istniejących (przy wszystkich uwagach krytycznych, jakie można sformułować na temat strategii technicznej, nie można jej uniknąć w przypadku ochrony aglomeracji miejsko-przemysłowych, miast historycznych i obszarów gęsto zaludnionych),
- strategia **ekologiczna** (renaturyzacja dolin i koryt rzecznych oraz obszarów podmokłych, zalesienia),
- strategia polegająca na **właściwej polityce ubezpieczeniowej**,
- strategia polegająca na **szkoleniu oraz treningu** decydentów, służb ratunkowych i mieszkańców terenów zalewowych,
- strategia polegająca na **prowadzeniu i wdrażaniu wyników badań naukowych** zorientowanych na zwalczanie powodzi.

Można sformułować wiele wariantów strategii ochrony przeciwpowodziowej różniących się rozłożeniem akcentów i proporcji między strategiami elementarnymi. Wybór

optymalnego wariantu związany będzie z przyjęciem zbioru kryteriów uwzględniających m.in. oddziaływanie na środowisko i społeczeństwo, koszty i efekty, które umożliwiają dokonanie oceny każdego wariantu i sporządzenie rankingu proponowanych strategii.

Szczególnie użyteczne przy określaniu optymalnej strategii ochrony przeciwpowodziowej mogą być metody analizy wielokryterialnej stosowane powszechnie w Ocenach Oddziaływania na Środowisko (OOS). Narzędzia analizy wielokryterialnej dają możliwość korygowania wag poszczególnych składowych elementarnych, co otwiera drogę do zbliżenia stanowisk i osiągnięcia kompromisu.

Istnieje szereg poważnych trudności z wyłonieniem zbioru kryteriów i narzędzi oceny wariantów strategii uwzględniających równolegle symulacje prognozowanych zmian oraz analizę ekonomiczną wariantów w warunkach niepewności. Problematyczne może być również wypracowanie kompromisu w warunkach sprzeczności interesów różnych interesariuszy tego procesu.

Niemniej jednak konieczne jest opracowanie modelu i procedury tworzenia złożonych strategii ochrony przeciwpowodziowej dla obszarów o różnym poziomie zagrożeń i ryzyka powodziowego, uwzględniających priorytety rozwoju zrównoważonego, konieczność integracji planowania przestrzennego z gospodarką wodną, szerokiej partycypacji społecznej i współpracy ekspertów różnych dziedzin oraz wykorzystanie najnowszych badań naukowych, baz danych, modeli symulacyjnych oraz narzędzi analizy ekonomicznej (Żelaziński 2007).

## Literatura

- Arkuszewski A., Żbikowski A. (1974) *Ochrona przed powodzią w świetle doświadczeń i potrzeb*, Gospodarka Wodna, nr 11/74.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. (1993) *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Bobiński E., Żelaziński J. (1996) *Czy można przerwać błędne koło ochrony przeciwpowodziowej?* Gospodarka Wodna, marzec 1996.
- Bobiński E., Kadłubowski A., Żelaziński J. (1998) *Ocena roli zbiorników wodnych w Czorsztynie-Niedzicy w ochronie przeciwpowodziowej w lipcu 1997*, Ekologiczne metody zapobiegania powodzi.
- Bojarski A., Nachlik E. (2010) *System ochrony przed powodzią górnej Wisły. Wrażliwość elementów systemu na wielkie wezbranie na przykładzie powodzi 2010 roku*, Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, nr 4/2010.
- Bojarski A., Grela J., Gręplowska Z., Kondel B., Nachlik E., Zaleski J. (2011) *Program ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły – geneza i przyjęte rozwiązania*, Gospodarka Wodna, nr 10/2011.
- Ciepielowski A. (1992) *Charakterystyka zjawisk powodziowych w Polsce [w:] Ochrona przed powodzią*, Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Dyrektywa nr 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 X 2000 ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, 2000, Dz. U. UE nr L 327/1.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2007/60/WE z 23 X 2007 w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, 2007, Dz. U. UE nr L 288/27.



