INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr II/2/2016, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 557–568
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.2.2.039

OCENA SEZONOWOŚCI WYSTĘPOWANIA PRZEPŁYWÓW NISKICH RZEKI GÓRSKIEJ ZA POMOCĄ WSKAŹNIKÓW COLWELLA

Andrzej Wałęga, Dariusz Młyński
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

ASSESMENT OF SEASONAL OCCURANCE OF MINIMUM FLOW FOR MOUNTAIN RIVER BY COLWELL INDICIES

Streszczenie

W pracy dokonano oceny sezonowości występowania przepływów niskich (*NQ*) wykorzystując wskaźniki Colwella. Analizę przeprowadzono dla rzeki górskiej Kamienica Nawojowska w profilu Łabowa – prawostronny dopływ Dunajca. Dane do obliczeń, w postaci przepływów dobowych z wielolecia 1983 – 2012, pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie. Na podstawie uzyskanych danych wyznaczono podstawowe wskaźniki przepływów niskich oraz wskaźniki Colwella, takie jak przewidywalność (*P*), stałość (*C*) oraz niepewność (*M*). Dodatkowo określono wpływ długości serii obserwacyjnej oraz przyjętej liczebności przedziałów klasowych na kształtowanie się wielkości *P*.

Stwierdzono, że wyznaczony dla przepływów *NQ* wartość wskaźnika *P* na poziomie 43% świadczy o przewidywalności tych przepływów na poziomie poniżej przeciętnej. Przypadkowość stanowi tylko 18% wartości *P*, stąd przepływy te charakteryzują się nieregularną sezonowością. Dodatkowo stwierdzono, że długość serii obserwacyjnej wpływa istotnie na wielkość przewidywalności. Natomiast nie stwierdzono takiej zależności w przypadku zwiększania liczebności przedziałów klasowych stanów analizowanych zjawisk.

Słowa kluczowe: przepływy niskie, wskaźniki Colwella, sezonowość

Abstract

The study was aimed assessment of seasonal occurrence of minimum flow (MF) for Kamienica Nawojowska river in cross-section Łabowa – right side tributary of Dunajec, by Colwell indices. Input data obtained from Institute of Meteorology and Water Management, the National Research Institute in Warsaw, were observation series of daily flows for the years 1983 – 2012. Based on obtained data it was computed the basic indices of minimum flow and the following Colwell's indices: predictability (P), constancy (C) and contingency (M). Moreover it was determined of impact of length record and number of classes discharge on values of P.

Based on calculations it was concluded that determined for MF of Kamienica river in cross-section Łabowa, value of P at 43% shows predictability below average level. The contingency determines value of P only in 18%, hence that flows are characterized by insignificant seasonality. Moreover it was conclude that length of record has significant impact on values of predictability. But for larger numbers of classes discharges, this dependency was not found.

Key words: *minimum flows, Colwell indices, seasonality*

WSTĘP

Jednym z ważniejszych kierunków badań przemian środowiskowych, we współczesnej hydrologii inżynierskiej, stanowią detekcje zmian reżimów hydrologicznych rzek. Obserwacje te, prowadzone w skali globalnej, regionalnej czy też lokalnej, przyczyniły się do rozwoju badań dotyczących zmian charakterystyk hydrometeorologicznych, ich tendencji oraz cykliczności, zachodzących w zlewniach rzecznych. Szczególnie istotnym problemem jest sezonowość odpływu rzecznego, dostępność do zasobów wodnych oraz określenie ich wysokości, trwałości, przewidywalności oraz stabilności reżimu hydrologicznego. Zagadnienia te mają istotne znaczenie nie tylko z naukowego punktu widzenia, lecz także ze względu na gospodarcze, ekonomiczne oraz społeczne konsekwencje destabilizacji reżimu hydrologicznego (Wrzesiński 2009; Fernandez i Sayama 2015; Wrzesiński i Brychczyński 2015).

