

Wpłynęło 06.09.2016 r.  
Zrecenzowano 25.10.2016 r.  
Zaakceptowano 05.12.2016 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# DYNAMIKA WYSTĘPOWANIA NIŻÓWEK W RZEKACH GÓRSKICH I WYŻYNNYCH NA PRZYKŁADZIE WISŁOKI I GÓRNEGO WIEPRZA CZ. 1. SEZONOWOŚĆ

Katarzyna BARAN-GURGUL<sup>1)</sup> ABCDEF, Krzysztof RACZYŃSKI<sup>2)</sup> ABCDEF

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Hydrauliki i Hydrologii

<sup>2)</sup> Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Hydrologii,

## Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest charakterystyka sezonowości niżówek występujących w rzekach mających zlewnie o różnych warunkach obiegu wody oraz wskazanie okresów o najwyższym stopniu zagrożenia wystąpieniem niżówki. W pracy wykorzystano wartości dobowe przepływów z okresu 01.11.1983–31.10.2013, udostępnione przez IMGW dla 7 przekrojów wodowskazowych umieszczonych na rzekach o charakterze górskim – Wisłoka i jej dopływy oraz 6 przekrojów położonych na rzekach o charakterze wyżynnym w zlewni górnego Wieprza. Do identyfikacji okresów niżówkowych wykorzystano metodę PUT (ang. Peak Under Threshold) z przepływem granicznym wynoszącym  $Q_{70\%}$ . W celu przedstawienia dynamiki sezonowej zastosowano miary sezonowości Markhama oraz analizę współczynników autokorelacji ACF z przesunięciem od 1 do 24 miesięcy. Na podstawie analizy stwierdzono przewagę niżówek w sezonie letnim. Rozkład zjawiska w ciągu roku był zorientowany sezonowo w rzekach górskich, gdzie niżówki kumulowały się głównie w drugiej połowie sezonu letniego. W rzekach wyżynnych rozkład objętości niżówek w ciągu roku był nieco bardziej wyrównany. Zarówno w przypadku rzek górskich, jak i wyżynnych zaobserwowano występowanie dwóch okresów z mniejszą liczbą niżówek (okres wiosenny – przełom marca i kwietnia oraz jesienny – październik–listopad). Zaobserwowano również większą liczbę niżówek w sezonie zimowym na obszarze wyżynnym w rzekach mających zlewnie o większej lesistości, jak też w rzekach górskich mających zlewnie o mniejszej lesistości. Analiza autokorelacji świadczy o występowaniu wyraźnych cykliów półrocznych i rocznych w kształtowaniu się niżówek.

**Słowa kluczowe:** autokorelacja, dynamika roczna, indeks sezonowości, niżówka, sezonowość

---

**Do cytowania For citation:** Baran-Gurgul K., Raczyński K. 2016. Dynamika występowania niżówek w rzekach górskich i wyżynnych na przykładzie Wisłoki i górnego Wieprza. Cz. 1. Sezonowość. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 4 (56) s. 17–31.

## WSTĘP

Niżówką nazywa się okres, w którym przepływy są nie większe od przyjętego wcześniej poziomu granicznego  $Q_g$  [YEVJEVICH 1967; ZIELIŃSKA 1963]. Wystąpienie niżówki rzecznej oznacza zmniejszenie dostępności zasobów wodnych na przykład na cele gospodarcze (np. w przypadku powierzchniowych ujęć wody). Ocena zmienności sezonowej występowania zjawiska stanowi istotny element strategii zarządzania zasobami wodnymi danego obszaru. Dobór poziomu granicznego jest subiektywny i związany z charakterem lub celem danego opracowania [OZGA-ZIELIŃSKA, BRZEZIŃSKI 1997]. Podstawowymi charakterystykami niżówki są: czas trwania, rozumiany jako długość okresu o przepływach mniejszych lub równych przepływowi granicznemu  $Q_g$ , objętość opisująca ilość wody, której w okresie trwania niżówki brakuje do zapewnienia  $Q_g$ , przepływ minimalny oraz średni. Oprócz wartości poszczególnych charakterystyk niżówek, ważna jest także informacja o ich występowaniu w czasie. Analiza dynamiki sezonowej pozwala określić, w jakim okresie w roku najczęściej występują niżówki, kiedy koncentrują się lub też utrzymują się najdłużej, a w których okresach praktycznie nie występują. Taka informacja umożliwi opracowanie strategii zarządzania dostępnymi wodami – od określania okresów, na które należy gromadzić największe zapasy wody, po wyznaczenie okresów najdogodniejszych do ich uzupełniania. Analizę dynamiki niżówek można prowadzić w ujęciu jednorocznym, uzyskując informację o rozkładzie niżówek w ciągu roku oraz w sezonie zima/lato, jak również w okresie wieloletnim. W drugim przypadku uzyskuje się obraz zmienności zasobów wodnych i zmian w cyklu występowania lat suchych i mokrych, a w konsekwencji możliwe jest wypracowanie modelu prognostycznego na przyszłe cykle.

Celem niniejszej pracy jest ocena dynamiki sezonowej występowania niżówek w ciągu roku w rzekach mających zlewnie o różnych cechach fizyczno-geologicznych oraz wskazanie okresów z największymi zagrożeniami wystąpieniem niżówek. W oddzielnej pracy, stanowiącej drugą część badanego zagadnienia [BARAN-GURGUL, RACZYŃSKI 2017], przedstawiono analizy wieloletnie.

## METODY BADAŃ

Ogólną informację dotyczącą rozkładu niżówek w sezonie letnim i zimowym uzyskano na podstawie sezonowego współczynnika  $SWNL$ , niedoboru odpływu niżówkowego wykształconego w sezonie letnim, wyrażonego jako [TOMASZEWSKI 2012]:

$$SWNL = \frac{Vn_L}{Vn_R} 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$V_{nL}$  = suma objętości niżówek półrocza letniego (V–X), tys. m<sup>3</sup>;

$V_{nR}$  = suma objętości niżówek w całym roku, tys. m<sup>3</sup>.

