

Zakład Hydrologii WGiSR
Uniwersytet Warszawski

MAŁGORZATA GUTRY-KORYCKA

Próba oceny odpływu rzek polskich w XXI wieku

Attempt at Polish river runoff estimation in XXI century

Odptyw rzek z terytorium Polski podlega wpptywom warunków klimatycznych, kształtowanych między innymi przez skład chemiczny atmosfery, regulujący procesy wymiany strumieni masy i energii. Zmiany tych procesów, na ogół szybkie, są wynikiem wzrastającej emisji gazów szklarniowych, związanej ze zwiększeniem wykorzystania energii, intensyfikacją produkcji rolnej i przemysłowej.

Sygnalizowana przez badaczy, chociaż stale kontrowersyjna, możliwość wystąpienia globalnych zmian klimatu pod wpływem wymienionych czynników antropogenicznych pozostaje problemem otwartym. Ocena ilościowa odpływu rzek – jako miary zasobów wodnych w następstwie globalnego ocieplenia klimatu – jest tym bardziej celowa i merytorycznie uzasadniona. Terytorium Polski rozciąga się bowiem w obszarze o najniższych zasobach wodnych w Europie i o szczególnej wrażliwości obiegu wody, tym samym prawdopodobnie odpływu rzek, na ewentualne zmiany elementów klimatycznych w wyniku globalnego ocieplenia. Należy zatem wykazać, w jakim stopniu zmniejszenie lub zwiększenie opadów atmosferycznych, połączone ze wzrostem temperatury powietrza, może wpłynąć na odpływ rzeczny z terytorium Polski.

Określenie wielkości zasobów wodnych tylko w warunkach niezmienności elementów klimatycznych według Wilgata (1974, 1984) nie stanowi łatwego zadania, woda bowiem w obrębie obszaru Polski stale krąży, zaś jej chwilowy zapas ulega zmianie. O wielkości zasobów w skali kraju decyduje ilość wody krą-

żącej w obiegu. Za miarę tej ilości przyjmuje się średnią z wielolecia obszarową sumę opadów atmosferycznych, decydującą o naturalnej odnawialności zasobów wodnych.

Roczne opady atmosferyczne w Polsce wynoszą niewiele ponad 600 mm, nie są więc duże, jak na warunki termiczne tego regionu. Zasoby wodne obszaru są z reguły określane za pomocą średniego odpływu rzek z wielolecia.

Odpływ, stanowiący funkcję opadów atmosferycznych i parowania terenowego (nadwyżka opadów nad parowaniem terenowym), kształtuje się na obszarze Polski niekorzystnie, tym samym oznacza ubóstwo zasobów wód płynących.

Pierwsze próby symulacji numerycznej (Kaczmarek 1996) wskazują, że w następstwie globalnego ocieplenia klimatu zasoby wodne Polski mogą być od 15 do 30% niższe niż obecnie, co w powiązaniu ze wzrostem zapotrzebowania na wodę rolnictwa i innych działów gospodarki może pogłębić niedobory wody.

Symulacja numeryczna, jaką można zastosować do oceny zmian odpływu rzek, wynika z połączenia modeli globalnej cyrkulacji atmosfery (GCM) z modelami hydrologicznymi typu konceptualnego (*Studia nad wpływem...* 1996; Kaczmarek 1996).

