

ZDZISŁAW KACZMAREK

Instytut Geofizyki PAN
Warszawa

ZASOBY WODNE ŚWIATA W OBLICZU ZAGROŻENIA

Woda stanowi surowiec o podstawowym znaczeniu dla warunków życia i rozwoju gospodarczego. W państwach i regionach o niedostatecznych zasobach tego surowca podejmowane są kosztowne i niekiedy kontrowersyjne, zarówno z ekologicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia, inwestycje mające na celu bądź zwiększenie efektywności wykorzystania tych zasobów, bądź też ich powiększenie drogą retencjonowania lub importu z regionów sąsiednich. W sytuacjach skrajnych podejmowane są zabiegi o charakterze niekonwencjonalnym, jak na przykład odsalanie wód morskich. Problem zaopatrzenia w wodę o właściwych parametrach jakościowych ma istotne znaczenie cywilizacyjne, wpływa na stan zdrowotny i jakość życia społeczeństw.

Globalne zasoby wód słodkich wielokrotnie przewyższają bieżące potrzeby ludzkości, oceniane także w wymiarze globalnym. Jednakże ich rozkład przestrzenny i czasowy jest w wielu przypadkach niezgodny z potrzebami, wynikającymi ze struktury ludnościowej i gospodarczej poszczególnych regionów. Na przykład na kontynencie europejskim liczba mieszkańców zaopatrywanych przez 1 hm³ wody w roku o przeciętnych warunkach klimatycznych waha się od około 700 w Europie Centralnej do 35 w Skandynawii. Napięcia i zagrożenia w dziedzinie gospodarki wodnej mają więc charakter regionalny i nie mogą być rozwiązywane za pomocą strategii globalnej. Polska należy do krajów, w których napięcia te mogą, przynajmniej okresowo, być przyczyną poważnych trudności społecznych i gospodarczych.

Niemożliwość należytego zaspokojenia potrzeb wodnych ludności, przemysłu i rolnictwa może wynikać z różnych przyczyn, spośród których należy wymienić:

- niedostatek ilości wody, której dostarczenie użytkownikom powinno być gwarantowane z określonym stopniem prawdopodobieństwa w każdym momencie czasu,

- niewłaściwą jakość dyspozycyjnych zasobów wodnych obciążonych różnego rodzaju zanieczyszczeniami.

Przy rozważaniu obu tych przyczyn należy brać pod uwagę losowy charakter procesów hydrologicznych, którego konsekwencją jest duża i trudna do przewidywania zmienność dyspozycyjnych zasobów wodnych w czasie i przestrzeni.

Zagrożenia dla stabilności i prawidłowego działania systemów wodno-gospodarczych mogą wynikać ze zmniejszenia się zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, wzrostu potrzeb, przekraczającego gwarantowaną wydajność systemu oraz z niewłaściwej gospodarki ściekami. Do niedawna przyczyny tych zagrożeń były analizowane niemal wyłącznie w kontekście regionalnych procesów demograficznych i gospodarczych, których konsekwencją są zmiany zapotrzebowania na wodę. W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się ocenie potencjalnego wpływu, jaki na regionalne zasoby wodne i ich użytkowanie mogą mieć zmiany globalnych procesów geofizycznych. Wpływ ten może być pozytywny lub negatywny. Z natury rzeczy uwaga środowisk naukowych i polityków skupia się na negatywnych konsekwencjach zmian globalnych. Wyrazem tego zainteresowania są między innymi zalecenia i deklaracje, zawarte w dokumentach wielu organizowanych w ostatnich latach ogólnosiwiatowych konferencji, dotyczących zmian klimatu i ochrony środowiska przyrodniczego, rozpatrywanych w kontekście zachodzących w świecie procesów demograficznych i gospodarczych (porównaj np. raport *Climate Change* 1991).

Zmiany w przebiegu globalnych procesów geofizycznych mogą wpływać nie tylko na wielkość i rozkład w czasie zasobów wodnych, lecz także na potrzeby i zużycie wody, niezbędnej przykładowo dla zapewnienia odpowiedniego poziomu produkcji rolniczej. W tym sensie można w wielu regionach świata oczekiwać negatywnego sprzężenia oddziaływań czynników przyrodniczych, demograficznych i ekonomicznych. W pracy Kulshreshthy i in. (1993) podano, przedstawione w tabeli 1, przewidywania dotyczące stopnia zagrożenia niedoborem wody w skali globalnej w warunkach klimatu stacjonarnego i jego zmian. Zachowując niezbędną ostrożność w interpretacji tych danych, opartych na wysoce niepewnych scenariuszach zmian klimatycznych, należy z niezbędną powagą odnieść się do możliwości powstawania sytuacji konfliktowych w regionach największego zagrożenia, w których już obecnie występują okresowe niedobory wody. W dużym stopniu dotyczy to krajów rozwijających się, nie dysponujących odpowiednimi środkami dla przeciwdziałania takim zagrożeniom.