Zmienność sezonowa odpływu rzecznego stanowi jedną z najważniejszych informacji hydrologicznych, gdyż jest to nie tylko cecha ustroju umożliwiającą identyfikację oraz ocenę reżimu rzeki, lecz także pozwala na właściwe sterowanie działaniami gospodarki wodnej, w odniesieniu do zasobów wodnych danego cieku oraz jego całej zlewni (Parajka i in. 2009). Czasowy reżim hydrologiczny rzek jest funkcją sezonowego zróżnicowania charakte-

rystyk klimatycznych takich jak wysokości opadów czy też wielkości parowania terenowego. Należy również podkreślić istotny wpływ antropopresji, wpływających na procesy zachodzące w zlewniach jak i w samych rzekach (Jokiel i Tomalski 2014; Jokiel i Tomalski 2015).

Obecnie w literaturze można spotkać wiele metod do określania sezonowości odpływu rzecznego. Ich zastosowanie warunkowane jest czynnikami takimi jak skala badanego zjawiska czy też dostępność informacji hydrometrycznej. W Polsce wykorzystywane są metody okresów hydrologicznych (ciągów dni w roku, charakteryzujących się podobieństwem stanów wody w rzece) (Rotnicka 1977), metody koncentracji odpływu i indeksu sezonowości (Jokiel i Bartnik 2001), czy też metody miar stabilności ustroju hydrologicznego i zmienności odpływu rzecznego (Wrzesiński 2013).

W przypadku metod stosowanych na świecie, badania sezonowości reżimu hydrologicznego wykonuje się w odniesieniu do zadanego przepływu progowego (np. przepływ brzegowy lub przepływ zerowy) lub dla pewnych pór roku (np. okresy tarła ryb) (Robertson i in. 2013). Odnosząc się do metod progowych, obecnie nie ma podanych wytycznych do określania wielkości przepływów bazowych. Dokonuje się tego w sposób arbitralny, w zależności od badanych charakterystyk reżimu hydrologicznego. Jako przykłady można podać wyniki badań zaprezentowane w pracach (Puff 1996) czy też (Young 1999), gdzie badano sezonowość przepływów niskich oraz przepływów wezbraniowych.

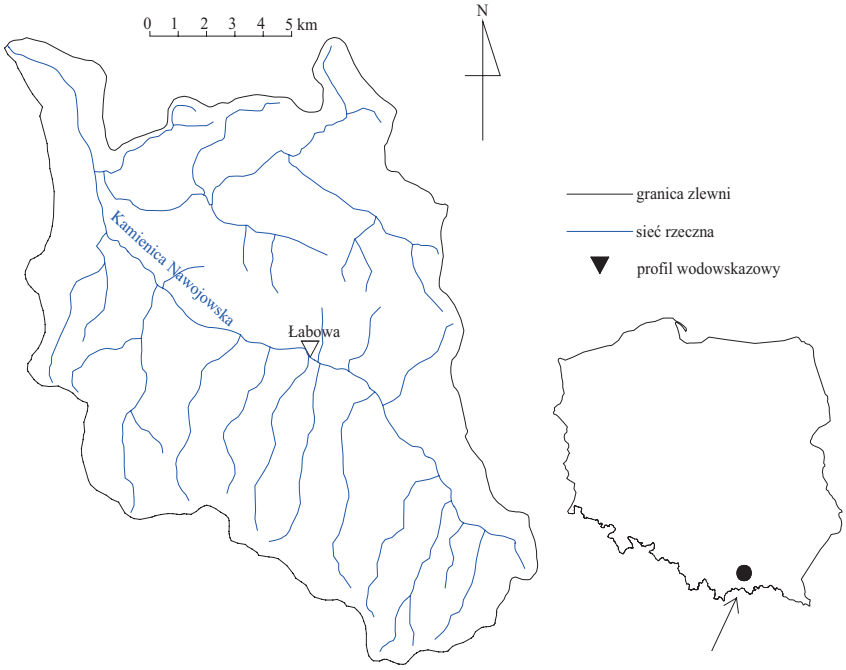
Powszechnie wykorzystywaną na świecie metodą progową do badania sezonowości reżimu hydrologicznego rzek jest są tzw. wskaźniki Colwella lub też ich modyfikacje. Metoda ta wykorzystywana jest do opisywania regularności sezonowości na podstawie przewidywalności (*P*), której składowymi są: stałość (*C*) oraz przypadkowość (*M*) badanych zjawisk fizycznych czy też biologicznych (Kenard i in. 2010).

