

Zróźnicowanie przestrzenne i zmienność odpływu ze zlewni tatrzańskich

Joanna Pociask-Karteczka¹, Maria Baścik¹, Zenon Nieckarz²

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, 30-387 Kraków, ul. Gronostajowa 7
e-mail: j.pociask@geo.uj.edu.pl, m.bascik@geo.uj.edu.pl

² Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński, ul. Reymonta 30-059 Kraków, ul. Reymonta 4
e-mail: zenon.nieckarz@uj.edu.pl

Słowa kluczowe: odpływ jednostkowy, tendencje, cykliczność, zmiany klimatu, góry wysokie

Keywords: specific river runoff, trends, periodicity, climate change, high mountain

Streszczenie

Celem opracowania jest zbadanie przestrzennego zróźnicowania i zmienności odpływu ze zlewni tatrzańskich oraz dynamiki przepływów średnich i wysokich poprzez określenie tendencji i wskaźników zmienności oraz cykliczności. W pracy wykorzystano m.in. metodę korelacji liniowej oraz analizę harmoniczną Lomba-Scargla. Przeanalizowano także występowanie dobowych przepływów wysokich Q_w , gdzie $Q_w > Q_{st} + 10\sigma$.

Odpływ ze zlewni tatrzańskich należy do najwyższych w Polsce ($40\text{--}50 \text{ dm}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{km}^2$), jednak współczynniki odpływu oraz sezonowa zmienność odpływu z poszczególnych zlewni jest bardzo zróźnicowana. Reżim rzek tatrzańskich jest reżimem prostym, w którym kulminacja odpływu przypada na maj – w przypadku rzek w Tatrach Zachodnich oraz na maj i czerwiec – w przypadku rzek w Tatrach Wysokich. Zlewnia obejmująca Tatry Zachodnie i Tatry Wysokie (Cichej Wody) odznacza się najdłuższym okresem wezbraniowym trwającym od maja do lipca. Przepływy wysokie występują głównie w sezonach wiosennym i letnim oraz w większości przypadków, nie pojawiają się synchronicznie we wszystkich badanych zlewniach. Odpływ w półroczu letnim stanowi od ok. 65 do prawie 80% całkowitego odpływu rocznego. W przebiegu wieloletnim średnich rocznych przepływów, słabą tendencję rosnącą w latach 1964–2006 wykazuje Cicha Woda, natomiast w przypadku przepływów wysokich rocznych – Potok Kościeliski. W wyniku analizy harmonicznego nie stwierdzono istotnych cykliczności w przebiegu ciągów czasowych średnich przepływów rocznych.

Należy zaznaczyć, iż zlewnia Porońca, ze względu na położenie przekroju zamykającego zlewnię (Porońca), obejmuje swym zasięgiem obszary poza Tatrami. Z niniejszych badań wynika, iż nie reprezentuje ona warunków hydrologicznych typowych dla Tatr.

Wstęp

Początki badań hydrograficznych w Tatrach sięgają XVII w., aczkolwiek pierwsze posterunki wodowskazowe w polskich Tatrach założono z początkiem wieku XX (tab. 1). Pierwsze opracowania bazujące na wieloletnich ciągach pomiarowych pojawiły się dopiero w latach 50. XX w. Początkowe opracowania hydrologiczne w ujęciu bilansowym miały charakter fragmentaryczny. Pierwszą ocenę surowego bilansu wodnego zlewni górnego Dunajca przedstawił K. Figuła (1956). Charakterystykę hydrologiczną zlewni Białki i Potoku Kościeliskiego zawierała praca Ireny Gieysztor (1961). Określenia reżimu odpływu cieków dokonała Zofia Ziemońska (1966), która przeprowadziła szczegółową analizę obiegu wody w zlewni górnego Dunajca za okres dziesięciolecia 1949–1958, biorąc pod uwagę zlewnie: Potoku Kościeliskiego zamkniętą wodowskazem w Kirach, Rogoźnika Wielkiego – po Ludźmierzu oraz Czarnego Dunajca – do Nowego Targu. Kartowanie hydrograficzne Tatr polskich, które doprowadziło do opracowania mapy hydrograficznej w skali 1:50 000 wraz z objaśnieniami (Ziemońska, Wit 1960, Wit-Józwick 1974), dało podstawę do oceny przestrzennego zróźnicowania zjawisk wodnych w powiązaniu z warunkami hydrogeologicznymi.

W kolejnych latach pojawiały się opracowania regionalne z zakresu hydrologii, w których Tatry traktowane były kompleksowo – jako jeden z regionów; bez wyróżniania zlewni tatrzańskich. W opracowaniu dotyczącym całych Karpat Zachodnich (1973), Zofia Ziemońska wyróżnia region tatrzański (wysokogórski), charakteryzujący się wysokim współczynnikiem odpływu ($> 0,70$), przewagą odpływu w półroczu letnim (60–75%) oraz wyraźnym letnim maksimum odpływu. Według Ireny Dynowskiej (1971) reżim rzek tatrzańskich jest niewyrównany, z wezbraniem: letnim i wiosennym. Duże opady w okresie letnim powodują większy odpływ, aniżeli jest notowany w okresie wiosennych roztopów. Odpływ letni stanowi 30–40% całkowitego rocznego odpływu. Współczynnik nieregularności

miesięcznych przepływów wynosi 3,1–4,0, a odpływ jednostkowy – $18 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Zasilanie jest gruntowo-deszczowo-śnieżne, z 40–60% zasilania podziemnego; przy czym zaznacza się równowaga pomiędzy zasilaniem podziemnym a powierzchniowym. Trzeba jednak zaznaczyć, iż taki typ reżimu był wydzielony na podstawie danych z posterunków wodowskazowych na Dunajcu.

