

ODPŁYWY PODZIEMNE I NISKIE W POTOKACH GÓRSKICH

Marek KOSTUCH

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

Słowa kluczowe: Grajcarek, Karpaty Zachodnie, odpływ niski, odpływ podziemny, zasoby wodne

Streszczenie

W pracy dokonano analizy danych hydrologicznych z lat 1970/1971–2000/2001 dotyczących odpływów dobowych pochodzących ze zlewni dwóch potoków w źródłowej części zlewni Grajcarek, prawostronnego dopływu Dunajca. Pozwoliło to na określenie średniego podziemnego odpływu jednostkowego, częstości występowania odpływów dobowych oraz rozkładu i czasu trwania niskich odpływów jednostkowych ze zlewni obu potoków.

Analiza wykazała, że jedna ze zlewni, tj. Czarna Woda, ma większe zasoby wodne oraz korzystniejszy stosunek zasilania podziemnego do zasilania powierzchniowego. Sytuacja taka może wynikać z faktu korzystnego oddziaływania obszarów leśnych w półroczu letnim, kiedy to występuje o około 23% mniej dni z niskimi odpływami jednostkowymi niż w sąsiadującej, słabiej zalesionej zlewni Białej Wody.

Zestawienie czasu trwania niskich odpływów jednostkowych w poszczególnych latach pozwoliło stwierdzić, że w ostatnim dziesięcioleciu hydrologicznym 1991/1992–2000/2001 nastąpiło zwiększenie czasu trwania niskich odpływów jednostkowych. Konsekwencją tego jest zmniejszanie się odnawialnych zasobów wodnych, co niekorzystnie wpływa na środowisko.

WSTĘP

Od kilkudziesięciu lat obserwuje się stopniowe ocieplenie klimatu. Raport opublikowany przez międzynarodowy zespół do spraw zmian klimatu podaje, że konsekwencją wzrostu temperatury będą między innymi zmiany rozkładu opadów atmosferycznych [SADOWSKI, 2001]. Częściej będą występować nawalne deszcze

Adres do korespondencji: mgr inż. M. Kostuch, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, ul. Ułanów 21b, 31-450 Kraków; tel. +48 (12) 412 52 08, e-mail: imuzkrak@kki.pl

oraz dzielące je długotrwałe, choć nieregularne okresy bezopadowe. Taki rozkład opadów atmosferycznych będzie sprzyjał wzrostowi częstości niskich odpływów.

Spełnienie się tych prognoz będzie bardzo niekorzystne dla środowiska – spowoduje obniżenie gwarantowanych zasobów wodnych na obszarach górskich Polski Południowej, stanowiących najistotniejszy rezerwuuar wody, co zbiegnie się prawdopodobnie ze zwiększeniem zapotrzebowania na dobre jakościowo wody powierzchniowe, których okresowo może brakować [TWARDY, SZYMCAK, KOSTUCH, 1997].

W celu określenia kierunków zmian odnawialnych zasobów wodnych w terenach górskich dokonano analizy danych hydrologicznych ze źródłowej części potoku górskiego Grajcarek, będącego prawym dopływem Dunajca. Przeanalizowano dane hydrologiczne z lat 1970/1971–2000/2001 dotyczące odpływów dobowych, zebrane przy realizacji różnych problemów badawczych.

LOKALIZACJA

Badania realizowano w Karpatach Zachodnich, w źródłowej części Grajcarek, na dwóch graniczących ze sobą zlewniach potoków Biała Woda i Czarna Woda. W przeważającej części zajmują one południowe stoki Pasma Radziejowej. Jedynie południowy fragment zlewni Białej Wody leży na północnych stokach Małych Pienin i znajduje się w strefie Pienińskiego Pasma Skalicowego. Pozostały obszar badawczy położony jest w zasięgu Płaszczowiny Magurskiej, w skład której wchodzi warstwy szczawnickie i hieroglifowe. Około 75% obszaru pokrywają gleby typu brunatnego, gliniaste lekkie i średnie. Z pozostałych typów gleb występują małe powierzchnie czarnych ziem, rędzin i gleb bagiennych. Średnie nachylenie zboczy i średnie wzniesienia są zbliżone i wynoszą: dla Białej Wody – 24% i 842 m n.p.m., dla Czarnej Wody – 31% i 895 m n.p.m. Powierzchnie obu zlewni są do siebie zbliżone i wynoszą odpowiednio 10,91 i 11,66 km². Parametry hydrograficzne wskazują natomiast na odmienne ich cechy: gęstość sieci rzecznej zlewni Białej Wody wynosi 3,15 km·km⁻², spadek cieku – 4,43%, Czarnej Wody odpowiednio – 2,38 km·km⁻² i 7,51% [FIGUŁA, 1966].