Stosowane dotychczas metody analizy i planowania polityki wodno-gospodarczej były oparte na założeniu stacjonarności procesów hydrologicznych w interesującym praktykę przedziale czasu, na przykład w okresie kilku dziesięcioleci. Konsekwencją tego założenia było w szczególności symulowanie przyszłej pracy systemów wodnych lub ich części na podstawie charakterystyk hydrologicznych określanych w wyniku analizy pomiarów i obserwacji wykonanych w przeszłości. Przyjmowano powszechnie, że im dłuższy okres obserwacji został wykorzystany przez projektanta, tym dokładniej mogą być odwzorowane warunki przyszłej pracy systemu wodnego. Założenie to i oparte na nim metody analityczne są obecnie

kwestionowane w obliczu przewidywanych zmian globalnych, w pierwszym rzędzie globalnych i regionalnych zmian klimatu, wywołanych czynnikami antropogennymi.

Tabela 1

Podział ludności świata według kryterium zagrożenia niedoborem wody

Stopień zagrożenia	Ludność w mln		
	rok 1990	rok 2025 klimat stały	rok 2025 zmiany klimatu
Brak zagrożeń	3 669 (70%)	5 098 (60%)	3 009 (35%)
Okresowy deficyt	1 474 (27%)	837 (10%)	2 444 (28%)
Głęboki deficyt	136 (3%)	2 513 (30%)	2 995 (37%)
Razem	5 279	8 448	8 448

We wspomnianych już deklaracjach konferencji międzynarodowych oraz w wielu publikacjach naukowych (Climate Change 1990; Gleick 1989; Lemmela i in. 1990; Shiklomanov 1989) można znaleźć ostrzeżenia, że bilans wodny całego globu i poszczególnych dorzeczy jest w wysokim stopniu wrażliwy na zmiany pól temperatur i opadów atmosferycznych, a przewidywana dynamika tych zmian znacznie przekracza dotychczasowe doświadczenia ludzkości. Ostrzeżeń tych nie można lekceważyć, choć ich podstawy naukowe są jeszcze ciągle wątpliwe, a stopień niepewności jest bardzo znaczny. Przedstawione poniżej oceny stanu wiedzy w tej dziedzinie są oparte na licznych już zagranicznych publikacjach naukowych dotyczących omawianego zagadnienia, jak również na wynikach badań uzyskanych w ostatnich latach w polskich placówkach naukowych.

Przewidywania dotyczące zmian klimatu są najczęściej odnoszone do umownego poziomu podwojonej koncentracji dwutlenku węgla i innych tak zwanych gazów cieplarnianych w atmosferze w stosunku do okresu przedindustrialnego. Oczekuje się, że towarzyszyć temu będzie wzrost temperatury w skali globu o około 3°K oraz dość znaczna intensyfikacja procesów kształtujących opady atmosferyczne i parowanie z lądu i oceanu. W 1990 r. poziom koncentracji CO₂ osiągnął 1,25 wartości z początku ubiegłego stulecia. Zgodnie z poglądem reprezentowanym przez większość klimatologów, w ciągu mijającego stulecia zaobserwowano dodatni trend średniej temperatury powietrza, zarówno na półkuli północnej jak i południowej. Stwierdzenie trwałych zmian dotyczących opadów atmosferycznych i parowania jest daleko trudniejsze ze względu na dużą zmienność losową tych elementów klimatu, występującą zarówno w czasie, jak i w przestrzeni.