Badając sezonową zmienność odpływu w zlewni górnej Wisły, Antoni Dobija (1981) wydzielił w Tatrach dwa regiony: Tatry Wysokie – o ekstremalnych wartościach charakterystyk odpływu i wysokich współczynnikach zmienności oraz Tatry Krasowe o znacznym zasilaniu podziemnym lecz o niższym niż w Tatrach Wysokich współczynniku sezonowej zmienności. Ocenę średnich odpływów oraz przepływów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie występowania zawierają opracowania Jerzego Punzeta (1975, 1978).

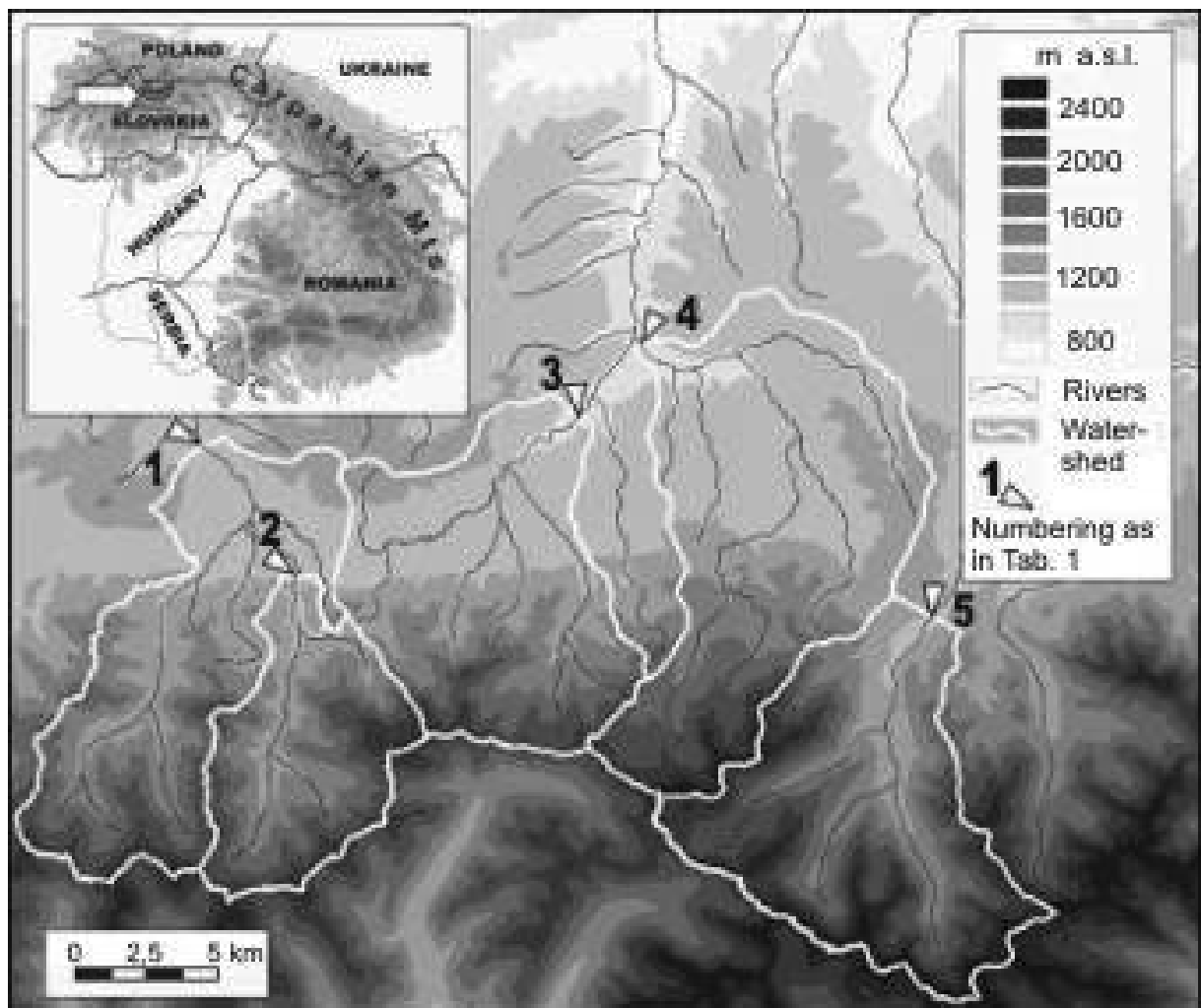
W *Atlasie Hydrologicznym Polski* z 1987 r. przedstawiono różne charakterystyki odpływu na mapach w skali 1:1 500 000. Średni odpływ jednostkowy przedstawiony został w postaci izorei, które na obszarze Tatr mają prze-

bieg równoleżnikowy. Wartości odpływu jednostkowego kształtują się od $30 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ w północnej części Tatr do powyżej $50 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ w ich najwyższych, południowych partiach (Stachy, Biernat 1987).