Analizowane zlewnie użytkowane są w sposób leśno-darniowy. Taka szata roślinna stanowi tu ponad 95% powierzchni. Zlewnia Czarnej Wody odznacza się większą lesistością (82,9%) w stosunku do zlewni Białej Wody (56,2%) [TWARDY, KOPACZ, JAGUŚ, 2002]. Pozostałą powierzchnię zajmują obszary zabudowy wiejskiej, drogi, nieużytki oraz grunty orne.

CEL I METODA BADAŃ

Celem badań było określenie średniego podziemnego odpływu jednostkowego, częstości występowania określonych odpływów dobowych oraz odpływu modalnego (najdłużej trwającego) ze zlewni badanych potoków. Wyznaczenie tych parametrów pozwoli poznać czas trwania oraz rozkład niskich odpływów jednostkowych w analizowanym okresie, jak i w ciągu roku.

Średni odpływ podziemny jest to objętość wód podziemnych pochodzących z drenażu strefy aktywnej wymiany, jaka w danym czasie wydostaje się ze zlewni rzecznej przez jej przekrój kontrolny [BARTNIK, JOKIEL, 2000]. Stosując pewne uproszczenia, często stawia się znak równości między średnim odpływem podziemnym a odnawialnymi zasobami wód podziemnych.

Do obliczeń średniego odpływu podziemnego zastosowano metodę Wundta oraz metodę Killego. W metodzie Wundta średni odpływ podziemny utożsamiany jest ze średnią z minimalnych odpływów miesięcznych z wielolecia, natomiast w metodzie Killego średni odpływ podziemny jest medianą minimalnych odpływów miesięcznych z wielolecia [BARTNIK, JOKIEL, 2000].

Do wyznaczenia histogramów częstości odpływów dobowych ze zlewni omawianych potoków przyjęto okres podstawowy $T = 31$ lat i logarytmiczny podział zakresu zmienności odpływów $r = 60$ przedziałów. Przyjęty podział logarytmiczny wynika z faktu występowania małej częstości dużych odpływów w porównaniu ze średnimi i niskimi. Taki podział najlepiej odzwierciedla zjawiska hydrologiczne.

Zakresy zmienności odpływów dobowych ze zlewni Czarnej Wody wynoszą od $q_{\max} = 545,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ do $q_{\min} = 2,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a ze zlewni Białej Wody od $q_{\max} = 596,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ do $q_{\min} = 1,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Wartości granic poszczególnych przedziałów Δq_i obliczono korzystając ze wzoru $q_i = q_{\min} \cdot a_n^{(i-1)/r}$, gdzie $a_n = q_{\max} \cdot q_{\min}^{-1}$, $i = 1, 2, \dots, r$ [OZGA-ZIELIŃSKA, BRZEZIŃSKI, 1997]. Ponadto uwzględniono warunek $0,09q_i < \Delta q_i < 0,2q_i$. Prawa strona nierówności wynika z założenia, że szerokość i -tego przedziału nie powinna przekraczać 20% wartości dolnego ograniczenia ze względu na dopuszczalny błąd oszacowania wartości odpływu z krzywej częstości [BYCZKOWSKI, 1979]. Lewa strona nierówności ogranicza możliwość pojawiania się przedziałów pustych. Przyjęta liczba przedziałów zależy od liczebności zbioru odpływów – im większa liczebność, tym węższe przedziały można przyjmować.

Przyjęcie nierównych przedziałów Δq_i powoduje konieczność wyznaczenia gęstości częstości g , której wartość obliczana jest dla każdego przedziału odrębnie jako stosunek częstości odpływów do wielkości tego przedziału. Uzyskane wyniki przedstawiono graficznie w postaci histogramu. Z histogramów średniej gęstości częstości odpływów dobowych metodą graficzną określono odpływ modalny. Znajduje się on w przedziale, dla którego uzyskuje się największą wartość gęstości częstości.