Mając na uwadze powszechne wykorzystanie na świecie wskaźników Colwella, do predykcji sezonowości reżimu hydrologicznego rzek, za cel niniejszej pracy postawiono analizę możliwości jego wykorzystania do określenia sezonowości przepływów niskich (*NQ*), dla wybranej zlewni górskiej dorzecza górnej Wisły.

CHARAKTERYSTKA OBSZARU BADAŃ

Jako obszar badań przyjęto zlewnię rzeki Kamienica Nowojska, zamkniętą profilem wodowskazowym Łabowa (rysunek 1). Jest to ciek znajdujący się w południowej części Polski, na terenie województwa małopolskiego, w powiecie nowosądeckim. Rzeka ta jest granicą pomiędzy Beskidem Niskim, a Beskidem Sądeckim. Kamienica Nawojowska to prawostronny dopływ Dunajca, a jej długość wynosi 32,3 km. Rzeka ta powstaje z połączenia dwóch potoków

górskich: Krzyżówki i Roztoki. Ze względu na przebieg cieku wzdłuż drogi krajowej, łączącej Nowy Sącz z Krynicą, Kamienica została poddana częściowo regulacji. Natomiast w swoim górnym biegu rzeka zachowała naturalny charakter (Strutyński 2015). Podstawowe charakterystyki fizjograficzne zlewni zamkniętej profilem wodowskazowym Łabowa to: powierzchnia A: 66,1 km^2; długość cieku L: 13,4 km; średni spadek zlewni Ψ: 0,061 (Stachý 1986; Dynowska i Maciejewski 1991).



Rysunek 1. Lokalizacja i sieć rzeczna Kamienicy Nawojowskiej do przekroju Łabowa (źródło: opracowanie własne)
Figure 1. Localization and river network of Kamienica Nawojowska in cross-section Łabowa (source: own elaboration)

METODYKA BADAŃ

Dane do analizy, w postaci serii obserwacyjnej przepływów dobowych (Q_d), obejmujących wielolecie 1983 – 2012, pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie. Na podstawie uzyskanych danych określono wartości przepływów NQ dla każdego miesiąca i roku z analizowanego wielolecia. Wyznaczono następujące wskaźniki opisujące przepływy niskie (Olden i Poff 2003): przepływ najniższy w wielo-

leciu (*NNQ*), przepływ średni niski z wielolecia (*SNQ*), odpływ jednostkowy wyznaczony dla *SNQ* (, przepływy o czasie trwania 75% ($Q_{75\%}$); 90% ($Q_{90\%}$) oraz 99% ($Q_{99\%}$) w wieloleciu wraz z wyższymi, wartości średnie, odchylenia standardowe (s) oraz współczynniki zmienności (V_s) dla przepływów o czasie trwania w wieloleciu 75%; 90% oraz 99% w wieloleciu.

Bazując na uzyskanych danych hydrometrycznych określono wskaźniki Colwella: przewidywalność (P) oraz jej dwa komponenty: stałość (C) oraz przypadkowość (M), na podstawie których wyznaczono sezonowość badanych przepływów. Wskaźniki te przyjmują wartości z przedziału <0;1>. Maksymalna wielkość P jest osiągana w przypadku kompletnej stałości lub przypadkowości. O kompletnej stałości (C = 1) mówimy wówczas gdy dane zdarzenie lub stan przyjmuje takie same wartości dla wszystkich rozpatrywanych sezonów w ciągu roku. Przypadkowość przyjmuje największą miarę (M = 1), w sytuacji gdy dane zdarzenie lub stan przyjmuje różne wartości w rozpatrywanych sezonach roku, lecz wzorzec jest taki sam dla wszystkich lat. Natomiast najmniejszą wartość współczynnika M osiąga się w sytuacji gdy prawdopodobieństwo wystąpienia danego zjawiska lub stanu jest niezależne od sezonu (brak sezonowości) (Chowdhury i Eslamian 2014).