Dysponując ciągiem wieloletnich danych hydrologicznych (1961–1980) dla ośmiu posterunków tatrzańskich Adam Łajczak (1988) scharakteryzował przestrzenne zróżnicowanie oraz sezonową i wieloletnią zmienność opadów i odpływu w Tatrach. Przedstawiona została struktura odpływu potoków tatrzańskich, a także podano różne charakterystyki przepływów (m.in. odpływ jednostkowy, współczynniki miesięcznych przepływów, współczynnik zmienności).

Celem niniejszej pracy jest zbadanie:

- szczegółowego zróżnicowania reżimu rzek tatrzańskich,
- przestrzennego zróżnicowania i zmienności odpływu,
- dynamiki przepływów średnich i wysokich poprzez określenie tendencji i wskaźników zmienności oraz cykliczności.



Ryc. 1. Położenie badanych zlewni

Fig. 1. Location of the investigated river catchment

Tabela 1. Badane zlewnie**Table 1.** Investigated river catchments

Rzeka River	Wodowskaz / Water level gauge			Powierzchnia zlewni Area of the catchment [km ²]	Data założenia wodowskazu Date of installation of the water level gauge
	Położenie Location	Kilometr m biegu rzeki Kilometer of the river course	Poziom zera [m n.p.m.] Altitude of 0 of the water level gauge [m a.s.l.]		
Białka	Łysa Polana	30,8	965,57	63,1	1922
Poroniec	Poronin	0,2	731,48	78,69	1917
Cicha Woda	Zakopane-Harenda	21	763,13	58,4	1922
Kościeliski Potok	Kościelisko-Kiry	2,4	920,77	34,5	1917
Czarny Dunajec	Kojsówka	233,1	837,34	93,7	1962

Obszar badań i ciągi obserwacyjne

Badaniami objęto zlewnie pięciu rzek: Białki, Porońca, Cichej Wody, Potoku Kościeliskiego oraz Czarnego Dunajca (ryc. 1, tab. 1). W analizie wykorzystano wartości średnie miesięczne wartości przepływów w latach 1961–2000 oraz przepływy średnie dobowe, przy czym długość ciągów jest zróżnicowana (Białka 1961–2006, Poroniec 1971–1990, Cicha Woda 1964–2006, Kościeliski 1971–2006, Czarny Dunajec 1971–1990).

Metody badań

W analizie ciągów czasowych wykorzystano miary pozycyjne, trend liniowy, rachunek korelacyjny oraz analizę harmoniczną Lomba-Scargla, w ramach której opracowano wskaźnik FAP (*False Alarm Probability*) wyznaczający prawdopodobieństwo tego, że dana harmonika może być harmoniką powstałą przypadkowo. Na przykład, jeśli dla wybranej harmoniki FAP = 100%, to jest ona składową wchodzącą wyłącznie w skład szumu (tzn. jest ona wygenerowana przez szum). Natomiast, jeżeli dla danej harmoniki wartość FAP jest bliska 0% (np. FAP = 0,1%) oznacza to, że w analizowanym ciągu czasowym danego zjawiska istnieje cykliczność o takiej właśnie okresowości. Analizę harmoniczną Lomba-Scargla można stosować zarówno do ciągów obserwacyjnych próbkowanych regularnie jak i z brakami lub ciągów o nieregularnym próbkowaniu. Analizie harmoniczną poddano ciągi obserwacyjne wartości przepływów średnich rocznych. Z tego powodu przeprowadzone badania dotyczyły okresowości równych i dłuższych od 2 lat.

Przeanalizowano także występowanie dobowych przepływów wysokich Q_w , spełniających warunek $Q_w > Q_{sr} + 10\sigma$, gdzie σ oznacza odchylenie standardowe obliczone na podstawie przepływów dobowych wieloletniego ciągu obserwacyjnego.

Reżim odpływu i zmienność przepływów rzek tatrzańskich

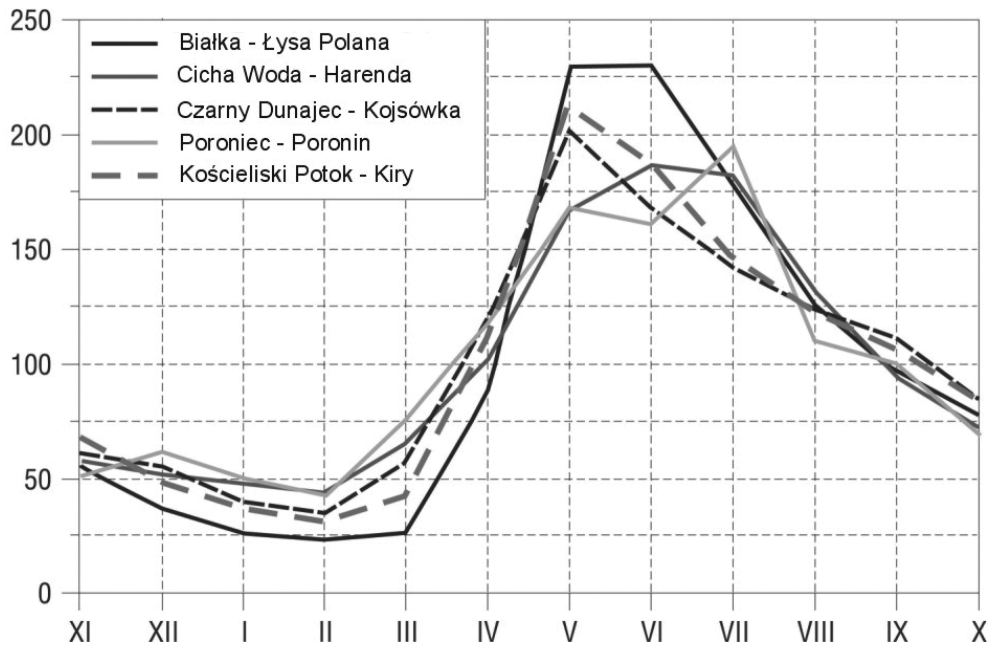
Reżim rzek tatrzańskich jest reżimem prostym (jeden okres wezbraniowy). W przypadku Białki oraz Cichej