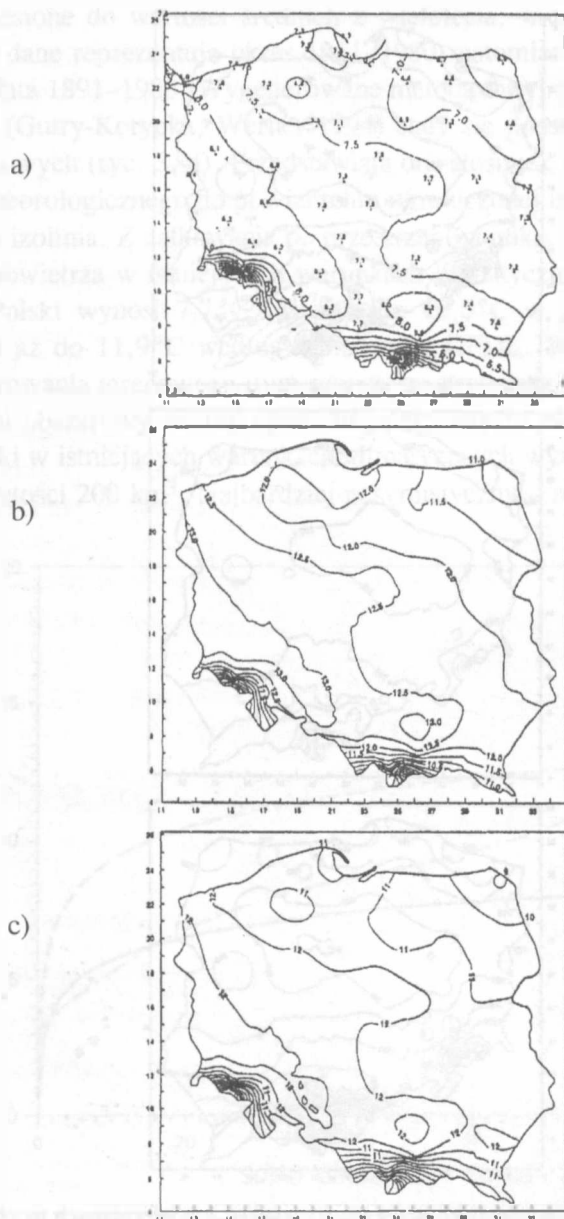
Pośród znanych w literaturze siedmiu modeli GCM wybrano dwa – typu *equilibrium* – przy założeniu skokowego dwukrotnego wzrostu CO₂ i gazów cieplarnianych w atmosferze. Scenariusz pesymistyczny – GFDL przewiduje wzrost temperatury powietrza i zmniejszenie rocznych sum opadów oraz scenariusz umiarkowanie optymistyczny – GISS zakłada mniejszy wzrost temperatury powietrza, ale za to zdecydowanie większy opadów atmosferycznych (tab. 1).

Tab. 1. Zmiany średniej rocznej temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych na obszarze Polski według przyjętych modeli GCM (według Kaczmarka 1996)

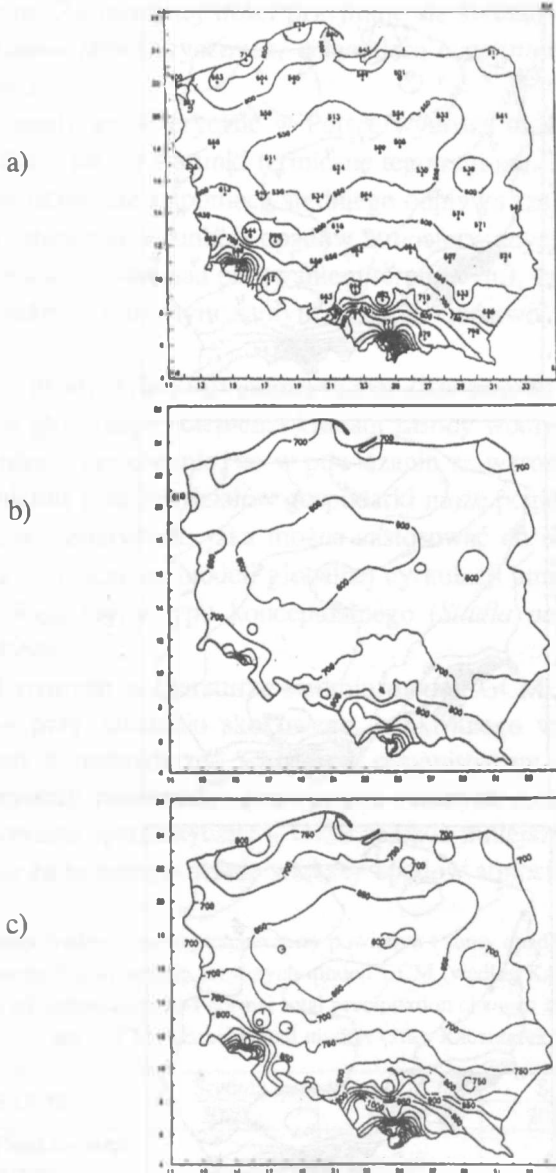
Mean annual air temperature and normal total precipitation changes at the territory of Poland acc. GCMs mathematical models (after Kaczmarek 1996)