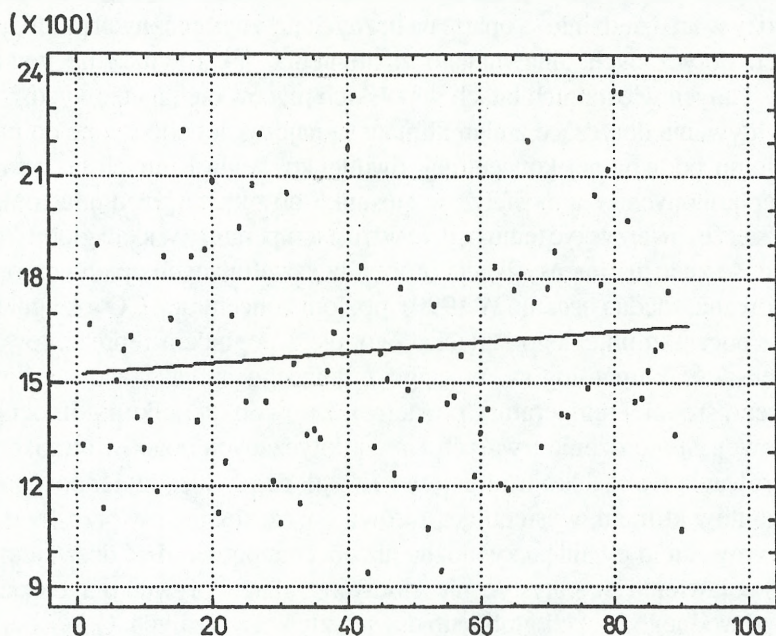
Postawmy zatem pytanie, czy można już obecnie potwierdzić doświadczalnie hipotezę o pojawieniu się statystycznie istotnych zmian odpływu i innych elementów bilansu wodnego w skali globu lub dużych zlewni rzecznych. Odpowiedź nie jest jednoznaczna. W Zakładzie Zasobów Wodnych Instytutu Geofizyki PAN przeprowadzono, we współpracy ze Światową Organizacją Meteorologiczną, ana-

lizę statystyczną 176 ciągów wartości przepływu w dorzeczach położonych na wszystkich kontynentach. Badania wykonywano za pomocą nieparametrycznych testów Kruskal-Wallisa i Manna, służących do wykrywania statystycznie istotnych trendów w odniesieniu do wartości średniej i wariancji. Szczegółowe wyniki zostały przedstawione w pracy Mitoska (1992). W odniesieniu do średnich rocznych przepływów hipoteza stacjonarności ciągu obserwacji (braku trendu) została zakwestionowana:

- w 14,9% przypadków w wyniku zastosowania testów Kruskal-Wallisa,
- w 44,9% przypadków w wyniku zastosowania testu Manna.

W wielu przypadkach kierunek zaobserwowanego trendu jest zróżnicowany, także w odniesieniu do rzek położonych w tym samym obszarze geograficznym. Świadczyć to może o innych, niż klimatyczne, przyczynach niestacjonarności procesu przepływu. Podobnie niejednoznaczne wyniki otrzymano dla wartości przepływów miesięcznych. Należy podkreślić, że nieodrzućenie przez dany test statystyczny hipotezy o stacjonarności badanego zjawiska nie oznacza oczywiście jej jednoznacznego potwierdzenia, ponieważ wnioskowanie ma charakter probabilistyczny.

Wobec znacznej naturalnej zmienności zjawisk hydrologicznych stosunek „sygnału” do „szumu” jest wysoce niekorzystny dla detekcji trendu. Na rysunku 1 pokazany jest dla przykładu przebieg średnich rocznych wartości łącznego przepływu Odry i Wisły w latach 1901–1990, wraz z liniowym trendem wyznaczonym za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Jest oczywiste, że ewentu-



Rys. 1. Zmienność przepływów Odry i Wisły w latach 1901–1990.

alne tendencje zmian są w tym przypadku skutecznie „maskowane” przez rozrzut wartości Q , charakteryzujący ich losową zmienność. Podobne wyniki otrzymano dla innych dużych rzek europejskich, w szczególności dla Dunaju, Łaby i Renu. Tak więc efektywne badanie za pomocą metod statystycznych zmian w przebiegu czasowym zjawisk hydrologicznych, stanie się możliwe dopiero w przypadku znacznej intensyfikacji dynamiki trendu. Nie należy oczekiwać uzyskania na tej drodze interesujących naukowo wyników wcześniej, niż na początku następnego stulecia. Powstaje zatem pytanie, czy innego rodzaju metody, oparte przykładowo na zastosowaniu modeli hydrologicznych i symulacji za ich pomocą procesów zachodzących w zlewniach rzecznych, mogą stanowić alternatywne narzędzie analizy niestacjonarności tych procesów.