Wartości współczynnika od 0 do 50% świadczą o większym udziale niżówek w okresie zimowym (IX–IV) niż letnim, większe niż 50% – o przewadze niżówek w okresie letnim (V–X),  $SWNL$  równy 100% oznacza brak niżówek w półroczu zimowym, a 50% – równowagę sezonową.

Inną miarą charakteryzującą rozkład sezonowy zjawiska są wskaźniki bazujące na miarach kątowych MARKHAMA [1970]: indeks sezonowości  $IS$  i wskaźnik pory koncentracji  $WPK$ , których sposób przeniesienia na ocenę sezonowości niżówek został zaprezentowany w pracy TOMASZEWSKIEGO [2012]:

$$IS = \frac{|R|}{\sum_{i=1}^{12} |r_i|} 100\% \quad (2)$$

gdzie:

$r_i$  = wektor opisujący objętość niżówek w miesiącu  $i$ ;

$R$  = wektor wypadkowy wektorów  $r_i$ .

Miara  $IS$  opisuje stopień sezonowości występowania niżówek, wartość  $IS$  równa 100% oznacza sezonowe występowanie zjawiska, a 0% – równomierny rozkład niedoborów odpływu w ciągu całego roku. Charakterystyka  $WPK$  wskazuje na czas, w dobach od początku roku, koncentracji (nasilenia) „masy” zjawiska:

$$WPK = \arctg \left( \frac{\sum_{i=1}^{12} |r_i| \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^{12} |r_i| \sin \alpha_i} \right) \frac{365}{360} \quad (3)$$

gdzie:

$\alpha_i$  = kąt nachylenia środka miesiąca  $i$  w odniesieniu do początku roku hydrologicznego.

Wskaźniki te są często stosowane do oceny zmian sezonowych różnych zjawisk (np.: JOKIEL, BARTNIK [2001], TOMASZEWSKI [2001], BARTNIK [2005], STOLARSKA [2008]).

Statystyczne miary sezonowości niżówek w ciągu roku bazują na analizach zależności (korelacji) charakterystyk niżówek między kolejnymi miesiącami roku hydrologicznego oraz analizie funkcji autokorelacji  $ACF$  ciągów przedstawiających czas trwania i objętość niżówki w każdym kolejnym miesiącu badanego okresu. Autokorelacja jest to korelacja szeregu danych ( $X_t$ ) z nim samym, przesuniętym

o określoną liczbę  $k$  obserwacji (zwaną przesunięciem lub opóźnieniem). Autokorelacja zatem wskazuje stopień, w jakim kolejny wyraz w szeregu czasowym zależy od wyrazów go poprzedzających. Funkcja autokorelacji ( $ACF$  – ang. autocorrelation function) przyporządkowuje liczbie  $k$  współczynnik autokorelacji  $\rho_k$  między zmiennymi  $X_t$  i  $X_{t+k}$  [WĘGLARCZYK 2010]:

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(X_t, X_{t+k})}{\sqrt{\text{var}(X_t) \text{var}(X_{t+k})}} \quad (4)$$

Estymator funkcji autokorelacji ma postać:

$$r_k = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}); \quad ACF = \frac{r_k}{r_0} \quad (5)$$

Ocenę zmienności sezonowej występowania niżówek przeprowadzono w odniesieniu do rzek mających zlewnie o odmiennych cechach środowiska – Wisłoka i jej dopływy po przekrój Łabuzie (7 przekrojów wodowskazowych) i Wieprz z dopływami do przekroju w Krasnymstawie (6 przekrojów wodowskazowych) – rysunek 1. Charakterystyki niżówek obliczono za pomocą metody PUT (ang. Peak Under Threshold), przyjmując za przepływy graniczne przepływy dobowe o prawdopodobieństwie przewyższenia 0,7 ( $Q_{70\%}$ ), odczytane z krzywych czasu przewyższenia przepływu. Dodatkowo przyjęto minimalny czas trwania niżówki równy



Rys. 1. Lokalizacja przekrojów wodowskazowych w zlewniach badawczych; źródło: opracowanie własne na podstawie: JARVIS i in. [2008]; MPHP10 [niedatowane]

Fig. 1. Localization of gauging stations in study area; source: own elaboration based on: JARVIS *et al.* 2008; MPHP10 [niedatowane]

7 dni oraz okres przewyższenia przepływu granicznego nie dłuższy niż 3 dni za podstawę do łączenia epizodów w zdarzenia zależne [FLEIG i in. 2006; SUNG, CHUNG 2014]. Podstawę opracowania stanowiły ciągi wartości przepływów dobowych dla każdego przekroju wodowskazowego, zaobserwowane i udostępnione przez IMGW z okresu 01.11.1983–31.10.2013.