Model GCM	Średnia temperatura (°C)		Średnia opadów (mm)	
	2020 r.	2050 r.	2020 r.	2050 r.
Geophysical Fluid Dynamic Laboratory – GFDL	+1,6	+3,3	-0,99	-0,98
Goddard Institute for Space Studies – GISS	+1,3	+2,6	+1,05	+1,10

Wygenerowane pole temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na terytorium Polski, odpowiadające istniejącym i przewidywanym warunkom klimatycznym, przedstawiają ryc. 1abc i 2 abc (*Studia nad wpływem...* 1996). Wygenerowane w sposób numeryczny mezoskalowe rozkłady przestrzenne zo-



Ryc. 1. Mezoskalowy rozkład średniej rocznej temperatury powietrza na obszarze Polski; a – w istniejących warunkach klimatycznych (1951–1980); b – w zmienionych warunkach klimatycznych (scenariusz GFDL); c – w zmienionych warunkach klimatycznych (scenariusz GISS)
 Mesoscale of mean annual distribution of air temperature of Poland territory; a – under real climatic conditions (1951–1980); b – changed climatic conditions (acc. scenario GFDL) (2 x CO₂); c – changed climatic conditions (acc. scenario GISS) (2 x CO₂)

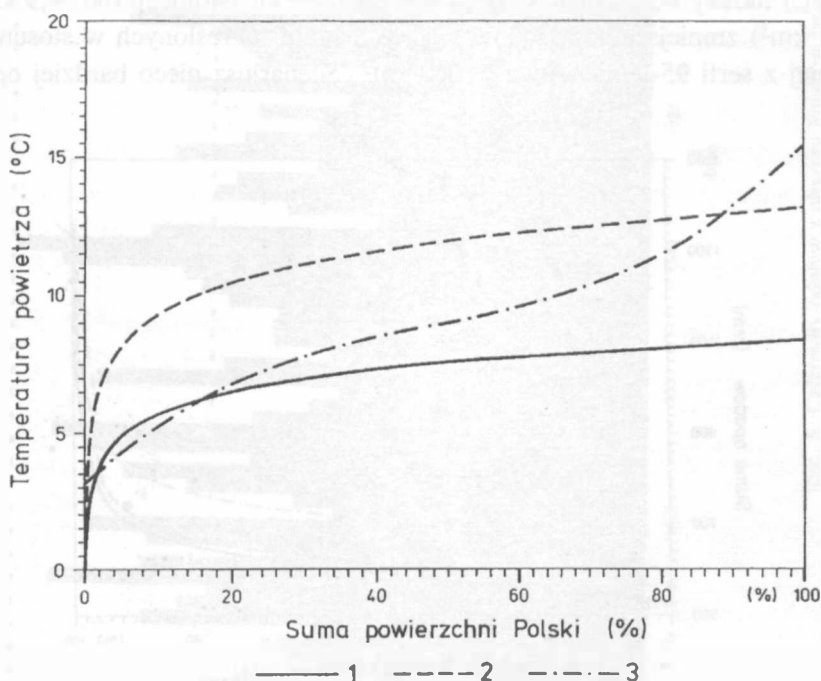


Ryc. 2. Mezoskalowy rozkład średniej rocznej sumy opadów atmosferycznych na obszarze Polski; a – w istniejących warunkach klimatycznych (1891–1980); b – w zmienionych warunkach klimatycznych (scenariusz GFDL); c – w zmienionych warunkach klimatycznych (scenariusz GISS)