W celu wydzielenia z hydrogramów z lat 1970/1971–2000/2001 odpływów niskich wykorzystano metodę Rybczyńskiego [BYCZKOWSKI, 1996], wg której granicę między odpływami niskimi a średnimi przyjmuje się na wysokości odpływu o największej częstości występowania.

WYNIKI BADAŃ

Średni podziemny odpływ jednostkowy obliczony metodami Wundta i Killego dla okresu badawczego 1970/1971–2000/2001 zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Średni podziemny odpływ jednostkowy dla okresu 1970/1971–2000/2001

Table 1. Average groundwater runoff for the period of 1970/1971–2000/2001

Zlewnia Catchment	Średni podziemny odpływ jednostkowy Average groundwater runoff $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$			
	metoda Wundta method of Wundt		metoda Killego method of Killi	
Czarna Woda	10,03		9,00	
Biała Woda	6,32		5,32	

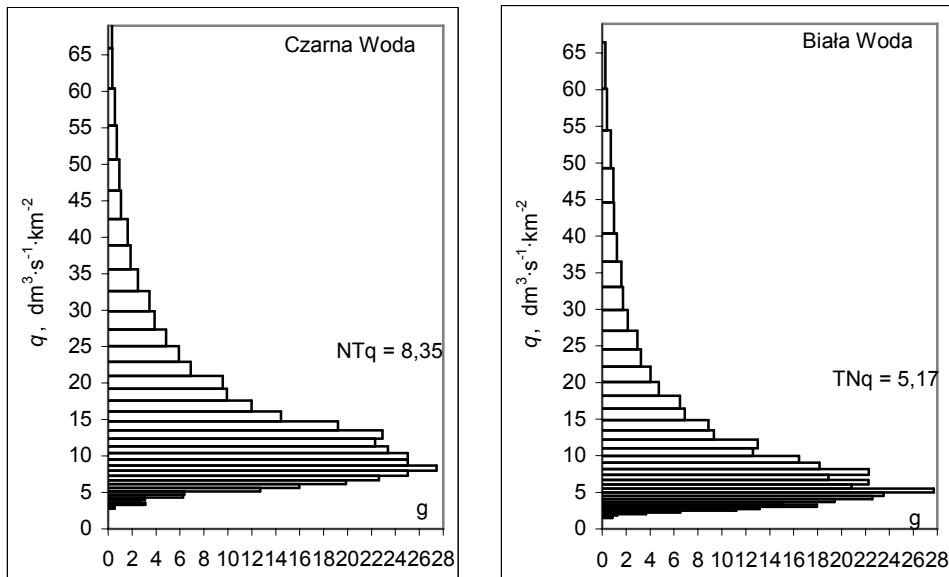
Porównanie otrzymanych wyników (metoda Wundta) ze średnimi całkowitymi odpływami jednostkowymi ze zlewni Czarnej Wody i Białej Wody wynoszącymi odpowiednio 19,50 i 16,98 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, umożliwiło ustalenie, że średni podziemny odpływ jednostkowy ze zlewni Czarnej Wody stanowi 51,4% średniego całkowitego odpływu jednostkowego, podczas gdy ze zlewni Białej Wody – 37,2%.

Histogramy średniej gęstości częstości dobowych odpływów jednostkowych ze zlewni omawianych potoków z wielolecia 1970/1971–2000/2001 zamieszczono na rysunku 1.

W wyniku przeprowadzonej analizy graficznej z histogramów gęstości częstości odpływów jednostkowych ze zlewni Czarnej Wody i Białej Wody wyznaczono, oddzielnie dla każdego cieku, modalny odpływ jednostkowy. Odpływ ten (TNq) znajduje się w przedziale Δq_{is} , dla którego uzyskuje się największą wartość gęstości częstości.