Górny Wieprz (do przekroju w Krasnymstawie) jest położony na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu. Rzeka ma charakter wyżynny, doliny w zlewni są głęboko wcięte, co przyczynia się do występowania dużych spadków zboczy i nasilania spływów wody [WILGAT 1998]. Spadki podłużne cieków nie przekraczają jednak 0,2% (tab. 1). Utwory czwartorzędowe występują głównie w dolinach rzek i lokalnych zagłębieniach terenu, a na wierzchowinach podłoże zbudowane jest w przeważającej części z lessów. W krążeniu wody podziemnej decydują systemy spękań istniejące w skałach górnej kredy [MARUSZCZAK 1972; MICHALCZYK i in. 1996]. W strukturze użytkowania gruntów dominują użytki rolne (nawet do 80% powierzchni zlewni cząstkowych) oraz lasy, zwłaszcza w części południowej. Na ba-

**Tabela 1.** Podstawowe parametry zlewni cząstkowych

**Table 1.** Basic parameters of study catchments

Przekrój wodowskazowy Gauging station	Rzeka River	Powierzchnia zlewni Catchment area $A$ , km <sup>2</sup>	Rzędna zera wodowskazu Gauging station elevation $H_w$ , m. n.p.m. m a.s.l.	Rzędna źródła Source elevation $H_z$ , m. n.p.m. m a.s.l.	Spadek cieków River slope $I$ , %	Lesistość Afforestation $L$ , %
<b>Zlewnia Wisłoki Wisłoka River catchment</b>						
Gorlice	Sękówka	121	279	738	2,0	68
Zboiska	Jasiołka	264	312	760	1,2	64
Kłęczany	Ropa	483	259	790	1,0	56
Żółków	Wisłoka	581	224	575	0,6	57
Topoliny	Ropa	969	225	790	0,7	38
Krajowice	Wisłoka	2 092	213	575	0,6	44
Łabuzie	Wisłoka	2 546	188	575	0,4	40
<b>Zlewnia górnego Wieprza Upper Wieprz River catchment</b>						
Orłów Drewniany	Wolica	369,8	180,7	253	0,19	21
Zwierzyniec	Wieprz	389,6	218,5	278	0,14	45
Krzak	Łabuńka	426	190,6	223	0,11	14
Zakłodzie	Por	541,9	196,1	255	0,16	25
Wirkowice	Wieprz	1991	184,7	278	0,11	20
Krasnystaw	Wieprz	2997	173,9	278	0,09	17

Źródło: opracowanie własne na podstawie: MPHP10 [niedatowane], UJDA [1969], CZARNECKA [1983], MICHALCZYK i in. [2001], EEA CORINE LAND COVER [2013].

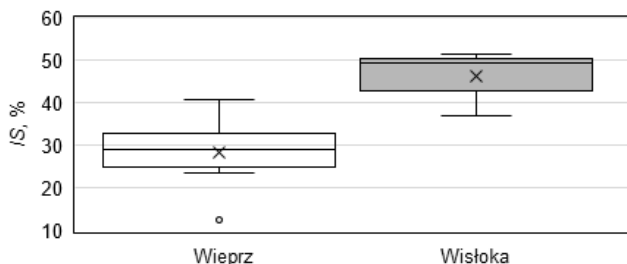
Source: own elaboration based on: MPHP10 [niedatowane], UJDA [1969], CZARNECKA [1983], MICHALCZYK *et al.* [2001], EEA CORINE LAND COVER [2013].

danym obszarze średnio rocznie występuje 650 mm opadów atmosferycznych [MICHALCZYK i in. 2001]. Zasoby wód gruntowych uzupełnianie są głównie z wód roztopowych na przełomie marca i kwietnia.

Wisłoka położona jest na obszarze Beskidów Środkowych, Pogórza Środkowobeskidzkiego i Kotliny Sandomierskiej. Jest to rzeka o charakterze górskim, mająca swoje źródła na wysokości ok. 600 m n.p.m. [DYNOWSKA, MACIEJEWSKI 1991]. Spadki cieków dochodzą do 2% (tab. 1). Budowa geologiczna zlewni charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem, podobnie jak i spadki terenu. Lasy zajmują od 38 do 68% całkowitej powierzchni, pozostała część obszaru przeznaczona jest głównie pod użytki rolne. Średni roczny opad w zlewni sięga 774 mm [CEBULSKA i in. 2013].

## WYNIKI BADAŃ

Miary sezonowości niżówek w badanych rzekach cechują się dużą zmiennością. W rzekach wyżynnych wartości indeksu sezonowości  $IS$  przyjmują wartości w zakresie 25–41%. W rzekach górskich stopień sezonowości niżówek jest większy, indeks przyjmuje wartości nawet do 51% (rys. 2). W zlewniach wyżynnych górnego Wieprza wartości indeksu wskazują na większą dyspersję roczną zjawiska.

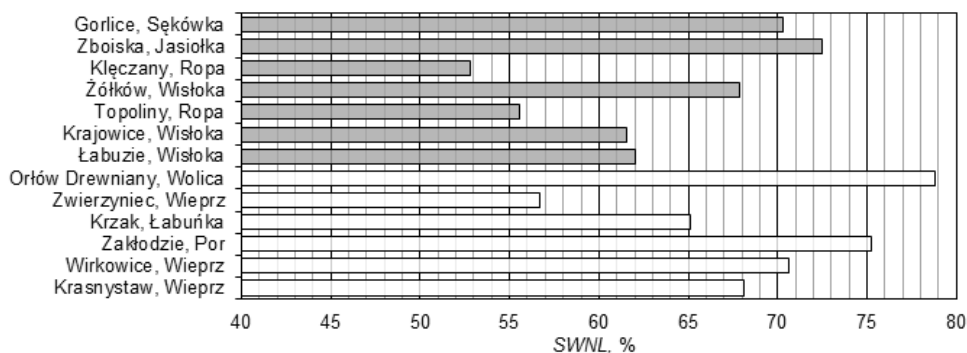


Rys. 2. Indeks sezonowości  $IS$  w zlewniach Wieprza i Wisłoki; pudełko: zakres zmienności ograniczony 1. i 3. kwartylem, wewnątrz mediana, wąsy: zakres nieodstających w obrębie 1 odchylenia międzykwartylowego, ° wartości odstające do 1,5 odchylenia międzykwartylowego; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Seasonality index  $IS$  in catchments of Wieprz and Wisłoka rivers; box: range between 1. and 3. quartile, median inside, whiskers: range limited by 1 quartile deviation, outliers under 1.5 quartile deviation; source: own study