Rozważymy dwa sposoby podejścia do omawianego problemu. Pierwszy polega na poszukiwaniu miar wrażliwości systemu hydrologicznego na zakłócenia w czynnikach kształtujących bilans wodny, drugi zaś na symulowaniu funkcjonowania takiego systemu w odmiennych od obecnych warunkach klimatycznych. W tym drugim przypadku konieczne staje się odpowiednie zdefiniowanie zmienionego scenariusza klimatycznego. W obu podejściach wymagane jest opracowanie modelu badanych procesów, to znaczy uprzednie ustalenie zbioru funkcji opisujących związki zachodzące pomiędzy czynnikami klimatycznymi i bilansem wodnym zlewni rzecznej.

Wrażliwość systemu hydrologicznego na zmiany klimatu rozpatruje się zazwyczaj w odniesieniu do dwóch elementów w sposób istotny wpływających na bilans wodny, a mianowicie temperatury i opadu atmosferycznego. Jest to niewątpliwie daleko idące uproszczenie umotywowane przede wszystkim obecnym stanem globalnych modeli klimatycznych, pozwalającym na tworzenie scenariuszy zmian tych właśnie charakterystyk klimatu. Zakładając, że dla danego regionu została ustalona zależność przepływu od opadu i temperatury powietrza w postaci funkcji

$$R = f(T, P) \quad (1)$$

można określić zmianę wartości R pod wpływem zmiany T i P w postaci różniczki

$$dR = \frac{\delta R}{\delta P} dP + \frac{\delta R}{\delta T} dT, \quad (2)$$

gdzie pochodne cząstkowe obliczane są w ustalonym punkcie (T_0, P_0) , odpowiadającym obecnym warunkom klimatycznym. Dogodnymi miarami wrażliwości przepływu są zaproponowane przez Schaake (1) wskaźniki elastyczności, uzyskane przez podzielenie obu stron równania (2) przez $R_0 = f(T_0, P_0)$. Otrzymamy wówczas

$$\frac{dR}{R_0} = \Phi_P \frac{dP}{P_0} + \Phi_T \frac{dT}{T_0}, \quad (3)$$

gdzie

$$\Phi_P = \frac{\delta R}{\delta P} \frac{P_0}{R_0}, \quad \Phi_T = \frac{\delta R}{\delta T} \frac{T_0}{R_0}. \quad (4)$$

Wskaźniki (4) określają zatem wpływ zmian wartości opadu atmosferycznego i temperatury powietrza na zachowanie się odpływu w rozpatrywanej zlewni rzecznej. Ich wielkości liczbowe zależą w pewnym stopniu od przyjętego modelu hydrologicznego, lecz przede wszystkim odzwierciedlają cechy klimatyczne i fizjograficzne badanego obszaru. Na podstawie obliczeń przeprowadzonych za pomocą różnych modeli dla dorzeczy położonych w różnych warunkach klimatycznych, między innymi w Polsce, USA i w Południowej Afryce, można już obecnie przedstawić następujące wstępne wnioski w sprawie wrażliwości odpływu i innych wybranych charakterystyk hydrologicznych:

(a) Odpływ rzeczny jest bardziej wrażliwy na zmiany opadu niż na zmiany temperatury,

(b) Wskaźnik elastyczności ϕ_P przyjmuje wartości w granicach od 1,5 do 3,0, tym większe, im mniejszy jest współczynnik odpływu R_0/P_0 ,

(c) Wzrost temperatury o 1°K powoduje zmniejszenie odpływu w granicach od 3,0% do 6,0%,

(d) Parowanie potencjalne zmienia się przede wszystkim pod wpływem zmiany temperatury, natomiast parowanie rzeczywiste zależy także od przebiegu opadów.

Dla przykładu podamy, że obliczenia wykonane dla dorzecza Warty za pomocą opisanego w pracy Kaczmarka i Krasuskiego (1991) modelu bilansu wodnego CLIRUN wykazały, iż przy nie zmienionej temperaturze powietrza wzrost opadów o 10% powoduje przyrost odpływu rzecznego o 23%. Natomiast wzrost temperatury powietrza o 1°K (przy stałej wartości opadu) prowadzi do zmniejszenia wartości R o 4,5%. Wszystkie powyższe wnioski dotyczą średnich rocznych wartości elementów bilansu wodnego. Podobna analiza wrażliwości może być dokonana dla innych charakterystyk hydrologicznych, przykładowo dla przepływów minimalnych.