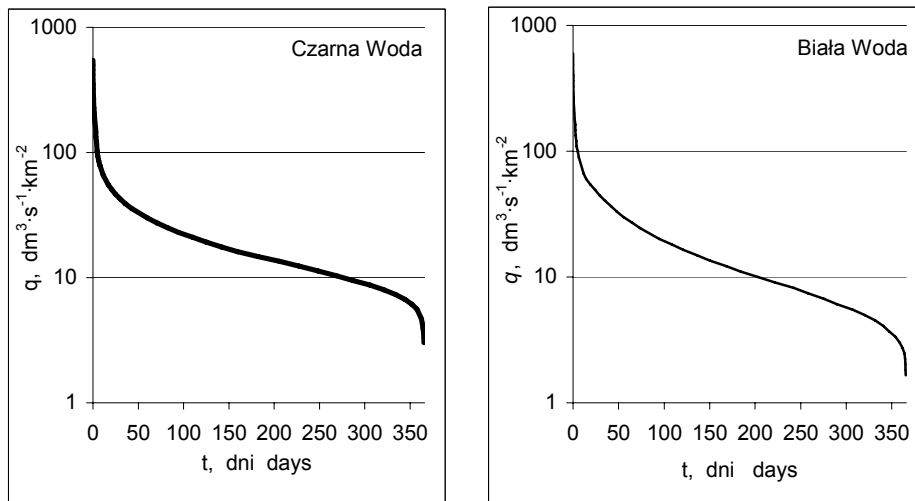
Wykorzystując metodę Rybczyńskiego określono, że granica między niskim a średnim odpływem jednostkowym ze zlewni Czarnej Wody wynosi 8,35, a ze zlewni Białej Wody – 5,17 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Obliczone częstości dobowych odpływów jednostkowych posłużyły do sporządzenia wykresów krzywych sum czasu trwania odpływów jednostkowych (rys. 2), będących odpowiednikiem funkcji prawdopodobieństwa przewyższenia. Wykresy te pozwalają wyznaczyć czas trwania dowolnego odpływu jednostkowego wraz z wartościami wyższymi, a także czas trwania odpływu jednostkowego przyjmującego wartości z pewnego przedziału zmienności.



Rys. 1. Histogram średniej gęstości częstości codziennych odpływów jednostkowych q w latach hydrologicznych 1970/1971–2000/2001

Fig. 1. Histogram of the average density of daily flows frequency q in hydrological years 1970/1971–2000/2001



Rys. 2. Krzywe sum czasu trwania codziennych odpływów jednostkowych q ze zlewni Czarnej i Białej Wody w latach hydrologicznych 1970/1971–2000/2001

Fig. 2. Curves of duration of daily specific discharge q from catchments of the Czarna Woda and Biała Woda streams in hydrological years 1970/1971–2000/2001

Wyznaczone wartości graniczne niskiego odpływu jednostkowego umożliwiły określić średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych w półroczu zimowym, półroczu letnim oraz całym roku dla wielolecia 1970/1971–2000/2001 i dziesięciolecia 1991/1992–2000/2001 (tab. 2).

Tabela 2. Średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych w latach hydrologicznych 1970/1971–2000/2001

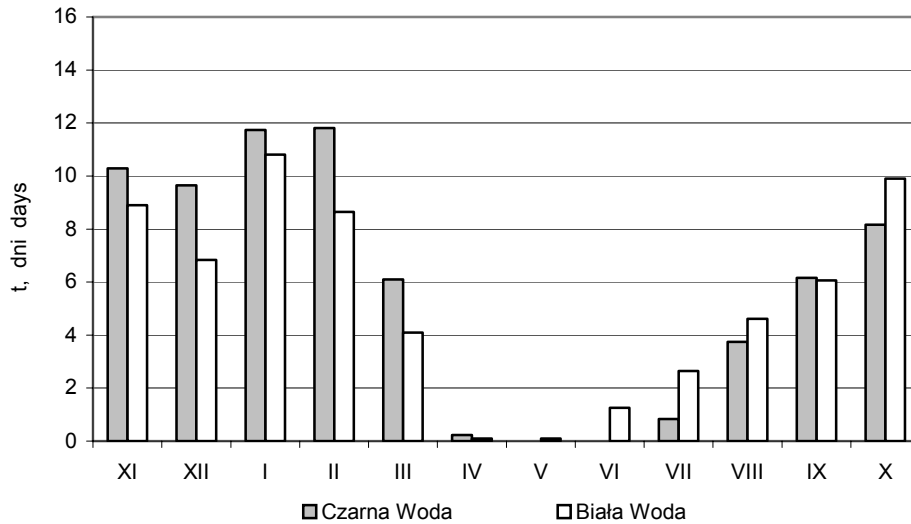
Table 2. Average duration of specific low discharges in hydrological years 1970/1971–2000/2001