Wody, okres wezbraniowy jest znacznie dłuższy niż w zlewniach Potoku Kościeliskiego oraz Czarnego Dunajca, trwa bowiem od maja odpowiednio do czerwca i lipca. Bezpośrednio po roztopach przebiegających stopniowo – od najniższego do najwyższego piętra klimatycznego – nastaje letnie wezbranie opadowe. Ponadto, wieloletnie płyty śnieżne podlegają ablacji od wiosny do jesieni. W przypadku Czarnego Dunajca oraz Potoku Kościeliskiego, występuje jeden – stosunkowo krótki okres wezbraniowy – kulminacja przepływu przypada na maj i spowodowana jest z roztopami wiosennymi.

Odmiernym reżimem odznacza się Poroniec; odpływ z tego dorzecza cechuje się dwoma okresami wezbraniowymi, tj. wiosennym i letnim, co pozwala go zakwalifikować do typu reżimów złożonych (ryc. 2).

Zlewnia Porońca ma znaczną powierzchnię (prawie 80 km²) i choć także obejmuje wyżej wspomniane piętra klimatyczne, w rozkładzie bimodalnym odpływu, zauważa się wyraźną dominację kulminacji letniej nad wiosenną (ryc. 2). Prawdopodobnie wynika to ze zróżnicowania fizjograficznego zlewni, która zamknięta wodowskazem w Poroninie nie reprezentuje warunków tatrzańskich, bowiem obejmuje subzlewnie położone na obszarze zarówno Pogórza Spisko-Gubałowskiego jak i Rowu Podtatrzańskiego. Obszary te odznaczają się m.in. odmienną budową geologiczną (flisz zakopiański) i zgoła odmiennymi warunkami splywu powierzchniowego.

Gradient opadowy na obszarze Tatr jest zróżnicowany w zależności od piętra wysokościowego. Do wysokości ok. 1400 m n.p.m. jest on wyższy niż powyżej 1650 m n.p.m. (ryc. 3). Przyrost opadów wraz z wysokością można odwzorować funkcją nieliniową $P = 2496(1 - \exp(-H/1429))$, gdzie P oznacza opad w mm, H – wysokość bezwzględna w metrach n.p.m. ($R^2 = 0,88$). Oznacza to, że na wysokości 1000 m n. p. m. gradient opadowy wynosi 87 mm na 100 m, a na wysokości 2000 m n.p.m. wynosi już tylko 43 mm na 100 m. Według funkcji liniowej ($P = 0,70H + 540$, $R^2 = 0,82$), która wyznacza średnią wartość badanej zależności, wzrost opadów na 100 m wysokości wynosi średnio 70 mm.



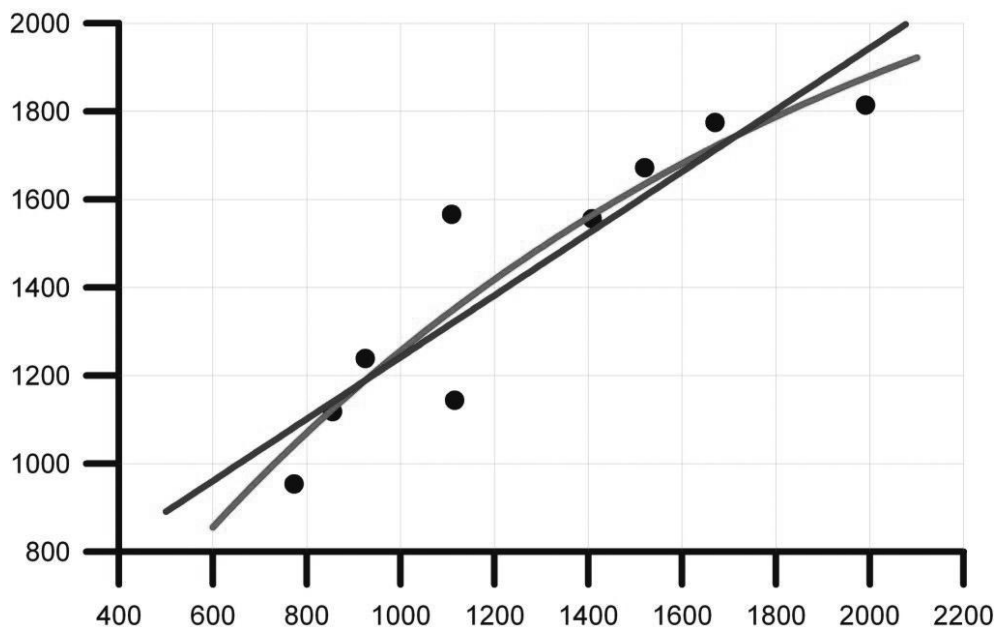
Ryc. 2. Reżim rzek tatrzańskich (% średniego odpływu rocznego z wielolecia 1961–2000)