Na szczególną uwagę zasługuje wykazanie za pomocą zależności (4), iż zlewnie rzeczne charakteryzujące się małymi wartościami współczynnika odpływu R_0/P_0 są bardziej wrażliwe na zmiany klimatu niż obszary zasobne w wodę. Może to oznaczać katastrofalny wzrost deficytu wody w regionach już obecnie znajdujących się w trudnej sytuacji wodno-gospodarczej, jeżeli realizowany byłby tam scenariusz zmniejszających się opadów atmosferycznych. Z drugiej jednak strony regiony takie korzystałyby w większym stopniu z ewentualnego wzrostu opadów pod wpływem zmian w globalnych procesach cyrkulacji atmosfery.

Problem modelowania procesów hydrologicznych i symulacji ich przebiegu w warunkach określonego scenariusza zmian klimatu jest daleko bardziej złożony. Wymaga bowiem nie tylko opracowania modelu wiążącego bilans wodny z czynnikami klimatycznymi, lecz ponadto staje się konieczne określenie lokalnych zmian klimatu pod wpływem przewidywanych transformacji dotyczących globalnej cyrkulacji atmosfery. Tworzenie takich scenariuszy dla obszarów o skali właściwej dla zlewni hydrologicznych wymaga zastosowania odpowied-

nich metod interpretacji procesów wielkoskalowych. Zadanie to nie zostało dotychczas rozwiązane w sposób zadowalający potrzeby praktyki nie tylko w dziedzinie gospodarki wodnej, lecz również w innych dziedzinach ludzkiej działalności, zależnych w większym lub mniejszym stopniu od właściwości klimatu. Należy dodać, że modelowanie wielkoskalowych procesów atmosferycznych jest także obciążone znacznymi błędami, wynikającymi między innymi z nadmiernie uproszczonego traktowania współzależności pomiędzy zjawiskami zachodzącymi w glebie, szacie roślinnej i atmosferze, a także między oceanem i atmosferą.

Obok znanych trudności związanych z niedoskonałością modeli hydrologicznych wprowadza to dodatkowy element niepewności do skomplikowanego problemu modelowania obiegu wody w zlewni na podstawie charakterystyk klimatycznych. W literaturze hydrologicznej można znaleźć pewną liczbę przykładów zastosowania technik symulacyjnych opartych na założonych scenariuszach klimatycznych. Uzyskane dotychczas wyniki upoważniają do sformułowania obecnie jedynie wstępnych wniosków, które można streścić w sposób następujący:

a) Obliczenia przeprowadzone dla określonej zlewni za pomocą określonego modelu hydrologicznego, lecz przy zastosowaniu danych wejściowych wynikających z różnych modeli klimatu prowadzą zwykle do wysoce zróżnicowanych i trudnych do racjonalnej interpretacji wyników;

b) W zależności od wzajemnej relacji pomiędzy przewidywanymi dla danego regionu zmianami opadów atmosferycznych i temperatury symulowany odpływ może być mniejszy lub większy od wartości dotychczas obserwowanych, oznacza to, że w pewnych przypadkach zmiany klimatu mogą wpływać korzystnie na bilans wodno-gospodarczy, w innych natomiast bilans ten zdecydowanie pogarszać;

c) Zlewnie o niskich wartościach współczynnika odpływu są bardziej narażone na negatywne konsekwencje zmian klimatu, niż obszary zasobne w wodę;

d) Jeżeli zasilanie zlewni jest w znacznym stopniu związane z akumulacją śniegu w zimie i topnieniem pokrywy śnieżnej w okresie wiosennym, można oczekiwać istotnych zmian w rozkładzie sezonowym odpływu.

Obecny stan wiedzy o globalnych procesach geofizycznych nie pozwala na wyprowadzenie dalej idących wniosków i w szczególności na dokonanie uogólnionej oceny możliwych w przyszłości zmian w wielkości i rozkładzie przestrzennym światowych zasobów wód słodkich, wynikających z przewidywanej transformacji klimatu naszej planety. Niezbędne są zatem dalsze badania, przede wszystkim o charakterze regionalnym.