Wyznaczenie wskaźników Colwella dokonuje się w oparciu o matrycę częstości wystąpienia zjawiska, gdzie kolumny opisują okresy, w którym ono wystąpiło, a wiersze to jego stany. Wartości stanów opisane są za pomocą przedziałów klasowych, których liczba przyjmowana jest intuicyjnie. Granice poszczególnych przedziałów wyznaczono wg następującej formuły (Milhous 2012):

$$B = \alpha \cdot C_1 \cdot SNQ \tag{1}$$

gdzie:
α – numer kolejnego przedziału,
SNQ – przepływ średni niski z wielolecia w $m^3 \cdot s^{-1}$,
C_1 – wartość wyznaczana wg wzoru:

$$C_1 = \frac{4{,}4}{n\text{-}1} \tag{2}$$

gdzie:
n – liczba przyjętych przedziałów.
W niniejszej pracy, do analizy wskaźników Colwella przyjęto 12 przedziałów.

Dla matrycy częstości z liczbą t kolumn oraz wierszy (przedziałów) s, niech N_{ij} będzie liczbą lat, dla których wystąpiło dane zjawisko w stanie i oraz czasie j. Wówczas sumę kolumn (X_j), wierszy (Y_j) oraz łączną sumę (Z) można obliczyć jako (Colwell 1974):

$$X_j = \sum_{i=1}^{s} N_{ij} \tag{3}$$

$$Y_j = \sum_{j=1}^{t} N_{ij} \tag{4}$$

$$Z = \sum_i \sum_j N_{ij} = \sum_j X_j = \sum_i Y_i \tag{5}$$

Niepewność w odniesieniu do czasu ($H(X)$), stanu ($H(Y)$) i interakcji czasu i stanu ($H(XY)$) może być obliczona jako :

$$H(X) = -\sum_{j=1}^{t} \frac{X_j}{Z} \log \frac{X_j}{Z} \tag{6}$$

$$H(Y) = -\sum_{i=1}^{s} \frac{Y_i}{Z} \log \frac{Y_i}{Z} \tag{7}$$

$$H(XY) = -\sum_i \sum_j \frac{N_{ij}}{Z} \log \frac{N_{ij}}{Z} \tag{8}$$

Warunkowa niepewność ($H_X(Y)$) w odniesieniu do stanu (w tym samym czasie) może być zdefiniowana jako:

$$H_X(Y) = H(XY) - H(X) \tag{9}$$

Wskaźniki Colwella przyjmują wartości z przedziału (0; 1) i wyznacza się je na podstawie zalezności:

$$P = 1 - \frac{H_X(Y)}{\log(s)} = 1 - \frac{H(XY) - H(X)}{\log(s)} \tag{10}$$

$$C = 1 - \frac{H(Y)}{\log(s)} \tag{11}$$

$$M = \frac{H(X) + H(Y) - H(XY)}{\log(s)} \tag{12}$$

$$P = C + M \tag{13}$$

W niniejszej pracy poszczególne wartości wskaźników Colwella wyznaczono dla serii obserwacyjnej liczącej 30 lat. Uzupełnieniem powyższych badań było określenie wpływu długości serii obserwacyjnej (liczącej odpowiednio 10, 20 oraz 30 lat) oraz przyjętej liczby przedziałów klasowych na kształtowanie się wartości poszczególnych wskaźników.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na podstawie danych hydrometrycznych, w postaci przepływów dobowych rzeki Kamienicy w profilu Łabowa, wyznaczono powszechnie wykorzystywane wskaźniki do opisu przepływów niskich. Wartości tych wskaźników zestawiono w tabeli 1.