Fig. 2. Runoff regime of the Tatra Mts. rivers (% of the mean annual discharge in 1961–2000)

Efektom nierównomiernego rozkładu odpływu w ciągu roku są znaczne dysproporcje rozkładu odpływu w poszczególnych półroczach. Najbardziej zaznacza się to w zlewni Białki, gdzie odpływ w półroczu letnim (V–X; 1961–2000) ze zlewni odpływa prawie 80% wody. Oznacza to, że od listopada do kwietnia ze zlewni średnio odpływa zaledwie 20% wody (tab. 2). Zima w zlewniach tatrzańskich jest okresem wielkiego deficytu wody.

Przestrzenne zróżnicowanie odpływu jednostkowego

Porównując średni odpływ jednostkowy Tatr w różnych opracowaniach, można zauważyć duże rozbieżności. W *Atlasie...* (1983) wartość odpływu jednostkowego na północnym skłonie Tatr wynosi od 19 do ponad 40 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a na skłonie południowym – tylko 12 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Analiza danych z wielolecia 1961–1980



Ryc. 3. Suma roczna opadu na tle wysokości bezwzględnej w Tatrach wraz z dopasowaniem liniowym i nieliniowym

Fig. 3. Annual precipitation and altitude a.s.l. in the Tatra Mts. with linear and non-linear fitting

Tabela 2. Charakterystyki odpływu ze zlewni tatrzańskich w latach 1961–2000

Table 2. Runoff characteristics of the Tatra Mts. river basins in 1961–2000

Rzeka River	Q_{sr} [m ³ ·s ⁻¹]	q [dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	Udział odpływu letniego [%] Share of runoff in summer season [%]	Q_{max}/Q_{min}	c_v [s/SSQ]
Białka	3,13	49,6	78,2	654,6	0,60
Poroniec	1,62	20,6	64,8	2228,6	0,47
Cicha Woda	2,16	37,0	68,8	886,4	0,52
Potok Kościeliski	1,70	49,3	71,6	367,5	0,63

uszczegółowiła obraz rozkładu odpływu jednostkowego, który w Tatrach osiąga wartość 35–50 dm³·s⁻¹·km⁻², zaś na przedpolu Tatr od 20 do 35 dm³·s⁻¹·km⁻² (Łajczak 1988).

Średni odpływ jednostkowy wyznaczony na podstawie danych z wielolecia 1961–2000 wynosi ok. 50 dm³·s⁻¹·km⁻² (tab. 2; Baścik, Pociask 2009). W zlewni Porońca wartość ta jest ponad dwukrotnie mniejsza, co wynika głównie ze zróżnicowania hydrogeologicznego tej zlewni.

Wieloletnie tendencje odpływu

W przebiegu wieloletnim średnich rocznych przepływów rzek tatrzańskich nie zaznaczają się istotne trendy. Jedynie Cicha Woda wykazuje bardzo słabą, ale istotną statystycznie tendencję rosnącą w latach 1964–2006, zaś w przypadku przepływów wysokich rocznych Potok Kościeliski (tab. 3). Przepływ średni roczny Cichej Wody zwiększa się z roku na rok średnio o 0,016 m³·s⁻¹, natomiast przepływy maksymalne roczne Potoku Kościeliskiego wzrastają co roku średnio o 0,23 m³·s⁻¹.

Tabela 3. Parametry trendu liniowego przepływów rzek tatrzańskich (pogrubiono tendencje istotne, $p = 0,05$)

Table 3. Parameters of the Tatra river discharge trends (statistical significant trends are bolded, $p = 0,05$)

Rzeka River	Przepływy średnie roczne Mean annual discharge				Przepływy maksymalne roczne Maximum annual discharge			
	B	dB	R	p	B	dB	R	p
Białka (1961–2006)	0,004	0,007	0,10	0,52	-0,11	0,27	-0,06	0,69
Poroniec (1971–1990)	0,019	0,021	0,21	0,38	0,65	0,77	0,19	0,41
Cicha Woda (1964–2006)	0,016	0,008	0,31	0,04	0,28	0,24	0,18	0,24
Potok Kościeliski (1971–2006)	0,000	0,005	0,02	0,91	0,23	0,12	0,33	0,05
Czarny Dunajec (1971–1990)	0,001	0,021	0,01	0,96	0,42	0,39	0,24	0,30

B – parametr równania $y = A + Bx$ [dm³·s⁻¹] / parameter B of linear equation $y = A + Bx$ [dm³·s⁻¹]