W Zakładzie Zasobów Wodnych Instytutu Geofizyki PAN są prowadzone prace, mające na celu zbadanie wpływu wybranych scenariuszy klimatycznych na odpływ powierzchniowy i inne elementy bilansu wodnego na obszarze Polski. Na podstawie danych uzyskanych z Narodowego Centrum Badań Atmosferycznych (NCAR) w Boulder (USA), opartych na zastosowaniu dwóch modeli globalnej cyrkulacji atmosfery, opracowanych przez:

— Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Princeton) (GFDL),

oraz

— Goddard Institute for Space Studies (Nowy Jork) (GISS), przygotowano dla obszaru Centralnej Europy oceny dotyczące przewidywanych zmian miesięcznych wartości opadów i temperatury przy podwojeniu koncentracji CO_2 w atmosferze. Wartości liczbowe tych zmian określono dla węzłów siatki geograficznej o rozdzielczości $1,0^\circ \times 1,0^\circ$.

Symulacja zmian elementów bilansu wodnego została przeprowadzona dla 22 wybranych zlewni rzecznych w dorzeczu Wisły i Odry za pomocą opracowanego w Instytucie modelu hydrologicznego CLIRUN 3, uwzględniającego procesy parowania, odpływu powierzchniowego i podziemnego oraz retencji. Podstawowe założenia tego modelu, oparte na zastosowaniu stochastycznej teorii retencji, zostały przedstawione w pracy Kaczmarka i Krasuskiego (1991). Zawiera on trzy parametry, których wartości dla poszczególnych zlewni są ustalone za pomocą kalibracji, dokonywanej na podstawie hydrologicznych i meteorologicznych danych pomiarowych z lat 1951–1990. W tabeli 2 przedstawiono w formie

Tabela 2

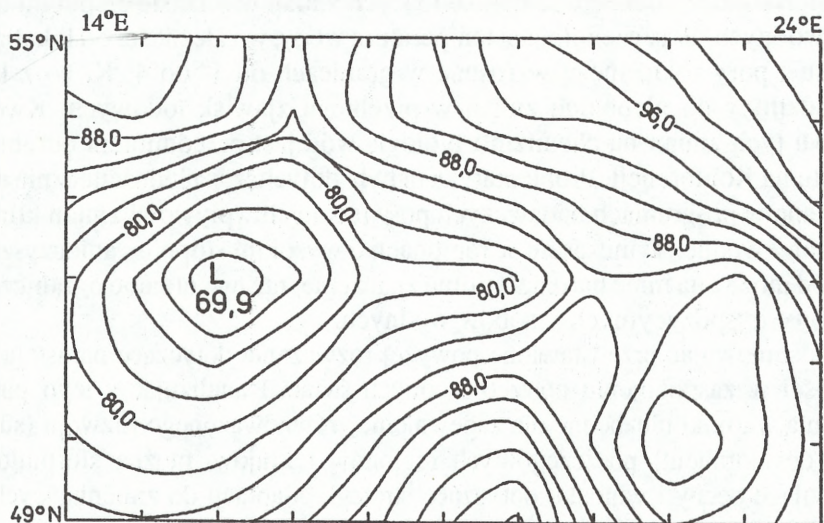
Odpływ w zlewni Pilicy po profil Przedbórz dla różnych scenariuszy klimatycznych

Miesiąc	R (mm)			$C_v(R)$ (mm)		
	HIST	GFDL	GISS	HIST	GFDL	GISS
XI	14,1	12,0	16,5	0,41	0,41	0,65
XII	16,6	15,8	24,0	0,37	0,40	0,66
I	17,0	18,7	25,8	0,32	0,44	0,52
II	16,6	22,2	28,6	0,44	0,69	0,67
III	23,0	24,3	27,2	0,73	0,51	0,44
IV	22,6	19,9	23,2	0,62	0,33	0,46
V	18,6	17,1	18,4	0,34	0,43	0,34
VI	14,8	12,6	14,4	0,35	0,34	0,37
VII	14,2	9,7	16,2	0,48	0,37	0,87
VIII	13,4	8,6	14,3	0,54	0,41	0,65
IX	12,0	8,5	11,4	0,41	0,42	0,43
X	12,6	9,6	12,1	0,42	0,42	0,61
Rok	195,50	179,0	232,1	—	—	—