Udział niżówek w sezonie letnim w obu zlewniach jest zbliżony, średnio wynosi 69% w odniesieniu do zlewni górnego Wieprza i 63% – Wisłoki. Najmniejszy udział niżówek w tym okresie, na granicy równowagi sezonowej (50%), zaobserwowano w przekrojach Zwierzyniec i Klęczany, co odpowiadało również minimum wartości indeksów  $IS$  sezonowości niżówek. Zlewnie górskie charakteryzują

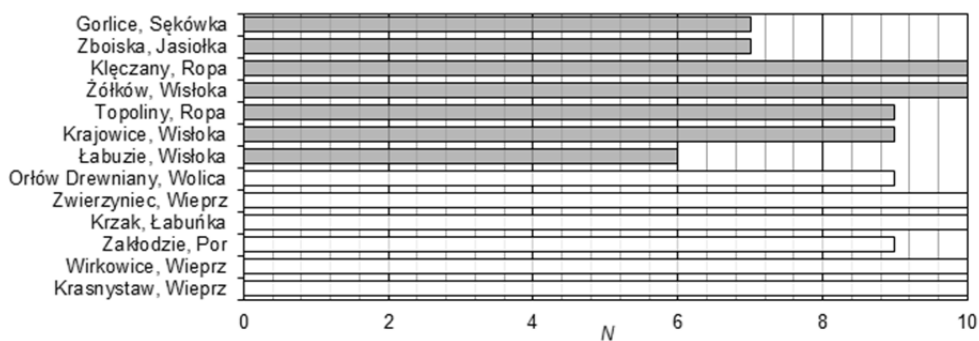
się większą zmiennością wartości współczynnika *SWNL* (rys. 3), minimum występujące w przekrojach Topoliny i Kłęczany nie przekraczało 60%.



Rys. 3. Udział objętości niżówek sezonu letniego *SWNL* w całkowitej objętości wszystkich niżówek w poszczególnych przekrojach wodowskazowych; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Volume of summer season low flows *SWNL* in the total volume of all episodes in studied gauging sections; source: own study

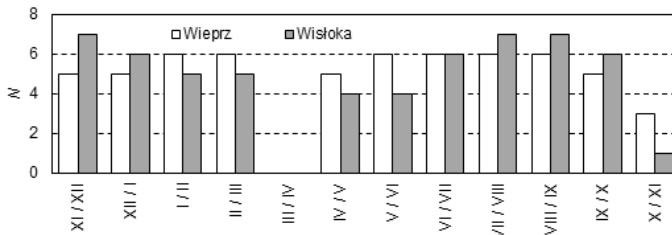
Analiza współczynników korelacji objętości niżówek w Wieprzu i jego dopływach w sąsiednich miesiącach w roku wykazała większą liczbę statystycznie istotnych współczynników korelacji (9–10, na poziomie istotności  $\alpha = 5\%$ .) niż w rzekach górskich – Wiśloka i jej dopływy (w Łabuziu zaobserwowano tylko 6) – rysunek 4.



Rys. 4. Liczba istotnych korelacji *N* między objętością niżówek w rzekach w zlewni Wieprza i Wiśloki w kolejnych miesiącach w poszczególnych przekrojach wodowskazowych; źródło: wyniki własne

Fig. 4. The number of significant correlations *N* between the volumes of low flows in rivers of Wieprz and Wiśloka catchments in the coming months in gauging sections; source: own study

Rozkład roczny współczynników korelacji objętości niżówek w sąsiednich miesiącach wskazuje na wysoką współzmiennność parametrów, zarówno w rzekach w zlewni Wisłoki, jak i Wieprza. W obu typach rzek występują dwa okresy małego podobieństwa miesięcznego: wiosną (marzec/kwiecień) i jesienią (październik/listopad) – rysunek 5. Największe podobieństwo objętości niżówek w większości rzek występuje latem, między czerwcem a wrześniem, jednak przebieg tych współczynników w ciągu roku jest inny – w rzekach w zlewni Wieprza „przejścia” między miesiącami są bardziej płynne niż w górskich rzekach w zlewni Wisłoki. W niektórych przekrojach wodowskazowych (głównie na rzekach w zlewni Wisłoki) obliczono także ujemne współczynniki korelacji (rys. 6), świadczące o istotnych zmianach w stosunkach wodnych, mających wpływ na niżówkę (zwiększeniu objętości niżówki w danym miesiącu towarzyszy zmniejszenie w kolejnym).