Analizując wyniki zestawione w tabeli 1 stwierdzono, że przepływ *NNQ* w wieloleciu 1983-2012, dla rzeki Kamienica utrzymywał się na poziomie 0,09 $m^3 \cdot s^{-1}$ i stanowił on około 30% przepływu *SNQ*. Odpływ jednostkowy, z badanej zlewni, liczony względem *SNQ*, dla analizowanego wielolecia wynosił 1,36 $dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Określone wartości kwantyli przepływów $Q_{75\%}$, $Q_{90\%}$ oraz

$Q_{99\%}$ wskazują na tzw. przepływy gwarantowane, czyli przepływy, które były osiągane lub przekraczane przez zadaną część całego czasu trwania obserwacji (Węglarczyk 2014). Przepływy niskie generalnie opisywane są ostatnią, czwartą częścią rozpatrywanego okresu czasu (75 – 100%). Dla rzeki Kamienica, w badanym wieloleciu $Q_{75\%}$ wynosiło 0,30 $m^3 \cdot s^{-1}$, $Q_{90\%}$ utrzymywało się na poziomie 0,21 $m^3 \cdot s^{-1}$ natomiast $Q_{99\%}$ to 0,12 $m^3 \cdot s^{-1}$. Wyznaczona wartość V_s dla przepływów o gwarancji równej bądź większej od 75, 90 i 99% świadczy o przeciętnej zmienności tych przepływów.

Tabela 1. Wartości analizowanych wskaźników przepływów niskich dla rzeki Kamienica w profilu Łabowa
Table 1. Values of analyzed indicators of minimum flow for Kamienica river in cross-section Łabowa

NNQ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	SNQ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	($dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)	kwantyl (%)	Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	średnia ($m^3 \cdot s^{-1}$)	s ($m^3 \cdot s^{-1}$)	V_s
0,09	0,33	1,36	75	0,30	0,22	0,05	0,24
			90	0,21	0,17	0,03	0,19
			99	0,12	0,11	0,01	0,08

źródło/souroce: opracowanie własne/own elaboration

Pozyskane dane hydrometryczne umożliwiły wyznaczenie wskaźników Colwella, umożliwiających interpretację sezonowości przepływów *NQ* rzeki Kamienicy w profilu Łabowa Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

W celu wyznaczenia wskaźników Colwella rozpatrywane wielolecie podzielono na dwanaście jedno miesięcznych okresów (XI – listopad…X – październik). Każda liczba, przypisana poszczególnym okresom (kolumny) oraz stanom (wiersze) odzwierciedla ilość lat w badanym wieloleciu, dla których osiągany był dany stan przepływów niskich, w rozpatrywanym okresie czasu. W przypadku gdy wartość *P* zbliżona jest do 1, wówczas można wnioskować o równomiernym przepływie w ciągu analizowanych sezonów, z powodu stałości komponentów wpływających na wielkość przewidywalności (Oueslati i in. 2010). Colwell w pracy (1974) wskazuje, że gdy przewidywalność jest w większym stopniu determinowana przez przypadkowość niż stałość, wówczas mówi się o regularnej sezonowości. Wyznaczona na poziomie 0,43 wartość wskaźnika *P* jest determinowana w 82% przez stałość, i mówi o przewidywalności reżimu hydrologicznego Kamienicy na poziomie poniżej przeciętnym. Ponieważ wartość *M* na poziomie 0,07 stanowi tylko 18% przewidywalności, zatem wielkość przepływów *NQ*, jest tylko w niewielkim stopniu determinowana przez dany sezon roku. Stąd stwierdza się o braku regularności w odniesieniu do sezono-