- Evaluation of the Impact of Floods and Associated Protection Policies*, 2005, European Commission DG Environment, Final Report.
- Handmer J., Y. Honda, Z.W. Kundzewicz et al. (2012), *Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems*. [W:] *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field C.B., V. Barros, T.F. Stocker et al. (red.)]. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, str. 231-290.
- Januchta-Szostak A. (2011) *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Januchta-Szostak A. (2012) *Urban water ecosystem services*. [W:] Tomasz Bergier, J. Kronenberg (eds.) [W:] *Sustainable development – applications*. Fundacja Sendzimira, Kraków.
- Rozwój miast w Polsce*, 2010, Raport wprowadzający Ministerstwa Rozwoju Regionalnego opracowany na potrzeby przygotowania przeglądu OECD krajowej polityki miejskiej w Polsce. MRR, Warszawa.
- Konceptja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju do roku 2033* (2011), Projekt, Warszawa.
- Kadłubowski A. (2005) Szkoła Tematyczna MANHAZ, Zarządzanie Zagrożeniami dla Zdrowia i Środowiska, 26-30.09.2005.
- Kapur J.N. (1983) *Twenty five years of maximum entropy principle*. J. Math. Phys. Sciences 17, nr 2, str. 103-156.
- Konceptja ochrony przed powodzią Wisły i jej dopływów w rejonie Sandomierza i Tarnobrzegu, 2009-10*, opracowanie konsorcjum: Politechnika Krakowska, MGGP S.A., Cermet-Bud Sp. z o.o. oraz IMGW PIB – Oddział w Krakowie.
- Kowalczak P. (2010) *Wodne dylematy urbanizacji*, Wydawnictwo Poznańskie, Poznań.
- Kundzewicz Z.W., Pińskwar I., Brakenridge G.R. (2013) *Large floods in Europe, 1985-2009*. Hydrol. Sci. J. 58(1), 1-7.
- Kundzewicz Z.W. (red.) (2012) *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10, IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, str. 516+xvi.
- Kundzewicz Z.W., Dobrowolski A., Lorenc H., Niedźwiedz T., Pińskwar I., Kowalczak P. (2012) *Floods in Poland*. [W:] Kundzewicz, Z.W. (red.) *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10, IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, roz. 17, 319-334.
- Łasut A., 2006, *Koszty i korzyści z wprowadzenia w Polsce systemu ubezpieczeń obowiązkowych od skutków powodzi*, praca doktorska, AGH, 2006.
- Mikulski Z. (1998) *Systematyka i definicje nauk o wodzie: w ujęciu historycznym*. [W:] Zeszyty Terminologiczne/TNW. Nauki o Ziemi; z. 1, „Retro-Art”, Warszawa.
- Mioduszewski, W. (1999) *Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym*, Wyd. IMUZ, Falenty.
- Mioduszewski, W. (1999) *Retencjonowanie wód na obszarach wiejskich*. [W:] *Woda na obszarach wiejskich*, praca zbior., red. W. Mioduszewski, W. Dembek, MRiRW, IMUZ, Falenty.
- Nachlik E., Zaleski J. (2010a), *Zarządzanie gospodarką wodną – czekanie na Aleksandra Wielkiego, który przetnie istniejący węzeł gordyjski*, Gospodarka Wodna Nr 1/2010.
- Nachlik E., Zaleski J. (2010b) *Działania rządu i parlamentu po 1997 r. w sferze ochrony przeciwpowodziowej*, Ekspertyza nr OE-132, Kancelaria Senatu RP, 2010.
- Narodowa Strategia Gospodarowania Wodami 2030* (2008), Projekt, Warszawa.
- Niedbała J. (2010) *Charakterystyczne cechy wezbrania z maja i czerwca 2010 w dorzeczu górnej Wisły*, Mat. Forum Naukowo-Techniczne Powódź 2010. NIK, 2011, Kontrola Państwowa Numer 1 specjalny, kwiecień 2011 r. NIK Warszawa.

- Planning Policy Statement 25*, 2008, *Development and flood Risk – Practice Guide*, Department for Communities and Local Government, UK.
- Polityka wodna kraju do 2030*, 2010, Projekt, Warszawa.
- Osuch M., Kindler J., Romanowicz R.J., Berbeka K., Barnowska A. (2012) *Strategia adaptacji Polski do zmian klimatu w zakresie sektora „Zasoby i gospodarka wodna”*, XXXX.
- Romanowicz, R.J., P.C. Young, and K.J. Beven (2006a) *Data assimilation and adaptive forecasting of water levels in the river Severn catchment*, UK, *Water Resour. Res.*, 42, W06407, doi:10.1029/2005WR004373.
- Romanowicz R.J., K.J. Beven, and P.C. Young (2006b) *Uncertainty propagation in a sequential model for flood forecasting*. [W:] *Predictions in Ungauged Basins: Promise and Progress* (Proceedings of Symposium S7 held during the 7<sup>th</sup> IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005), IAHS Publ. 303, 177-184.
- Romanowicz R.J., P.C. Young K.J. Beven, F. Pappenberger (2008) *A data based mechanistic approach to nonlinear flood routing and adaptive flood level forecasting*, *Advances in Water Res.*, 31, 1048-1056.
- Romanowicz R.J., Osuch M. (2011) *Assessment of land use and water management induced changes in flow regime of the Upper Narew*, *Physics and Chemistry of the Earth*, doi: 10.1016/j.pce.2011.04.012.
- Shackle G.L.S. (1961) *Decision, Order, and Time in Human Affairs*. Cambridge University Press.
- Studia ochrony przed powodzią ze względu na ochronę ludzi i mienia – zrealizowane dla województw: małopolskiego, podkarpackiego, śląskiego i świętokrzyskiego na zlecenie MSWiA w latach 2006-2008*, Politechnika Krakowska, Raporty, 2006-2008.
- Sustainable Water Use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts*, 2001, European Environmental Agency, Report No 21, Copenhagen.
- Thielen J., Bartholmes J., Ramos M.H., de Roo A. (2007) *The European Flood Alert System – Part 1: Concept and development*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 125-140.
- Ustawa z 18 lipca 2001 r. Prawo wodne*. Dz.U. z 2001 r. nr 115, poz. 1229 (z późn. zmianami).
- Węclawowicz G. (2010) *Charakterystyka głównych trendów i zmian w rozwoju obszarów miejskich Polski*. Warszawa: ekspertyza na zlecenie MRR.
- Zajbert M. (1975) *Gospodarka wodna*, Warszawa: PAN. IGiPZ, 1975.
- Żelaziński J. (2007) *Skutki ignorowania zasady maksymalnej niepewności w ochronie przeciwpowodziowej*. Materiały konferencji: *Cywilizacja i Żywioty*, Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

### Disasters related to water excess

Floods are among the worst global natural disasters due to their frequency and amount of both social and economic losses. The aim of this work is the presentation of risk related to the damaging impact of water excess in Poland in the face of the changing climate and the socio-economic development of the country. The authors analyse the scale and mechanisms of floods in Poland. Projections for the future related both to the climate change and direct anthropogenic effects are also presented. The results of the work provide information on flood generating factors, loss reduction and a proposal of an effective strategy for flood protection.

**Key words:** floods, flood generation mechanism, flood loss, flood risk, flood protection