Mesosale of normal annual precipitation distribution of Poland territory; a – under real climatic conditions (1891–1980); b – changed climatic conditions (acc. scenario GFDL) ($2 \times \text{CO}_2$); c – changed climatic conditions (acc. scenario GISS) ($2 \times \text{CO}_2$)

stały odniesione do wartości średnich z wielolecia; w przypadku temperatury powietrza dane reprezentują okres 1951–1980, natomiast opady atmosferyczne obejmują lata 1891–1980. Wygenerowane metodą interpolacji liniowej izotermi i izohiety (Gutry-Korycka, Werner 1994) stały się podstawą konstrukcji krzywych całkowitych (ryc. 3, 4). Przedstawiają one stosunek wartości liczbowej elementu meteorologicznego do powierzchni ograniczonej izolinia o tej samej wartości co ta izolinia. Z całkowania po przestrzeni wynika, że średnia roczna temperatura powietrza w istniejących warunkach klimatycznych w obrębie połowy obszaru Polski wynosi $7,7^{\circ}\text{C}$, wzrasta do $10,5^{\circ}\text{C}$ w przypadku scenariusza GISS, zaś aż do $11,9^{\circ}\text{C}$ według scenariusza GFDL. Wpływie to zapewne na wzrost parowania terenowego, tym samym na straty zasobów wód płynących.

Średni obszarowy roczny opad atmosferyczny na obszarze połowy terytorium Polski w istniejących warunkach klimatycznych wynosi 639 mm, co odpowiada objętości 200 km^3 . Najbardziej pesymistyczny – scenariusz GFDL – od-



Ryc. 3. Krzywe całkowite rozkładu rocznej temperatury powietrza na obszarze Polski w istniejących i zmienionych warunkach klimatycznych; 1 – warunki istniejące (1951–1980), 2 – scenariusz GFDL, 3 – scenariusz GISS

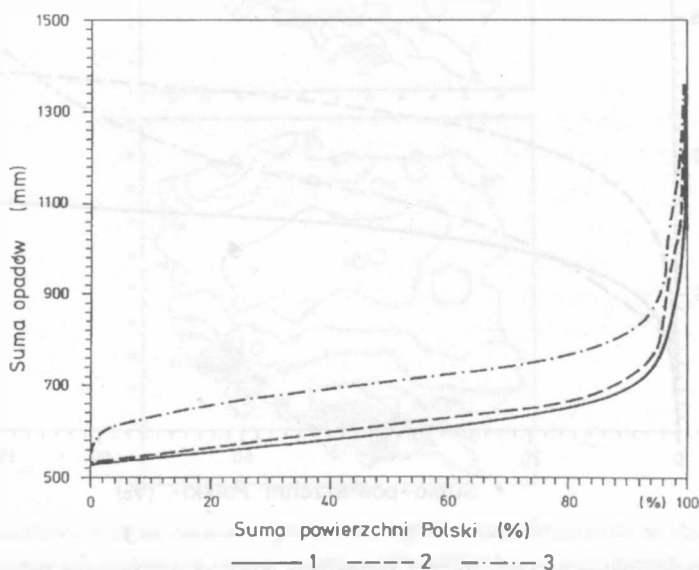
Areal distribution of average air temperature in Poland as percentage of the normal value; 1 – period 1951–1980; 2 – generation according to GFDL (scenario $2 \times \text{CO}_2$); 3 – generation according to GISS (scenario $2 \times \text{CO}_2$)

powiada średniej wartości obszarowej opadów rocznych równej 655 mm, co daje objętość 204 km³. Najkorzystniejsze wartości z punktu widzenia odnawialności zasobów wód płynących wynikają ze scenariusza GISS, według którego średni obszarowy opad roczny osiągnie 749 mm, czyli 233 km³.

Jaka zatem może być reakcja odpływu rzek na zmieniające się warunki klimatyczne, a więc temperaturę powietrza i opady atmosferyczne?