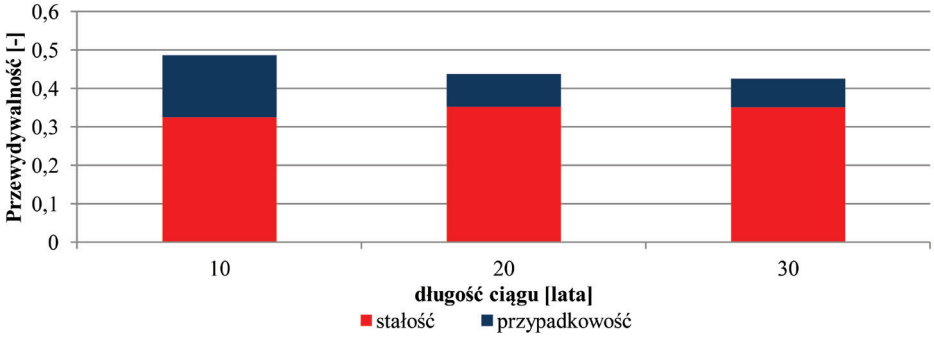
wości badanych przepływów na rzece Kamienica Nawojowska w profilu Łabowa. Tłumaczy się o tym, że w badanym wieloleciu występowały naprzemiennie okresy skrajnie suche oraz wilgotne. Lata 80 minionego stulecia należą do okresu stosunkowo suchego. W tym czasie, na obszarze niemal całej Polski obserwowano istotne obniżenie zwierciadła wód podziemnych, co w konsekwencji przyczyniło się również do zmniejszenia przepływów w rzekach. Należy również zwrócić również uwagę na suszę, która nastąpiła w 1992 roku, powodując zmniejszenie plonów w rolnictwie o 20% (Mioduszewski 2012). Z kolei lata 1997, 1998 oraz 2010 były skrajnie mokre, w których wystąpiły opady prowadzących do katastrofalnych powodzi (Bednarczyk i in. 2006; Ziernicka-Wojtaszek i Kaczor 2013). Analizując tabelę 2 stwierdzono także znaczną zmienność zasobów wodnych w czasie, rzeki Kamienicy. Potwierdzeniem tego jest liczba częstości poszczególnych stanów, w danych okresach czasu. Znacznie częściej przepływy niskie dla przedziałów klasowych o wyższych wartościach występują wiosną, natomiast przepływy *NQ* dla przedziałów klasowych charakterystycznych dla niższych stanów obserwuje się jesienią i zimą. Największe wartości *NQ* występowały w okresie marzec-kwiecień, natomiast najniższe najczęściej obserwowane były w okresie październik-marzec.

Tabela 2. Częstości występować poszczególnych stanów przepływów niskich rzeki Kamienica w przekroju Łabowa, dla wielolecia 1983-2012
Table 2. Frequency of occurrence of state of minimal flow of Kamienica river in cross-section Łabowa

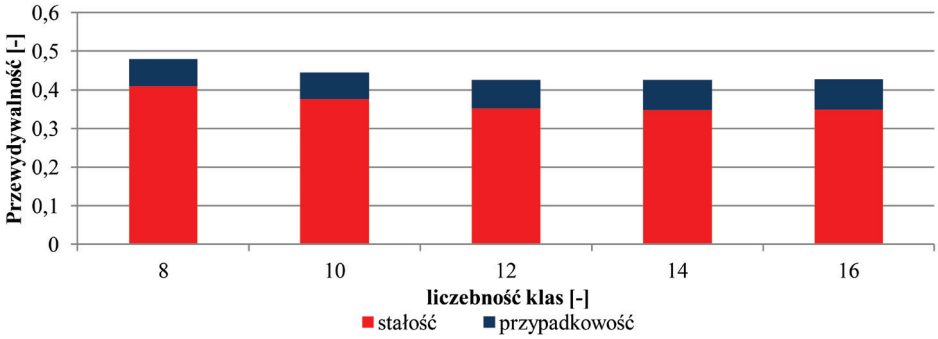
	Stan/miesiąc	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
P = 0,43 C = 0,35 M = 0,07 C/P = 0,82 M/P = 0,18	<0,133	2	6	3	4	3	0	1	0	2	3	1	2
	<0,133; 0,265)	13	11	13	12	5	2	7	8	13	13	20	14
	<0,265; 0,398)	6	5	8	5	9	6	9	9	10	11	7	12
	<0,398; 0,531)	5	4	3	8	6	11	6	8	1	3	1	2
	<0,531; 0,663)	4	2	1	1	5	5	5	3	3		1	
	<0,663; 0,796)		2	2			3	2	1				
	<0,796; 0,929)					1	1		1				
	<0,929; 1,061)					1	1			1			
	<1,061; 1,194)												
	<1,194; 1,326)						1						
	<1,326; 1,459)												
	≥1,459												

źródło/souroce: opracowanie własne/own elaboration

Uzupełnieniem powyższych badań była analiza wpływu długości serii obserwacyjnej oraz przyjętej liczby przedziałów na wielkości wskaźników Colwella. Wyniki zestawiono na rysunkach 2 oraz 3.