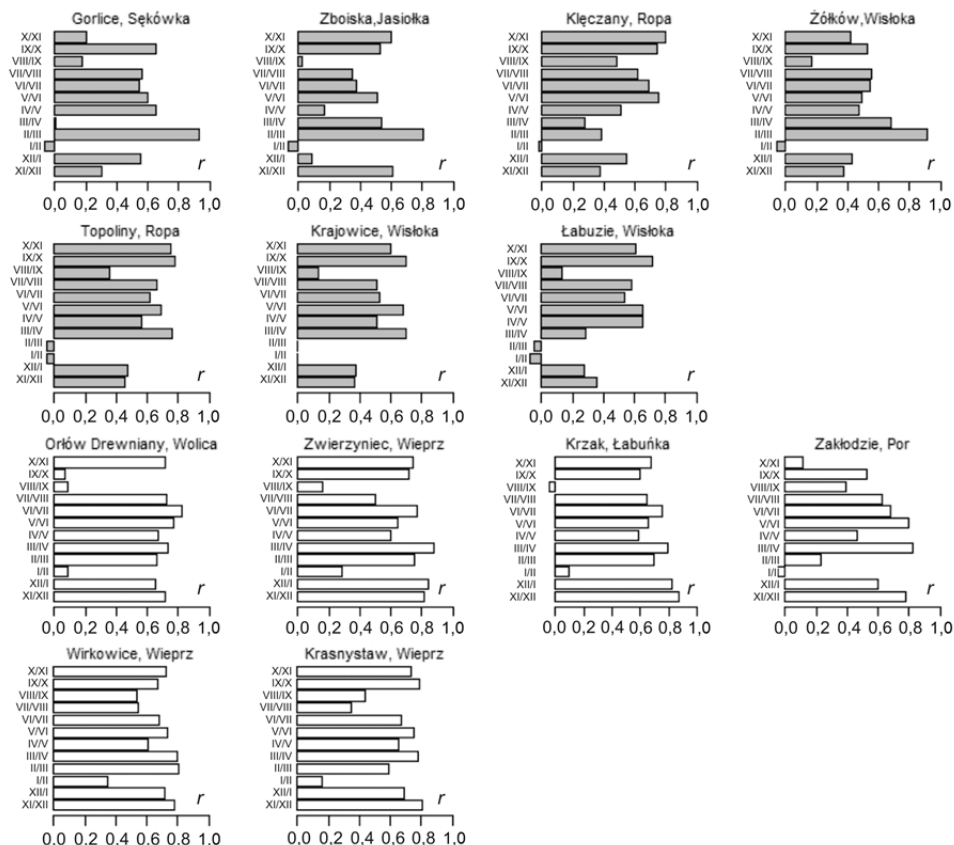
Rys. 5. Rozkład w roku liczby istotnych korelacji  $N$  między objętością niżówek w rzekach w zlewni Wieprza i Wisłoki w sąsiadujących miesiącach; źródło: wyniki własne

Fig. 5. Distribution of the number of significant correlations  $N$  between the volumes of low flows in rivers in Wieprz and Wisłoka catchments in adjacent months; source: own study

Na podstawie analizy pory koncentracji niedoborów odpływu w czasie niżówek w okresie badawczym stwierdzono blisko miesięczne przesunięcie w rzekach górskich w odniesieniu do wyżynnych (rys. 7). W Wieprzu i jego dopływach niżówki koncentrują się w okresie od połowy lipca do połowy sierpnia. Jest to okres letni, w którym występują wysokie temperatury oraz intensywna ewapotranspiracja, a wody opadowe są w dużej mierze transformowane w spływ powierzchniowy. Prowadzi to do przewagi drenowania zasobów wód podziemnych nad ich uzupełnianiem, a to z kolei do występowania niedoborów wody w tym okresie. W rzekach górskich niżówki koncentrują się w okresie od połowy września do końca października.

Aby określić długość „pamięci sezonowej” charakterystyk niżówek, obliczono współczynniki autokorelacji miesięcznych szeregów charakterystyk niżówek, z przesunięciem od 1 do 24. We wszystkich przypadkach wartości współczynników  $AR1$  autokorelacji rzędu pierwszego – zarówno dla czasów  $T_M$  trwania, jak i dla objętości  $V_M$  niżówek były istotne (na poziomie istotności  $\alpha = 5\%$ ). Średnie wartości tych współczynników dla poszczególnych charakterystyk niżówek były większe w rzekach wyżynnych (zlewnia Wieprza) niż górskich (zlewnia Wisłoki) – rysunek 8.



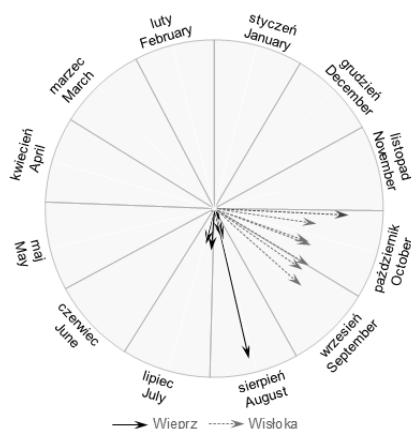


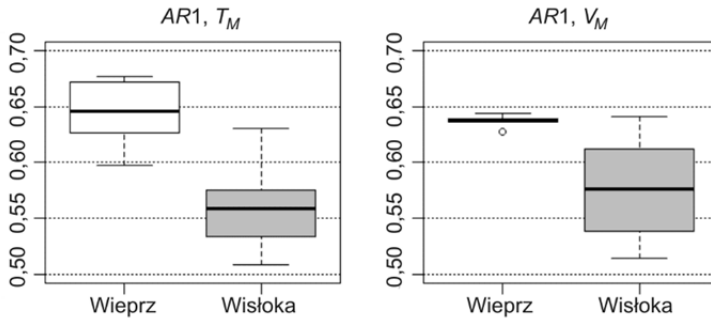
Rys. 6. Rozkład w roku współczynników korelacji  $r$  między objętością nízówek w poszczególnych przekrojach wodowskazowych w sąsiadujących miesiącach; źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Distribution of the correlation coefficients  $r$  between the volumes of low flows in adjacent months in gauging sections; source: own study

Rys. 7. Wektory pory koncentracji niedoborów odpływu w zlewniach Wieprza i Wisłoki; źródło: wyniki własne