Zlewnia Catchment	Wartość graniczna niskiego odpływu jednostkowego Threshold value of specific low discharge $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$	Średni czas trwania, dni Average duration, days		
		półrocze zimowe winter half year (Nov.–Apr.)	półrocze letnie summer half year (May–Oct.)	rok year
1970/1971–2000/2001				
Czarna Woda	8,35	49,8	18,9	68,7
Biała Woda	5,17	39,4	24,6	64,0
1991/1992–2000/2001				
Czarna Woda	8,35	57,3	26,2	83,5
Biała Woda	5,17	45,4	32,7	78,1

Średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych w półroczach letnich lat hydrologicznych 1970/1971–2000/2001 jest o 30,2% dłuższy ze zlewni Białej Wody niż ze zlewni Czarnej Wody. Analiza dla całego okresu objętego badaniami wykazała, że średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych jest o 7,4% dłuższy ze zlewni Czarnej Wody niż ze zlewni Białej Wody (rys. 3).

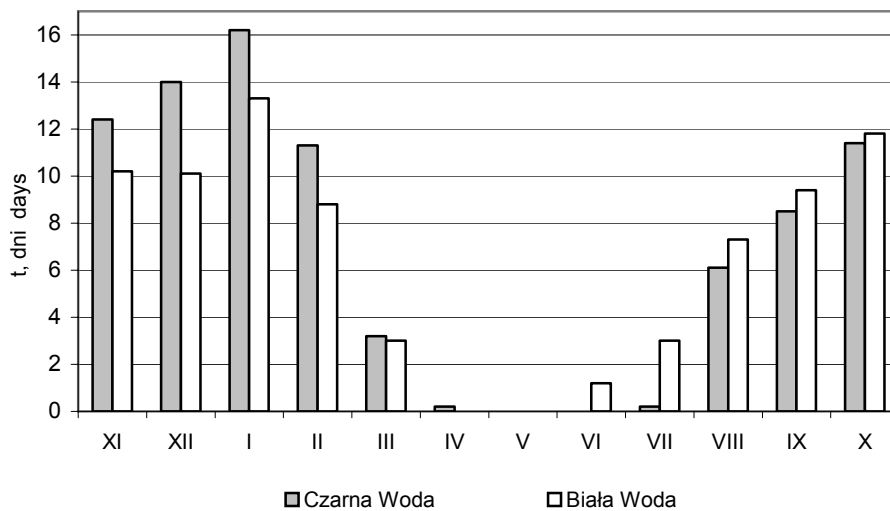
Średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych w półroczach letnich lat hydrologicznych 1991/1992–2000/2001 jest o 24,8% dłuższy ze zlewni Białej Wody niż Czarnej Wody. Analiza dla całego okresu wykazała, że średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych jest o 6,9% dłuższy ze zlewni Czarnej Wody niż Białej Wody (rys. 4).

Zestawienie czasu trwania niskich odpływów jednostkowych w poszczególnych latach wielolecia 1970/1971–2000/2001 wraz z linią trendu rozpatrywanych wielkości dla Czarnej Wody i Białej Wody przedstawiono na rysunkach 5. i 6.