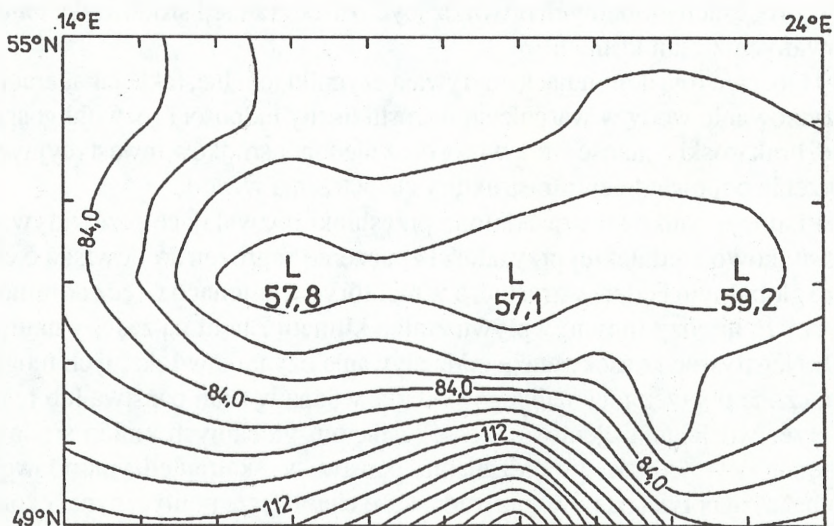
przykładu wyniki obliczeń odpływu średniego rocznego R i współczynnika zmienności $C_v(R)$, otrzymane dla zlewni rzeki Pilicy po profil Przedbórz dla warunków klimatu „historycznego” oraz dla wcześniej omówionych scenariuszy klimatycznych GFDL i GISS.

Wyniki otrzymane dla wspomnianych 22 zlewni rzecznych, rozłożonych równomiernie na obszarze kraju, wskazują w przypadku scenariusza GFDL na możli-

wość niewielkiego zmniejszenia sumarycznego odpływu rocznego, zwłaszcza w Polsce Centralnej. Stwierdzono także znaczne pogłębienie niedoboru wody w okresie niżówkowym oraz istotne zmiany w przebiegu sezonowym elementów bilansu wodnego. Na uwagę zasługuje zauważony w przypadku obu rozpatrywanych scenariuszy klimatycznych znaczny spadek wilgotności gleby w okresie wegetacyjnym. Są to jeszcze wyniki wstępne. Badania nad wpływem zmian klimatu na zasoby wodne Polski są kontynuowane, a ostateczne wyniki dla omówionych powyżej scenariuszy klimatycznych zostaną opublikowane w 1993r.



Rys. 2. Zmiany (w %) odpływu rocznego na obszarze Polski dla warunków scenariusza klimatycznego GFDL.



Rys. 3. Zmiany (w %) odpływu miesięcznego w okresie niżówkowym dla warunków scenariusza klimatycznego GFDL.

Znaczna większość dotychczas ogłoszonych wyników badań dotyczy cech ilościowych bilansu wodnego w alternatywnych warunkach klimatycznych. Należy dodać, że zmiany bilansu energetycznego naszej planety i w konsekwencji charakterystyk klimatu mogą także w istotny sposób wpływać na przebieg procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych w wodach śródlądowych. Badania wykonane w Zakładzie Fizyki Wody Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, których wyniki zostały przedstawione w pracy Jurak (1993) wskazują, że w przypadku podwojenia koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze należy oczekiwać daleko idących zmian w bilansie cieplnym obiektów wodnych. W szczególności temperatura wody, w zależności od lokalizacji obiektu i pory roku, może wzrosnąć w granicach od 1° do 4° K, co z kolei prowadziłoby do głębokich zmian w przebiegu zjawisk lodowych. Kwestia wpływu tych zmian na chemizm i biologię wód jest przedmiotem odrębnego referatu na Konferencji. Problematyka ta była dotychczas niedostatecznie uwzględniana w programach badawczych poświęconych wpływowi zmian klimatu na zasoby wodne. Tymczasem w regionach o wysokim stopniu zanieczyszczenia wód może ona mieć bardziej istotne znaczenie, niż ewentualne ograniczenie ilościowe dyspozycyjnych zasobów wodnych.