Rysunek 2. Wpływ długości serii obserwacyjnej na wielkości wskaźników Colwella (źródło: opracowanie własne)
Figure 2. Impact of record length on values of Colwell indices (source: own elaboration)



Rysunek 3. Wpływ liczebności klas na wielkości wskaźników Colwella (źródło: opracowanie własne)
Figure 3. Impact of number of classes discharge of Colwell indices (source: own elaboration)

Na podstawie wyników zestawionych na rysunku 2 stwierdzono, że największe wartości przewidywalności wyznaczono dla serii obserwacyjnych liczących 10 lat, gdzie $P = 0{,}49$, a najmniejsze dla ciągu liczącego 30 lat, w którym $P = 0{,}43$. Zatem długość serii obserwacyjnej wpływa na wartości analizowanego wskaźnika Colwella. Zjawisko to można tłumaczyć większym prawdopodobieństwem objęcia lat jednorodnych, pod kątem stałości przepływów, krót-

szymi seriami obserwacyjnymi, jak ciągami dłuższymi. Podobne wyniki badań przedstawiono w pracy (Gan i in. 1991). Z kolei z rysunku 3 wynika, że na przewidywalność wpływa liczba przedziałów klasowych, opisujących badane zjawisko. Dla ośmiu przedziałów klasowych wyznaczona wartość *P* wyniosła 0,48, natomiast dla liczby powyżej dziesięciu osiągnęła praktycznie ten sam poziom – oscylujący wokół 0,43. Zwiększanie liczebności przedziałów klasowych powoduje wyznaczanie dodatkowych granic, których wielkości przekraczają zakres badanego zjawiska. Dlatego nie ma to wpływu na wielkość przewidywalności. Natomiast zmniejszenie liczby przedziałów klasowych powoduje ich automatyczne wydłużenie, co przekłada się na zwiększenie ilości obserwacji w określonych granicach przepływu, co istotnie wpływa na kształtowanie się przewidywalności. Potwierdzają to również analizy przedstawione w pracy (Milhous 2012).

WNIOSKI

Na podstawie badań dotyczących sezonowości przepływów niskich rzeki Kamienica w profilu Łabowa, przeprowadzonych za pomocą wskaźników Colwella, można stwierdzić że:

1. Przepływy niskie zaobserwowane na rzece Kamienica Nawojowska charakteryzują się przewidywalnością poniżej przeciętnej, z czego tylko 18% wielkości *P* kształtowane jest przez przypadkowość. Zatem badany ciek charakteryzuje się nieregularną sezonowością. Spowodowane jest to naprzemiennym występowaniem okresów suchych i mokrych w badanym wieloleciu.
2. Największe wartości przepływów niskich wyznaczono dla okresów wiosennych, natomiast najmniejsze dla jesieni i zimy. Potwierdzają to częstości występowania poszczególnych stanów badanego zjawiska w analizowanych porach roku.
3. Długość serii obserwacyjnej istotnie wpływa na wielkość kształtowania się wskaźnika przewidywalności. Natomiast zwiększanie liczby przedziałów klasowych nie wpływa istotnie na wielkość tego wskaźnika.
4. Wskaźniki Colwella stanowią proste i skuteczne narzędzie do określania sezonowości reżimu hydrologicznego rzek. Uzyskane wyniki, w odniesieniu do badanych zjawisk, świadczą że metoda ta może być powszechnie stosowana przy określaniu sezonowości rzek górskich.

LITERATURA

Bednarczyk S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E. (2006). *Vademecum ochrony przeciwpowodziowej*. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Gdańsk.

Chwodhury R. K., Eslamian S. (2014). *Statistical parameters used for assessing hydrologic regime*. (w:) Eslamian S. (red.): Handbook of hydrology. CRC Press, New York.