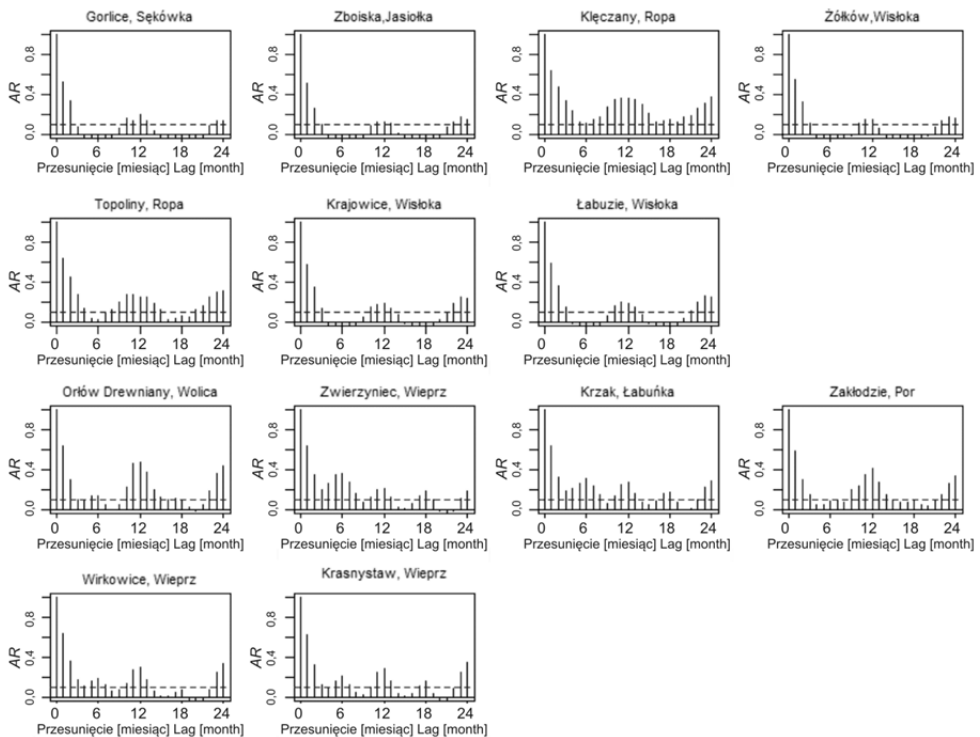
Fig. 7. Vectors of low flows volume concentration time in Wieprz and Wisłoka catchments; source: own study





Rys. 8. Wartość współczynników autokorelacji pierwszego rzędu  $AR1$  czasów  $T_M$  trwania i objętości  $V_M$  niżówki w rzekach w zlewni Wieprza i Wisłoki; źródło: wyniki własne

Fig. 8. Values of autocorrelation coefficients  $AR1$  of duration  $T_M$  and  $V_M$  volume of low flows in rivers in Wieprz and Wisłoka catchments; source: own study



Rys. 9. Funkcje autokorelacji  $ACF$  dla objętości niżówek w poszczególnych przekrojach wodowskazowych;  $AR$  = współczynnik autokorelacji; źródło: wyniki własne

Fig. 9.  $ACF$  functions for low flows volumes in gauging sections;  $AR$  = autocorrelation coefficient; source: own study

Na podstawie współczynnika autokorelacji rzędu pierwszego można ocenić, jak kolejny wyraz w szeregu czasowym zależy od wyrazu go poprzedzającego. Obliczając współczynnik autokorelacji przy większych przesunięciach, można ocenić pamięć poprzednich charakterystyk niżówki w szeregu miesięcznych charakterystyk. Z przeprowadzonych badań odnoszących się do objętości niżówki wynika, że przeciętna długość okresu, w którym przenoszone są informacje o danej charakterystyce niżówki, wynosi ok. 6 miesięcy (rys. 9). Można zaobserwować wyraźny rytm półroczny i roczny. Badane zlewnie reagują w różny sposób na zmiany pór roku. W górnym Wieprzu i rzekach dopływających do niego do przekroju w Krasnymstawie i niektórych rzekach w zlewni Wisłoki (Ropa – przekroje Klęczany, Topoliny) zmiany współczynników autokorelacji są płynne, a w innych (np. Jasiołka – Zboiska czy Sękówka – Gorlice) współczynniki autokorelacji zmieniają swój znak.

## DYSKUSJA

Na podstawie oceny dynamiki sezonowej charakterystyk niżówki w rzekach górskich i wyżynnych można stwierdzić zbliżony charakter sezonowy. Udział objętości epizodów z okresu letniego był zbliżony w obu typach rzek i wskazywał na około dwukrotną przewagę nad objętością z okresu zimowego. Jest to zależność wpisująca się w ogólny trend występowania niżówek w Polsce w okresie letnim, wykazany w pracach wielu autorów (np. MIODUSZEWSKI i in. [2004], TOMASZEWSKI [2012], KAZNOWSKA [2012], BARTCZAK i in. [2014]), jednak odwrotna niż uzyskane w badaniach prowadzonych na potokach górskich, gdzie zazwyczaj przeważały niżówki z sezonu zimowego [KOSTUCH 2004; RACZYŃSKI 2015]. Większy, ale nie przeważający, udział niedoborów odpływu można zauważyć w okresie zimowym w rzekach o charakterze wyżynnym, o mniejszych spadkach podłużnych. Również wartości indeksu sezonowości wskazują na bardziej równomierny rozkład niżówek w ciągu roku w rzekach wyżynnych. Taka sytuacja może być związana z głębokością występowania wód gruntowych i przemarzania gruntu. W wyniku analizy kształtowania się niżówek w kolejnych miesiącach roku stwierdzono występowanie dwóch okresów o niskim podobieństwie miesięcznym: wiosną (na przełomie marca i kwietnia) oraz jesienią (październik/listopad). Podobną prawidłowość uzyskał TOMASZEWSKI [2012] w badaniach prowadzonych na rzekach środkowej Polski, gdzie również w okresie wiosennym i późnojesiennym podobieństwo nie występowało. Istotną informację stanowi pora koncentracji niedoborów odpływu, która w zlewniach górskich przypada na drugą połowę września oraz październik. W kolejnym miesiącu, listopadzie, następuje znaczne zmniejszenie objętości niżówek. Świadczyć to może o dużej roli opadów występujących jesienią w górach w procesie uzupełniania zasobów wodnych, prowadzących do szybkiego zaniku zjawiska niżówki. Na obszarze Wyżyny Lubelskiej główną rolę w zasilaniu i odbudowie zasobów wodnych stanowią opady półrocza zimowego