Podsumowując przedstawione powyżej rozważania dotyczące narastających trudności w zaspokojeniu potrzeb wodnych świata i analizując z tego punktu widzenia warunki niezbędne dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju (sustainable development) poszczególnych regionów i krajów, można sformułować następujące oceny i wnioski, dotyczące strategii adaptacji do zmieniających się warunków:

a) Zagrożenia dla stanu i prawidłowego użytkowania zasobów wodnych mają swoje źródła zarówno w błędach lokalnej polityki wodno-gospodarczej, jak i w procesach globalnych prowadzących do degradacji środowiska i niekontrolowanych zmian klimatu.

b) Obecnie rolę dominującą odgrywają czynniki lokalne, takie jak nieracjonalne użytkowanie wody w warunkach wzrostu liczby ludności i rozwoju gospodarczego, brak troski o jakość środowiska oraz niedobór środków inwestycyjnych dla stworzenia odpowiedniej infrastruktury zaopatrzenia w wodę.

c) Istnieją naukowo uzasadnione przesłanki pozwalające przewidywać, że w stosunkowo niedalekiej przyszłości znaczenie zagrożeń środowiska o charakterze globalnym będzie wzrastać, a w niektórych regionach wręcz dominować. Dotyczy to między innymi wpływu zmian klimatu Ziemi na zasoby naturalne.

d) Negatywne konsekwencje oddziaływania czynników lokalnych mogą być ograniczone poprzez racjonalną gospodarkę wodną w skali państwa lub regionu. Dla przeciwdziałania ujemnym konsekwencjom globalnych zmian środowiska niezbędne jest jednak współdziałanie państw w skali międzynarodowej, co dotychczas napotyka na poważne trudności o charakterze politycznym i ekonomicznym.

e) Dotychczasowy stan wiedzy o potencjalnym wpływie zmian globalnych na gospodarkę wodną państwa lub regionu jest niezadowolający. Konieczna jest intensyfikacja badań w tej dziedzinie.

WORLD WATER RESOURCES UNDER THE THREAT

Summary

Due to population growth, agricultural and industrial development, increased pollution and the impact of changes in global geophysical processes, the reliability of water supply may substantially decrease in various parts of the world, causing in coming years serious social and economic problems. In particular, the possible effects of the expected changes in air temperature and precipitation will give rise to serious problems in many fields of water resources management. Based on literature and results of recent Polish studies, the paper presents some estimates concerning possible future changes in water balance of river basins, as well as in physical characteristics of inland waters. There is no single global water resources strategy able to resolve the problem of sustainable development. Most of the present and future water conflicts are regional in nature, and the solutions should also be found on a regional basis. Nevertheless, there is an urgent need for a concerted international action to protect our planet against global environmental degradation, which may have a serious negative impact on regional resources.

LITERATURA

- Climate Change and U.S. Water Resources* 1990. (red. P. E. Waggoner), John Wiley & Sons, New York.
- Climate Change: Science, Impacts and Policy*; Proceedings of the Second World Climate Conference 1991. (red. J. Jaeger i H. L. Ferguson), Cambridge University Press.
- Gleick P. H. 1989. *Climate Change, Hydrology and Water Resources*, Reviews of Geophysics, v. 27, s. 329–344.
- Jurak D. 1992. Wpływ scenariuszy klimatycznych na temperaturę wody i parowanie. Prz. Geofiz. t. 27, z. 3, 4, s. 149–159.
- Kaczmarek Z., Krasuski D. 1991. *Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability*, IIASA Working Paper No 91–047.
- Kaczmarek Z. 1992. *Criteria of Water Resources Vulnerability to Climate Change*; Proc. of the Intern. Conference on Climate Impacts on the Environment and Society; WMO TD-No. 435, Tsukuba.
- Klemeš V. 1990. *Sensitivity of Water Resources Systems to Climatic Variability*; Proc. of 43rd Annual Conference of the Canadian Water Resources Association.
- Kulshreshtha S. N., Kos Z., Pryazhinskaya V. 1993. *Implications of Climate Change for Future Water Demands*; [W:] *Water Resources in the Face of Climatic Hydrologic Uncertainties* (IIASA, w przygotowaniu).
- Kundzewicz Z. W., Somlyódy L. 1993. *Climatic Change Impact on Water Resources — a Systems View*; IIASA Working Paper (w druku).
- Lemmela R., Liebscher H., Nobilis F. 1990. *Studies and Models for Evaluating the Impact of Climate Variability and Change on Water*; World Meteorological Organization, Regional Association VI, Helsinki.
- Mitosek H. T. 1992. *Occurrence of Climate Variability and Change Within the Hydrological Time Series — a Statistical Approach*; IIASA Collaborative Paper CP-92-05.
- Shiklomanov I. A. 1989, *Climate and Water Resources*; Hydrol. Sci. Jour., v. 34, s. 495–529.