Colwell R. K. (1974). *Predictability, constancy, and contingency of periodic phenomena***.** Ecology, nr 55, 1148-1153.

Dynowska I., Maciejewski M. (red.) (1991). *Dorzecze górnej Wisły*. PWN, Warszawa-Kraków.

Fernadez R., Sayama T. (2015). *Hydrological recurrence as a measure for large river basin classification and process understanding*. Hydrol. Earth Syst. Sci., nr 19, 1919-1942.

Gan K. C., McMahon T. A., Finlyson B. L. (1991). Journal of Hydrology, nr 123, 105-118.

Jokiel P., Bartnik A. (2001). *Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloleciu 1951-1998*. Wiadomości IMGW, nr 2, 3-17.

Jokiel P., Tomalski P. (2014). *Próba wyznaczenia sezonów hydrologicznych w obrębie rocznych hydrogramów przepływu wybranych rzek środkowej Polski*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. XX, 1-15.

Jokiel P., Tomalski P. (2015). *Sezony hydrologiczne w rzekach środkowej Polski*. Przegląd Geograficzny, nr 87, 71-93.

Kennard M. J., Pusey B. J., Olden J. D., Mackay S. J. (2010). *Classification of natural flow regimes in Australia to support environmental flow management*. Freshwater Biology, nr 55, 171-193.

Milhous R. T. (2012). *Application of the Cowell Index to monthly streamflow analysis*. Conferences materials "Proceedings AGU Hydrology Days", Colorado State University. Mioduszewski M. (2012). *Zjawiska ekstremalne w przyrodzie*. Współczesne Problemy Kształtowania i Ochrony Środowiska, Monografie, nr 3, 57-74.

Olden J. P., Poff N. L (2003). *Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes*. River Res. Applic., nr 19, 101-121.

Poff N. L. (1996). *A hydrogeography of unregulated streams in the United States and an examination of scale-dependence in some hydrological descriptors*. Freshwater Biology, nr 36, nr 71-91.

Robertson D. E., Pokhrel P., Wang Q. J. (2013). *Improving statistical forecasts of seasonal streamflows using hydrological model output.* Hydrol. Earth Syst. Sci., nr 17, 579-593.

Rotnicka J. (1977). *Teoretyczne podstawy wydzielania okresów hydrologicznych i analizy reżimu rzecznego na przykładzie rzeki Prosny.* Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN, XVIII, Poznań.

Stachý J. (red.) (1986). *Atlas hydrologiczny Polski*. IMGW, Warszawa.

Strutyński M. (2015). *Ocena intensywności procesów morfologicznych rzeki Kamienica Nawojowska*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 4, 1097-1107.

Węglarczyk S. (2014). *Krzywe czasu przewyższenia przepływu w zlewni małej Wisły*. Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 145-157.

Wrzesiński D. (2012). *Odpływ rzek w Polsce w różnych fazach oscylacji północnoatlantyckiej*. Badania fizjograficzne, R. I – seria – A, 129-144.

Wrzesiński D. (2013). *Entropia odpływu rzek w Polsce*. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań.

Wrzesiński D., Brychczyński A. (2015). *Zróżnicowanie odpływu rzek w północno-zachodniej Polsce*. Badania fizjograficzne, R. V – seria – A, 261-274.

Young W. J. (1999). *Hydrologic descriptions of semi-arid rivers: an ecological perspective*. (w:) Kingsford R. T. (red.). A free-flowing river: the ecology of the Paroo River. National Parks and Wildlife Service of NSW, Hurstville.

Ziernicka-Wojtaszek A., Kaczor G. (2013). *Wysokość i natężenie opadów atmosferycznych w Krakowie i okolicach podczas powodzi w okresie maj-czerwiec 2010*. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, nr 12, 143-151.

dr hab. inż. Andrzej Wałęga
mgr inż. Dariusz Młyński
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Al. Mickiewicza 24/28 31-059 Kraków
tel.: 12 662 4029; 12 662 4123
e-mail: a.walega@ur.krakow.pl; dariusz.mlynski@gmail.com

Wpłynęło: 11.04.2016
Akceptowano do druku: 20.05.2016