dB – błąd standardowy współczynnika B równania / standard error of parameter B

R – współczynnik korelacji Pearsona / Pearson correlation coefficient

p – prawdopodobieństwo / probability

Przepływy wysokie – rozkład w wieloleciu

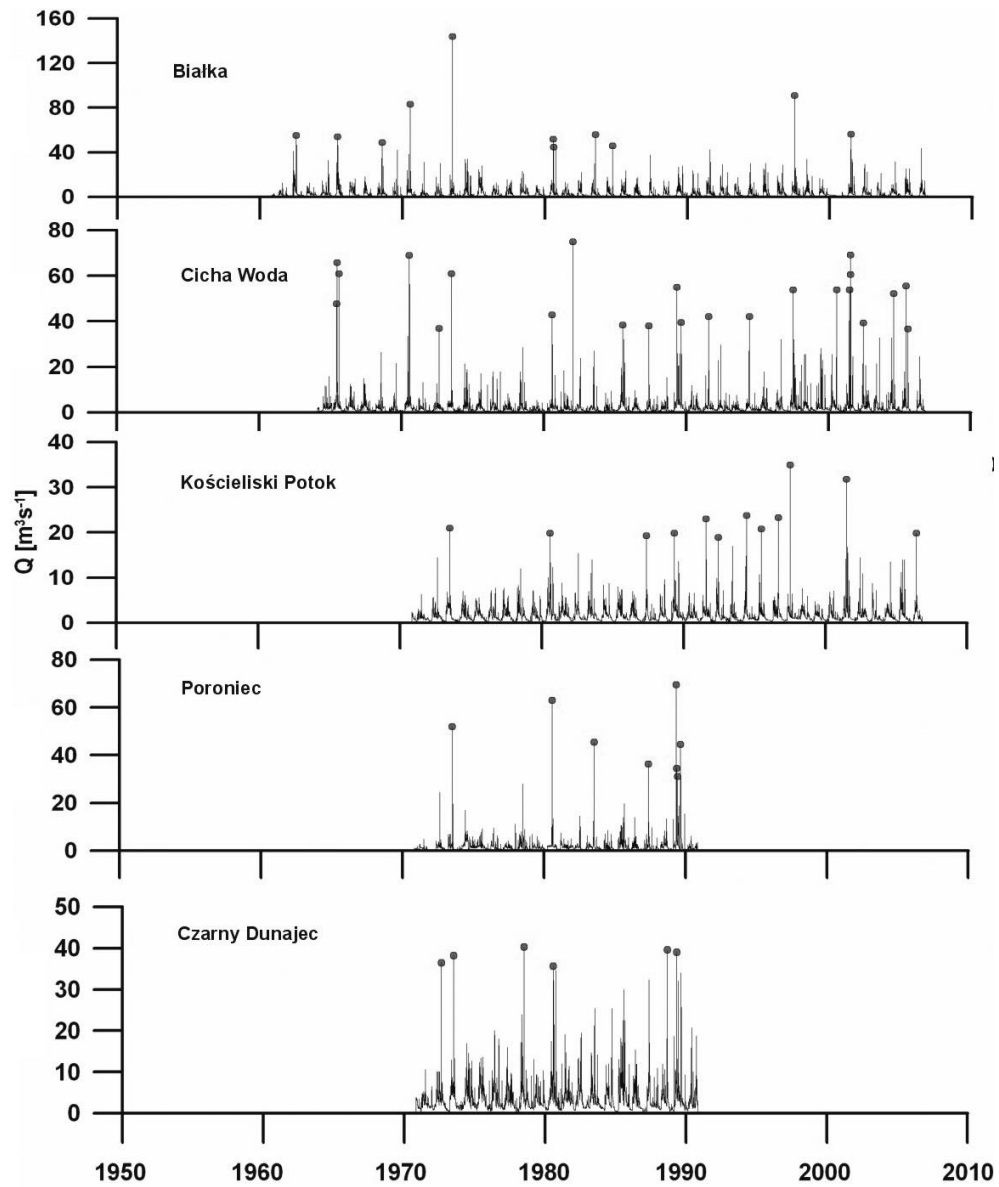
Wartości wysokich przepływów dobowych występują – w nawiązaniu do reżimu – w sezonach wiosennym i letnim. Jedynym „wspólnym” okresem obserwacji, w odniesieniu do którego można porównać liczebność zdarzeń z przepływami wysokimi ($Q_w > Q_{sr} + 10\sigma$) są lata 1971–1990 (ryc. 4). Zaledwie dwukrotnie zdarzyło się tak, iż w pięciu badanych zlewniach, przepływy wysokie wystąpiły jednocześnie (lata 1973 i 1980). Warto zauważyć, iż w zlewni Cichej Wody, w latach 2001–2006 liczebność zdarzeń z przepływem przekraczającym sumę $Q_{sr} + 10\sigma$ wynosiła aż 8, czyli prawie tyle samo ile w okresie dwudziestolecia 1971–1990 (ryc. 4).

Ta „indywidualność” poszczególnych zlewni zaznacza się także w odniesieniu do przepływów dobowych. Z badań M. Baścik i J. Pociask-Karteczki (2009) wynika, iż współczynniki zmienności wyznaczone zarówno jako stosunek przepływów wysokiego do minimalnego (Q_{max}/Q_{min}), jak również stosunek odchylenia standardowego do średniego przepływu dobowego z wielolecia (σ/Q_{sr}) są na obszarze Tatr bardzo zróżnicowane (tab. 2). Na przykład, choć liczba zdarzeń z przepływami wysokimi Cichej Wody jest znaczna, to zmienność przepływów dobowych Q_{max}/Q_{min} nie jest najwyższa. Największą zmiennością odznacza się natomiast Poroniec. Zaskakujące jest, iż największy współczynnik zmienności c_v ,