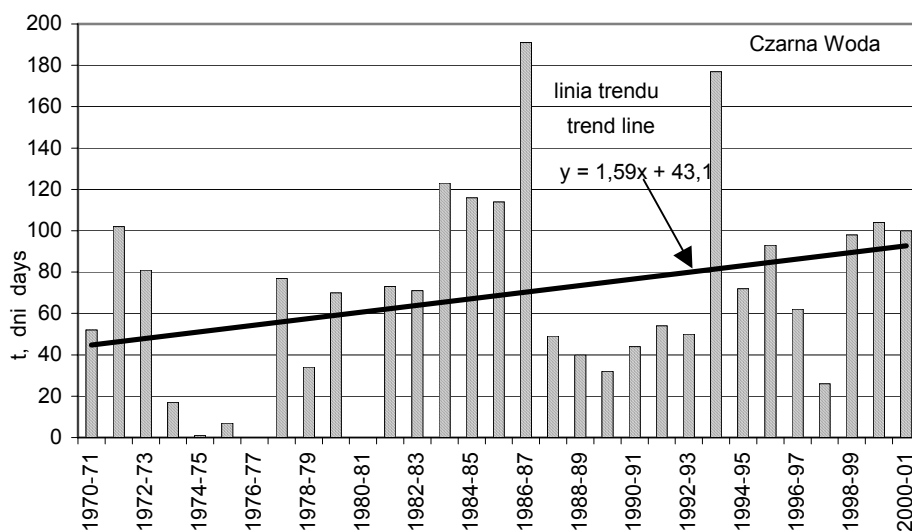
Rys. 3. Średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych w poszczególnych miesiącach z lat hydrologicznych 1970/1971–2000/2001

Fig. 3. Average duration of specific low discharge in particular months during hydrological years 1970/1971–2000/2001



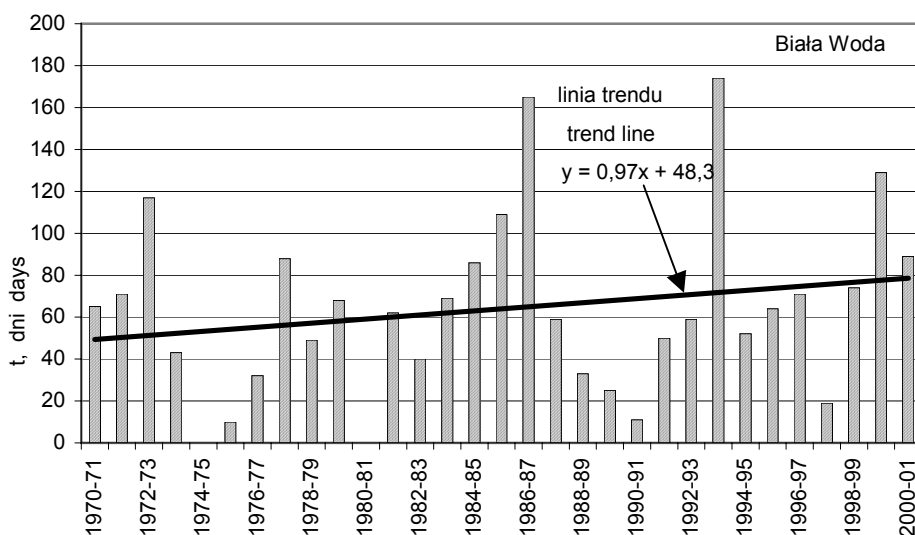
Rys. 4. Średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych w poszczególnych miesiącach z lat hydrologicznych 1991/1992–2000/2001

Fig. 4. Average duration of specific low discharge in particular months during hydrological years 1991/1992–2000/2001



Rys 5. Czas trwania niskich odpływów jednostkowych ze zlewni Czarnej Wody i linia trendu w latach hydrologicznych 1970/1971–2000/2001

Fig. 5. Duration of specific low discharges from the Czarna Woda catchment and trend line in hydrological years 1970/1971–2000/2001



Rys. 6. Czas trwania niskich odpływów jednostkowych ze zlewni Białej Wody i linia trendu w latach hydrologicznych 1970/1971–2000/2001

Fig. 6. Duration of specific low discharges from the Biała Woda catchment and trend line in hydrological years 1970/1971–2000/2001

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Średni podziemny odpływ jednostkowy ze zlewni Czarnej Wody jest o około 60% wyższy od średniego podziemnego odpływu jednostkowego ze zlewni Białej Wody (tab. 1). Zróżnicowanie to świadczy o odmiennych cechach badanych zlewni związanych z rodzajem podłoża, użytkowaniem terenu, układem sieci rzecznych itp. Obliczone metodami Wundta i Killiego wartości średniego podziemnego odpływu jednostkowego są zgodne z obliczeniami innych autorów, którzy podają, że dla Karpat fliszowych średni podziemny odpływ jednostkowy wynosi $5\text{--}10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ [BARTNIK, JOKIEL, 2000; DYNOWSKA, 1971; KUREK, PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1985; 1977].