(od listopada do kwietnia), w tym szczególnie wody roztopowe, w związku z czym rozkład niedoborów odpływu jest nieco bardziej wyrównany w ciągu roku. Również niedobory odpływu wykształcają się nieco wcześniej i koncentrują głównie w sierpniu, po miesiącu, w którym notuje się najwyższe opady. Wpływ na to może mieć rolniczy charakter zlewni. Wysoka temperatura sprzyja ewapotranspiracji i w konsekwencji występuje brak warunków do retencjonowania wody, zwłaszcza do uzupełniania zasobów [MICHALCZYK 2004]. Zwiększenie stopnia drenowania zasobów wód podziemnych prowadzi do nasilenia zjawiska niżówki w rzekach na rozpatrywanej wyżynie. Równowaga sezonowa w odniesieniu do objętości niżówek zostaje zachowana tylko w południowym odcinku Wieprza w przekroju Zwierzyniec oraz w dopływach Wisłoki (rzeka Ropa w przekroju w Topolinach). Co ciekawe, w przypadku zlewni rzeki wyżynnej występuje największa lesistość, a w zlewni rzeki górskiej – lesistość jest najmniejsza. KOSTUCH [2004] w wyniku badań przeprowadzonych w dwóch potokach górskich zauważył, że w rzekach mających zlewnie o mniejszej lesistości udział objętości niżówek z okresu letniego jest większy. Zależność ta jest prawdziwa również dla badanych rzek wyżynnych, jednak opracowane przez autorów niniejszej pracy charakterystyki sezonowe w rzekach górskich są odwrotne od podawanych w literaturze. Analiza autokorelacji wyraźnie wskazała rytm sezonowy i roczny, płynne przejścia między kolejnymi miesiącami, jednak w niektórych zlewniach górskich stwierdzono również ujemne współczynniki autokorelacji, co może być spowodowane mniejszą sezonowością zasilania atmosferycznego na tym obszarze [WIBIG 2012].

## WNIOSKI

Niezależnie od typu fizyczno-geologicznego obszaru, w badanych rzekach przeważają niżówki sezonu letniego. Niewielki wzrost liczby epizodów w okresie zimowym zaobserwowano w rzekach o charakterze wyżynnym.

Niżówek nie obserwuje się w okresach intensywnego uzupełniania zasobów wodnych zlewni, tj. wiosną w okresie roztopów (marzec–kwiecień) oraz jesienią w czasie intensywnych opadów (październik–listopad).

Koncentracja „masy” niedoborów odpływu związanych z wystąpieniem niżówki na cieku przypada na sierpień w przypadku rzek wyżynnych oraz przełom września i października dla rzek górskich.

W rzekach na obszarze wyżynnym obserwuje się wzrost udziału niżówek okresu zimowego wraz ze wzrostem lesistości obszaru. W zlewniach południowych o lesistości sięgającej 45% dochodzi do względnego wyrównania udziałów sezonowych niżówek. W przypadku badanych rzek górskich zależność ta jest odwrotna.

W badanych rzekach występują wyraźne rytmy sezonowe występowania niżówek, tym mniej wyraźne, im mniejszy jest stopień sezonowości zasilania atmosferycznego, zwłaszcza w rzekach górskich.

Praca została wykonana w ramach zadań badawczych: „Wpływ czynników antropogenicznych na ilościowe i jakościowe właściwości procesów hydrologicznych w zlewni, zadanie 3: Analiza własności niżówek w obszarze karpackim zlewni Górnej Wisły”, realizowanego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej oraz „Niżówki wybranych rzek Lubelszczyzny”, realizowanego na Wydziale Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

## BIBLIOGRAFIA

- BARAN-GURGUL K., RACZYŃSKI K. 2017. Dynamika występowania niżówek w rzekach górskich i wyżynnych na przykładzie Wisłoki i górnego Wieprza. Cz. 2. Zmienność wieloletnia. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 17. Z. 1 (57).
- BARTCZAK A., GLAZIK R., TYSZKOWSKI S. 2014. Identyfikacja i ocena intensywności okresów suchych we wschodniej części Kujaw [Identification and evaluation of the intensity of dry periods in eastern part of Kujawy]. Nauka Przyroda Technologie. T. 8. Z. 4 #46 s. 1–22.
- BARTNIK A. 2005. Odpływ niski w Polsce [Low flows in Poland]. Acta Geographica Lodziensia. Nr 91. ISSN 0065-1249 ss. 95.
- CEBULSKA M., SZCZEPANEK R., TWARDOSZ R. 2013. Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady średnie roczne (1952–1981) [The spatial distribution of precipitation in the upper basin of the Vistula River. Mean annual precipitation (1952–1981)]. Kraków. WIŚ PK IGiP UJ. ISBN 978-83-88424-91-5 ss. 84.
- CZARNECKA H. (red.) 1983. Podział hydrograficzny Polski [Hydrographic division of Poland]. Warszawa. IMGW ss. 924.
- DYNOWSKA I., MACIEJEWSKI M. (red.) 1991. Dorzecze górnej Wisły – monografia [The upper basin of the Vistula River – monograph]. Cz. I. Warszawa–Kraków. PWN. ISBN 83-01-10317-5 ss. 341.
- FLEIG A., TALLAKSEN L., HISDAL H., DEMUTH S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. Hydrology and Earth System Sciences. No 10 s. 535–552.
- IMGW 2015. Przepływy dobowe dla wybranych posterunków wodowskazowych za okres 01.11.1983–31.10.2013, dane cyfrowe [Daily flow data for chosen gauging stations from 01.10.1983 to 31.10.2013, digital data].
- JARVIS A., REUTER H.I., NELSON A., GUEVARA E. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4 [online]. [Access 15.07.2016]. Available at: <http://strm.csi.cgiar.org>
- JOKIEL P., BARTNIK A. 2001. Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloletnim okresie 1951–1988 [Changes in the seasonal distribution of runoff in central Poland in a multi-year period 1951–1988]. Wiadomości IMGW. Z. 2 s. 3–17.
- KAZNOWSKA E. 2012. Wieloletnie tendencje w kształtowaniu się wybranych charakterystyk niżówek w zlewni Zagożdżonki [Long-term trend of shaping selected characteristics of streamflow droughts in the Zagożdżonka catchment]. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 3/IV s. 215–227.
- KOSTUCH M. 2004. Charakterystyka niżówek w potokach górskich w zlewniach o różnej lesistości [Low waters characteristics of the mountain streams in variously forested catchments]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 4. Z. 2a(11) s. 63–71.
- MARKHAM C.G. 1970. Seasonality of precipitation in the United States. Annals of the Association of American Geographers. Vol. 60. Iss. 3 s. 593–597.
- MARUSZCZAK H. 1972. Wyżyny Lubelsko-Wołyńskie. W: Geomorfologia Polski [Lubelsko-Wołyńska Upland. In: Geomorphology of Poland]. T. 1. Pr. zbior. Red. M. Klimaszewski. Warszawa. PWN s. 340–384.