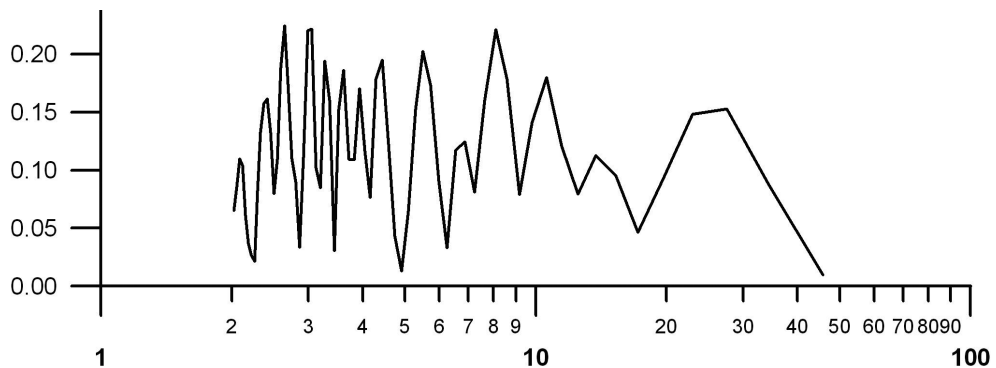
Tabela 4. Liczebność zdarzeń z przepływem przekraczającym sumę $Q_{sr} + 10\sigma$

Table 4. Number of events when $Q_w > Q_{sr} + 10\sigma$

Rzeka River	Liczebność zdarzeń Number of events		Łącznie Total
	1971–1980	1981–1990	
Białka	2	4	6
Poroniec	1	7	8
Cicha Woda	3	6	9
Potok Kościeliski	1	3	4
Czarny Dunajec	3	3	6



Ryc. 4. Hydrogramy odpływu badanych zlewni z wyodrębnionymi przepływami wysokimi przekraczającymi sumę $Q_{sr} + 10\sigma$
Fig. 4. Hydrographs of investigated basins and events of river discharge exceeding $Q_{sr} + 10\sigma$



Ryc. 5. Periodogram przepływów Białki
Fig. 5. Diagram of periodicity of the Białka River runoff

uwzględniający odchylenie standardowe i przepływ średni (σ/SSQ) cechuje Potok Kościeliski, którego zlewnia jest w znacznej mierze zbudowana z utworów węglanowych (tab. 2). Najmniejszym zaś współczynnikiem zmienności c , odznacza się Poroniec, którego zmienność mierzona stosunkiem Q_{max}/Q_{min} wynosi aż 2228,6, co może wskazywać na incydentalność wezbrań.

Cykliczność odpływu

Analiza harmoniczna Lomba-Scargla, którą zastosowano w odniesieniu do ciągów średnich przepływów rocznych wykazała, iż w badanych szeregach czasowych nie występują istotne statystycznie okresowości. Z przeglądu wartości FAP_{max} (wartość FAP dla najwyższej harmoniki w danym periodogramie) oraz A_{FAP10} (wartość oczekiwana amplitudy, dla której $FAP = 10\%$) wynika, że nie można wskazać istotnych okresowości średnich przepływów rocznych mających uzasadnienie w wyznaczonych periodogramach (tab. 5, ryc. 5). Być może ciągi są zbyt krótkie, by możliwe było zidentyfikowanie w nich okresowości. Wynik ten wskazuje jednocześnie na to, że jeżeli nawet są obecne okresowości w badanych szeregach czasowych, to ich udział w wariancji analizowanego sygnału jest niewielki.

Zakończenie i wnioski

Odpływ ze zlewni tatrzańskich należy do najwyższych w Polsce ($40\text{--}50 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$), jednak współczynniki odpływu oraz sezonowa zmienność odpływu z poszczególnych zlewni tatrzańskich jest bardzo zróżnicowana, głównie ze względu na urozmaicone warunki hydrogeologiczne, klimatyczne oraz morfologiczne obszaru.

Reżim rzek tatrzańskich jest reżimem prostym. Kulminacja odpływu przypada na maj – w przypadku rzek w Tatrach Zachodnich oraz na maj i czerwiec – w przypadku rzek w Tatrach Wysokich. Zlewnia obejmująca Tatry Zachodnie i Tatry Wysokie (Cichej Wody) odznacza się najdłuższym okresem wezbraniowym trwającym od maja do lipca. Przepływy wysokie występują głównie w sezonach wiosennym i letnim oraz w większości przypadków nie pojawiają się synchronicznie we

Tabela 5. Wartość wyznaczonej amplitudy maksymalnej w periodogramie (A_{max}) jej FAP (*False Alarm Probability*) oraz wartość oczekiwana amplitudy dla FAP równego 10%

Table 5. The maximum amplitude of the periodogram (A_{max}) and its FAP (*False Alarm Probability*) as well as the expectation amplitude of the periodogram for FAP equal 10%

	$A_{max}[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$	$FAP_{max} [\%]$	$A_{FAP10}[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Białka	0,22	98	0,54
Poroniec	0,31	75	0,62
Cicha Woda	0,35	39	0,46
Potok Kościeliski	0,13	70	0,22
Czarny Dunajec	0,28	49	0,43

wszystkich badanych zlewniach. „Indywidualność” badanych zlewni wyraża się bardzo zróżnicowanymi parametrami opisującymi zmienność przepływów dobowych.