Przeprowadzona analiza częstości występowania odpływów w powiązaniu z metodą Rybczyńskiego wykazała, że granica między niskimi a średnimi odpływami jednostkowymi ze zlewni Czarnej Wody wynosi $8,35 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a ze zlewni Białej Wody – $5,17 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

W okresie objętym badaniami (1970/1971–2000/2001) średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych ze zlewni Czarnej Wody wynosił 68,7 dnia, co stanowi 18,8% roku hydrologicznego, a ze zlewni Białej Wody – 64,0 dni, co stanowi 17,5% roku hydrologicznego. W ostatnim dziesięcioleciu 1991/1992–2000/2001 nastąpiło zwiększenie liczby dni z niskimi odpływami jednostkowymi do 83,5 ze zlewni Czarnej Wody (22,9% roku hydrologicznego) i do 78,1 ze zlewni Białej Wody (21,4% roku hydrologicznego).

Szczegółowa analiza uwzględniająca podział na półrocza letnie i zimowe okresu 1970/1971–2000/2001 wykazała, że w półroczach zimowych występuje więcej dni z niskimi odpływami jednostkowymi ze zlewni Czarnej Wody niż ze zlewni Białej Wody, natomiast w półroczach letnich więcej dni z niskimi odpływami jednostkowymi występuje w zlewni Białej Wody. Analiza okresu 1991/1992–2000/2001 potwierdziła powyższe stwierdzenie wykazując, że w półroczach zimowych w zlewni Czarnej Wody występuje o 26,2% więcej dni z niskimi odpływami jednostkowymi niż w zlewni Białej Wody, a w półroczach letnich w zlewni Białej Wody występuje o 24,8% więcej dni z niskimi odpływami jednostkowymi niż w zlewni Czarnej Wody (tab. 2).

Analiza średniego czasu trwania niskich odpływów jednostkowych w poszczególnych miesiącach wykazała, że w kwietniu, maju i czerwcu niskie odpływy jednostkowe ze zlewni Czarnej Wody i Białej Wody występowały bardzo rzadko (rys. 3 i 4). W kolejnych miesiącach zanotowano stopniowy wzrost czasu trwania niskich odpływów jednostkowych – największy w styczniu. Dla stycznia okresu 1991/1992–2000/2001 średni czas trwania niskich odpływów jednostkowych ze zlewni Czarnej Wody wyniósł 16 dni, a na Białej Wody – 13 dni.

Badania przeprowadzone na długoletnim materiale obserwacyjnym 1970/1971–2000/2001 pozwoliły określić czas trwania niskich odpływów jednostkowych ze zlewni Czarnej Wody i Białej Wody w poszczególnych latach (rys. 5

i 6). W rozpatrywanym okresie na obydwu potokach zanotowano 9 lat, w których czas trwania niskich odpływów jednostkowych był mniejszy od 40 dni oraz dwa lata 1986/1987 i 1993/1994, w których odnotowano największą liczbę dni z niskimi odpływami jednostkowymi, przekraczającą 160 dni. Zestawienie czasu trwania niskich odpływów jednostkowych w poszczególnych latach pozwoliło wyznaczyć linie trendu zmienności badanego zjawiska. Dla obydwu potoków linia trendu ma charakter wzrostowy, co świadczy o zwiększającej się liczbie dni z niskimi odpływami jednostkowymi w ciągu kolejnych lat. Konsekwencją tych zmian jest zmniejszenie się zasobów wodnych. Rozpoznanie przyczyn takiego stanu wymaga jednak badań obejmujących zagadnienia meteorologiczne i antropogeniczne.

WNIOSKI

1. Zlewnia Czarnej Wody odznacza się większymi odnawialnymi zasobami wód podziemnych, ma korzystniejszy stosunek zasilania podziemnego do zasilania powierzchniowego niż mniej zalesiona zlewnia Białej Wody.

2. W półroczach letnich okresu objętego badaniami (1970/1971–2000/2001) na Czarnej Wodzie występuje o około 23% mniej dni z niskimi odpływami jednostkowymi niż na Białej Wodzie. Jedną z głównych przyczyn takiego stanu może być większa lesistość zlewni Czarnej Wody.