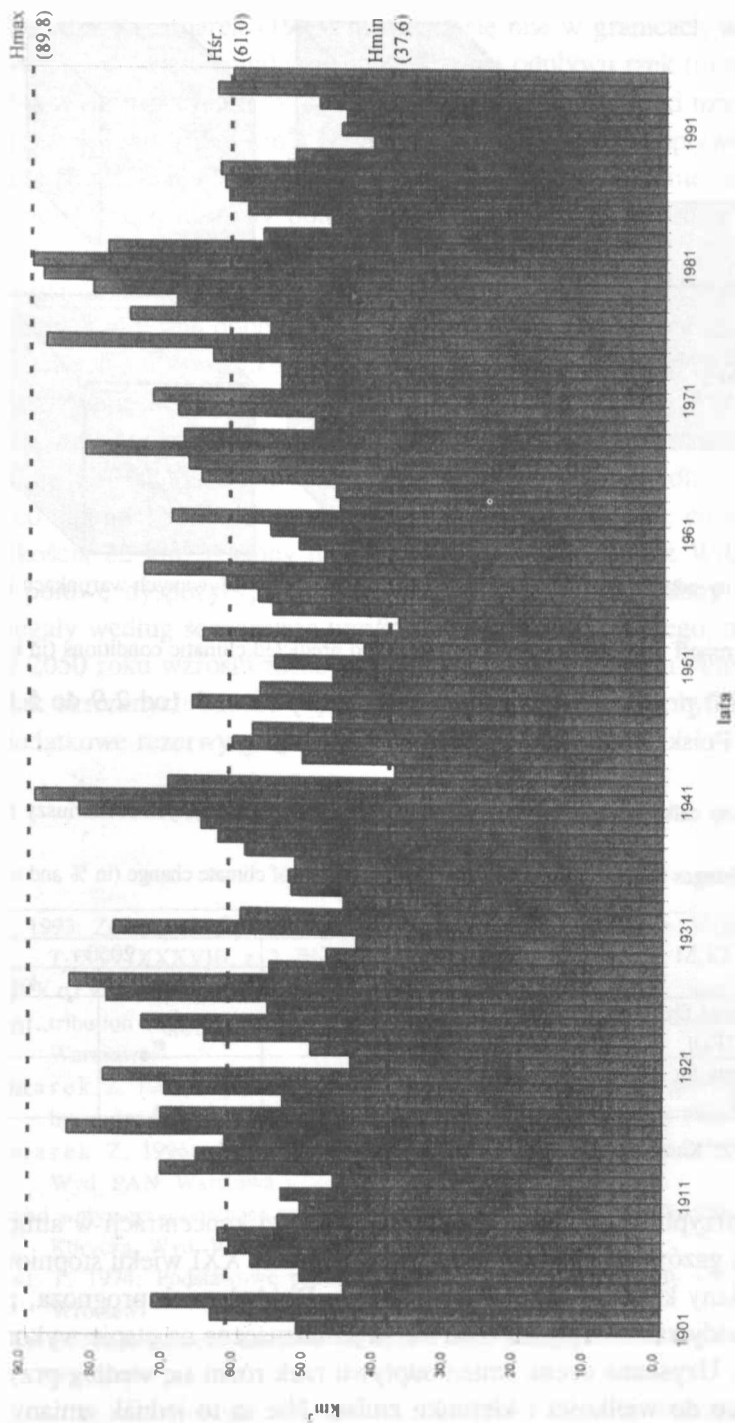
Pierwszą próbę oceny zmian odpływu na obszarze Polski przeprowadził Kaczmarek (1996a). Wyniki prognozy w zależności od przyjętego scenariusza zmian globalnych klimatu są jednak różne (tab. 2).