Odpływ w półroczu letnim stanowi od ok. 65 do prawie 80% całkowitego odpływu rocznego, co upoważnia do uznania zlewni tatrzańskich za deficytowe w wodę w okresie zimowym. W przebiegu wieloletnim średnich rocznych przepływów, słabą tendencję rosnącą w latach 1964–2006 wykazuje Cicha Woda, natomiast w przypadku przepływów wysokich rocznych – Potok Kościeliski. W wyniku analizy harmonicznej nie stwierdzono istotnych cykliczności w przebiegu ciągów czasowych średnich przepływów rocznych.

Należy zaznaczyć, iż zlewnia Porońca, ze względu na położenie przekroju zamykającego zlewnię (Poronin), obejmuje swym zasięgiem obszary poza Tatrami i przeprowadzona analiza wskazuje, że nie reprezentuje ona warunków hydrologicznych typowych dla Tatr.

Space-time variability of river runoff in the Tatra Mts.

The Tatra Mts. is the highest mountain massif of the Western Carpathians spreading through southern Poland and northern Slovakia with maximum elevation of 2655 m a.s.l.). Due to the high elevation of the massif, the amount of annual precipitation reaches almost 2000 mm at the highest elevations being the highest precipitation in Poland. Therefore the Tatra Mts. may be considered as the water tower in local scale.

River discharge data sets were analysed for the following rivers: Białka, Poroniec, Cicha Woda, Kościeliski Potok, Czarny Dunajec.

The Tatra streams show a prolonged peak flow as a result of spring snowmelt being extended by summer rain. Almost 80% of water flow out from the Tatra basins during summer season (V-X). Rivers represents the pluvial-nival or nival-pluvial patterns of flow regime. Mean multi-annual specific runoff amounts from 40 to 50 $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. Variability of a daily river runoff in Tatra Mts. is very high; the most dynamic is Poroniec (2228,6) and Cicha Woda (886,4; tab. 2), where variability coefficient is calculated as the quotient of maximum and minimum daily discharges. There are not many events when high discharges Q_w where $Q_w > Q_{sr} + 10\sigma$ occur at the same time. Periodicity of annual river discharges was not stated.

Literatura

- Atlas of the Danubian Countries, 1983. Österreichisches Ost- und Südosteuropa Institut, Wien.
- Bašćik M., Pociask-Karteczka J., 2009. Charakterystyka hydrologiczno-meteorologiczna zlewni tatrzańskich (1961–2000) [w:] Tatrzański Park Narodowy 1955–1977–2004. Długookresowe zmiany w przyrodzie i użytkowaniu obszaru TPN, Konferencja, Zakopane, 21–22 maja 2009, GIS-TPN, (mat. konf., poster).

- Dobija A., 1981. Sezonowa zmienność odpływu w zlewni górnej Wisły, *Prace Geogr. UJ*, 53, 51–112.
- Dynowska I., 1970. Przestrzenne zróżnicowanie współczynnika odpływu rzek polskich w poszczególnych porach roku, *Folia Geogr., ser. Geogr.-Physica*, 4, 23–31.
- Dynowska I., 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce, *Zesz. Nauk. UJ*, 268, *Prace Geogr.*, 28, *Prace Inst. Geograficznego*, 50, ss. 147 (+mapy).
- Gieysztor I., 1961. Studia nad potokami tatrzańskimi. Opady i odpływ na obszarze zlewni Białki i Potoku Kościeliskiego, *Prace Geogr. IGPAN*, 26.
- Figuła K., 1956. Monografia górnego Dunajca, *Prace i Studia Kom. Gosp. Wodn. PAN*, Warszawa.
- Kasina M., Pociask-Karteczka J., Ustrnul Z., Niedbała J. (2008). Extreme hydrological events in the Polish Tatra Mts. under different air circulation patterns [in:] W.W. Chel-micki, J. Siwek (ed.), *Book of abstracts, 12th Biennial Conference of Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins, Hydrological extremes in small basins, September 18–20, Cracow, ERB, IHP/UNESCO North European FRIEND Project 5, IAHS (PUB), IGI GP UJ*, 169–172.
- Łajczak A., 1988. Opady i odpływ w polskich Tatrach w świetle pomiarów wieloletnich, *Czasop. Geogr.*, 59, 2, 137–170.
- Punzet J., 1975. Odpływ średni w dorzeczu Wisły górnej, *Gosp. Wodna*, 2.
- Punzet J., 1978. Zasoby wodne dorzecza górnej Wisły. Przepływy maksymalne, zmienność przestrzenna i prawdopodobieństwo występowania. *Mat. Badawcze IMGW*.
- Stachy J., Biernat B., 1987. Odpływ rzeczny. Średni odpływ jednostkowy [w:] J. Stachy (red.). *Atlas Hydrologiczny Polski*, IMGW, Wyd. Geol., Warszawa, s. 56.
- Wit-Józwick K., 1974. Hydrografia Tatr Wysokich. Objasnienia do mapy hydrograficznej „Tatry Wysokie” 1:50 000, *Dokumentacja Geogr.*, 5.
- Ziemońska Z., Wit K., 1960. Hydrografia Tatr Zachodnich. Objasnienia do mapy hydrograficznej „Tatry Zachodnie” 1:50 000, Kraków.
- Ziemońska Z., 1966. Obieg wody w obszarze górskim na przykładzie górnej części dorzecza Dunajca, *Prace Geogr. IGPAN*, 55, ss. 112.
- Ziemońska Z., 1973. Stosunki wodne w polskich Karpatach Zachodnich, *Prace Geogr. IGPAN*, 103, ss. 127.