3. W półroczach zimowych okresu (1970/1971–2000/2001) na Czarnej Wodzie zanotowano większą o około 26% liczbę dni z niskimi odpływami jednostkowymi niż na Białej Wodzie, co jest związane z faktem większego zalesienia zlewni Czarnej Wody. Wskutek zacienienia obszaru zlewni, pokrywa śnieżna zalega dłużej, a krótkotrwałe okresy dodatniej temperatury powietrza nie powodują gwałtownych roztopów, które w zlewni Białej Wody są czynnikiem zasilania cieków w wodę.

4. Nastąpiło zwiększenie średniego czasu trwania niskich odpływów jednostkowych na Czarnej Wodzie i Białej Wodzie w dziesięcioleciu 1991/1992–2000/2001 o około 22% w stosunku do wielolecia 1970/1971–2000/2001.

LITERATURA

- BYCZKOWSKI A., 1979. Hydrologiczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. Przepływy charakterystyczne. Warszawa: PWRiL.
- BYCZKOWSKI A., 1996. Hydrologia. Warszawa: SGGW.
- BARTNIK A., JOKIEL P., 2000. Średni odpływ podziemny w Polsce. Warszawa: Gosp. Wod. nr 2. s. 56–59.
- DYNOWSKA I., 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce. Zesz. Nauk. UJ. Prace Geogr. z. 28, Prace Inst. Kraków s. 67–81.
- FIGUŁA K., 1966. Kształtowanie się odpływów w zlewniach potoków Biała i Czarna Woda Cz. II. Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich zalesionych i niezalesionych. Roczn. Nauk Rol. Ser. D t. 118 s. 51–90.

- KUREK S., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1985. Ocena oddziaływania warunków środowiskowych i użytkowania ziemi na kształtowanie się odpływu z małych zlewni górskich. Kraków: IMUZ, maszyn. s. 26–44.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J., 1997. Hydrologia stosowana. Warszawa: PWN s. 176–246.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1977. Wpływ czynników meteorologicznych na wielkość odpływu gruntowego (na przykładzie kilku małych zlewni górskich o różnym stopniu zalesienia). Wiad IMUZ t. 13 z. 1. s. 191–213.
- SADOWSKI M., 2001. Zasoby i gospodarka wodna w warunkach globalnego ocieplenia. Warszawa: Gosp. Wod. nr 4 s. 140–142.
- TWARDY S., SZYMCZAK T., KOSTUCH M., 1997. Wpływ czynników klimatycznych na kształtowanie się odpływów w małych zlewniach górskich. W: Zagrożenie powodziowe w zlewniach górskich. Konf. nauk.-techn. Bielsko-Biała: IMUZ s. 273–282.
- TWARDY S., KOPACZ M., JAGUŚ A., 2002. Charakterystyka przyrodnicza zlewni Grajcarek ze szczególnym uwzględnieniem środowiska wodnego i użytkowania terenu. Kraków-Falenty: IMUZ s. 1–88.

Marek KOSTUCH

GROUNDWATER AND LOW RUNOFFS IN MOUNTAIN STREAMS

Key words: Grajcarek, the West Carpathians, low runoff, groundwater runoff, water resources

S u m m a r y

The paper contains the analysis of hydrological data from the period of 1970/1971–2000/2001 on minimal daily flows in two streams in the catchment of the Grajcarek river, the tributary to the Dunajec river. The analyses allowed for estimating the average groundwater runoff, the frequency of occurrence of specific low discharges and their distribution for both streams.

Applied methods of Wundt and Killi showed, that the average groundwater runoff in the Czarna Woda stream was about 60% higher than that in the Biała Woda stream. It seems that water resources in the catchment of the Czarna Woda stream are bigger and that more favourable ratio of ground water contributes to the surface water augmentation.

The analysis of data from 1970/1971–2000/2001 confirms that in the winter time there were more days with low specific discharge in the catchment of the Czarna Woda stream than in that of the Biała Woda. In summer the situation was opposite. During the last decade 1991/1992–2000/2001 low specific discharges lasted longer than before. The consequence of it is the reduction of renewable water resources which inversely affects the environment.

Recenzenci:

prof. dr hab. Andrzej Byczkowski
dr inż. Tomasz Szymczak

Praca wpłynęła do Redakcji 26.08.2002 r.