Jeśli przyjąć mezoskalowe zmiany elementów klimatycznych i przewidywane zmiany średniego rocznego odpływu rzek polskich według Kaczmarka, to odnosząc je do warunków średnich odpływu z obszaru Polski, w okresie ostatnich 95 lat podawane przez Fal (1993) i uzupełnione otrzymamy prawidłowości przedstawione w tab. 2 i na ryc. 5 i 6. Według scenariusza pesymistycznego (GFDL) należy oczekiwać w połowie XXI wieku istotnego (od -4,9 km³ do -10,1 km³) zmniejszenia zasobów wodnych kraju, określonych w stosunku do średniej z serii 95-letniej równej 61,0 km³. Scenariusz nieco bardziej optymi-

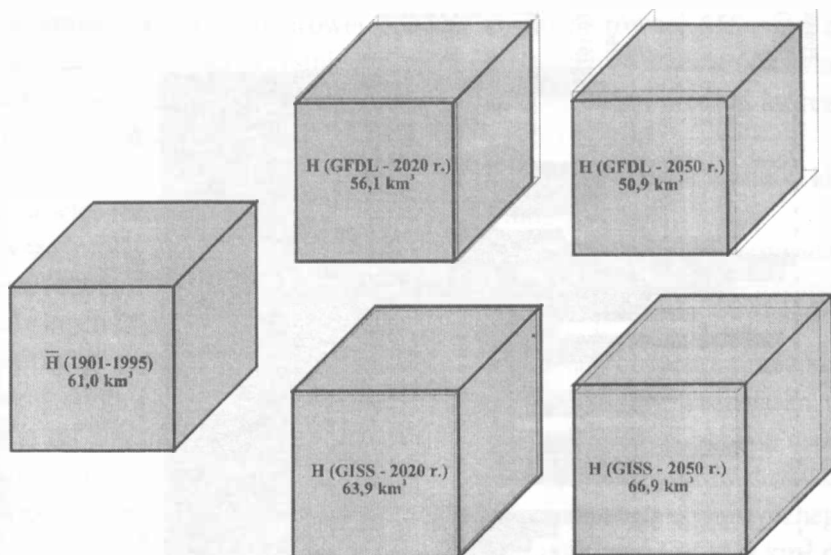


Ryc. 4. Krzywe całkowite rozkładu rocznych sum opadów atmosferycznych na obszarze Polski; 1 – warunki istniejące (1891–1980), 2 – scenariusz GFDL, 3 – scenariusz GISS

Areal distribution of precipitation in Poland as a percentage of the normal value; 1 – period 1891–1980, 2 – generation according to GFDL (scenario 2 x CO₂), 3 – generation according to GISS (scenario 2 x CO₂)



Ryc. 5. Całkowity odpływ z obszaru Polski w latach 1901–1995 (km³)
Total river runoff from Poland territory in 1901–1995 period (in km³)



Ryc. 6. Całkowity odpływ z obszaru Polski w istniejących i przewidywanych warunkach klimatycznych

Total river runoff from Poland territory in real and predicted climatic conditions (in km^3)

styczeń (GISS) przyjmuje niewielki wzrost odpływu rzek (od 2,9 do 5,8 km^3) z terytorium Polski.

Tab. 2. Zmiany całkowitego odpływu z obszaru Polski według przyjętych scenariuszy zmian klimatu (w % i km^3)

River runoff changes at the territory of Poland acc. scenarios of climate change (in % and in km^3)

Model GCM	Średnia odpływu			
	2020 r.		2050 r.	
	%	km^3	%	km^3
Geophysical Fluid Dynamic Laboratory – GFDL	+8,1*	-4,9	-16,5*	-10,1
Goddard Institute for Space Studies – GISS	4,8*	2,9	9,6*	5,8

* Według Z. Kaczmarka (1996)

Należy przypuszczać, że w wyniku narastającej koncentracji w atmosferze CO_2 i innych gazów szklarniowych mogą wystąpić w XXI wieku stopniowo narastające zmiany klimatu i jego konsekwencje. Dokładna ich prognoza, podobnie jak przewidywanie odpływu rzek nie są jednoznaczne na etapie wykorzystanych modeli. Uzyskana ocena zmian odpływu rzek różni się według przyjętych scenariuszy co do wielkości i kierunku zmian. Nie są to jednak zmiany duże.

Jak stwierdza Kaczmarek (1996) mieszczą się one w granicach wyznaczonych przez naturalną (wieloletnią) zmienność średnią odpływu rzek (minimum wynosi $37,6 \text{ km}^3$, a maksimum $89,8 \text{ km}^3$), co potwierdzają wyniki uzyskane wcześniej przez Wilgata ($61,9 \text{ km}^3$) oraz wyniki z 95 lat serii odpływu XX wieku. Jednakże ze względu na szczupłość zasobów wód płynących nie są to wartości i tendencje, które należałoby pomijać w długoterminowym prognozowaniu gospodarki wodnej kraju.

Różne wielkości średniego odpływu rocznego z wielolecia wynikają zarówno z różnych okresów obliczeniowych, jak też z uwzględnienia warunków, które mogą wystąpić w wyniku zmian globalnych klimatu. Nie jest jednak możliwe rozstrzygnięcie, który scenariusz zmian będzie bardziej prawdopodobny. Jednakże musimy się liczyć, że jeśli wystąpi scenariusz zmian najbardziej pesymistyczny (GFDL) – zasoby dyspozycyjne, tzn. trwające dla użytkowników przez co najmniej 95% dni w roku, będą o 10 km^3 mniejsze, co w porównaniu z wielkością 22 km^3 (zasoby dyspozycyjne podawane przez Wilgata) stanowi blisko połowę dyspozycyjnych zasobów wodnych. Jeśli zmiany klimatu będą przebiegały według scenariusza umiarkowanie pesymistycznego, należy oczekiwać w 2050 roku wzrostu zasobów wodnych o $5,9 \text{ km}^3$, tym samym zwiększenia i tak skromnych zasobów dyspozycyjnych, które mogą być wykorzystane jako dodatkowe rezerwy gospodarcze.

LITERATURA

- Fal B. 1993; Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu. Wiadomości IMGW. T. XVI (XXXVII), z. 3. Wyd. IMGW, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., Werner P. 1994; Influence of global climate changes on spatial distribution of air temperature and precipitation in Poland, Misc. Geogr., 6. Wyd. UW, Warszawa.
- Kaczmarek Z. 1996; Wpływ niestacjonarności globalnych procesów geofizycznych na zasoby wodne Polski. Monografia KGW PAN, z. 12, Oficyna Wyd. PW, Warszawa.
- Kaczmarek Z. 1996a; Problemy gospodarki wodnej w świecie i w Polsce. Nauka, nr 4, Wyd. PAN, Warszawa.
- Studia nad wpływem globalnych zmian klimatu na obieg wody w zlewni 1996; red. M. Gutry-Korycka, Wyd. WGiSR UW, Warszawa.
- Wilgat T. 1974; Podstawowe problemy gospodarki wodnej. Czasop. Geogr. XVI, z. 2, Wrocław.
- Wilgat T. 1984; Ochrona zasobów wodnych Polski. Lubelskie Tow. Nauk., PWN, Warszawa-Lódź.

SUMMARY

This paper presents the predicted changes of water resources in Poland (defined as mean river runoff) which can occur as a result of global climate warming.

For estimation of the climate changes – mean annual air temperature and mean annual precipitation – two models of global atmospheric circulation (GCM) were used, assuming double increase of CO₂ amount: 1) pessimistic scenario GFDL predicting increase of air temperature and decrease of precipitation, and 2) more optimistic scenario GISS predicting slighter warming and considerable increase of precipitation. The predicted changes of air temperature were estimated in relation to mean value from the years 1951–1980 (7.7°C), and changes of precipitation amount – in relation to mean value from the year 1891–1980 (639 mm).

As a result of climate change the following changes of total river runoff in Poland are expected in the early part of the XXI century: according to GFDL model the runoff will decrease by 4.9–10.1 km³ in relation to mean value from the 95-year period (61.0 km³), according to GISS model the runoff will slightly increase by 2.9–5.8 km³.