- MICHALCZYK Z. 2004. Rola obszarów wiejskich w tworzeniu i wykorzystaniu zasobów wodnych w Polsce [The role of rural areas in the formation and utilisation of water resources in Poland]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 4. Z. 2a(11) s. 13–24.
- MICHALCZYK Z. (red.) 1996. Źródła województwa lubelskiego. Wydajność i parametry fizykochemiczne w 1996 roku [Springs in Lublin region. Efficiency and physico-chemical characteristics in year 1996]. Lublin. Biblioteka Monitoringu Środowiska ss. 238.
- MICHALCZYK Z. (red.) 2001. Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza [Springs in Lublin Upland and Roztocze]. Lublin. Wydaw. UMCS. ISBN 832271825X ss. 298.
- MIODUSZEWKI W., GAJEWSKI G., BIESIADA M. 2004. Zróżnicowanie stosunków wodnych w dolinie Narwi w granicach Narwiańskiego Parku Narodowego [Analysis of water conditions in the Narew River valley within the Narew National Park]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 4. Z. 2a(11) s. 39–50.
- MPHP10 [niedatowane]. Mapa podziału hydrograficznego Polski (MPHP) w skali 1:10000, nr lic. 12/N/MPHP10/2015.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J. 1997. Hydrologia stosowana [Applied hydrology]. Wyd. II. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 8301121947 ss. 324.
- RACZYŃSKI K. 2015. Niżówki w zlewni górnej Raby w latach 1971–1981 [Streamflow droughts in upper Raba River catchment in years 1971–1981]. Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Vol. 17 s. 73–81.
- STOLARSKA M. 2008. Sezonowe zmiany zasobów i podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w małej zlewni nizinnej [Seasonal changes of water resources and basic physico-chemical characteristics of water in small lowland catchment]. Acta Geographica Lodziensia. Nr 94. Łódź. Łódzkie Towarzystwo Naukowe. ISSN 0065-1249 ss. 97.
- SUNG J., CHUNG E. 2014. Development of streamflow drought severity-duration-frequency curves using the threshold level method. Hydrology and Earth System Sciences. No 18 s. 3341–3351.
- TOMASZEWSKI E. 2001. Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990 [Seasonal changes of groundwater flow in Poland in the period 1971–1990]. Acta Geographica Lodziensia. Nr 79. Łódź. Łódzkie Towarzystwo Naukowe. ISSN 0065-1249 ss. 149.
- TOMASZEWSKI E. 2012. Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski [Multiannual and seasonal dynamics of low flows in rivers of central Poland]. Łódź. Wydaw. UŁ. ISBN 9788375257717 ss. 265.
- UJDA K. (red.) 1969. Wodowskazy na rzekach Polski. Cz. 2. Wodowskazy w dorzeczu Wisły i na rzekach Przymorza na wschód od Wisły [Gauging stations on rivers in Poland. P. 2. Gauging stations in the Vistula drainage basin and on rivers in Przymorze at the east of the Vistula River]. Warszawa. PIHM, WKiŁ ss. 478.
- WĘGLARCZYK S. 2010. Statystyka w inżynierii środowiska [Statistics in environmental engineering]. Kraków. PKrak. ISBN 9788372425393 ss. 375.
- WIBIG J. 2012. Warunki wilgotnościowe w Polsce w świetle wskaźnika standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego [Moisture conditions in Poland in view of the *SPEI* index]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 s. 329–340.
- WILGAT T. 1998. Wody Lubelszczyzny. Seria: Środowisko Przyrodnicze Lubelszczyzny [Waters of Lublin region. Ser. Natural Environment of Lublin region]. Lublin. LTN. ISBN 83-87833-01-0 ss. 76.
- YEVJEVICH V. 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology Papers. No 23. Fort Collins: Colorado State University ss. 25.
- ZIELIŃSKA [OZGA-ZIELIŃSKA] M. 1963. Statystyczne metody opracowania niżówek [Statistical method of low flows development]. Przegląd Geofizyczny. Z. 1–2 s. 75–87.

Katarzyna BARAN-GURGUL, Krzysztof RACZYŃSKI

**DYNAMICS OF LOW FLOWS IN MOUNTAIN AND UPLAND RIVERS  
ON EXAMPLE OF WISŁOKA AND UPPER WIEPRZ RIVERS.  
1. SEASONALITY**

**Key words:** *annual dynamics, autocorrelation, low flow, seasonality, seasonality index*

**S u m m a r y**

The main goal of this study was to characterize seasonal occurrence of low flows during a year period, in catchments of different character and indication of periods with the highest risk of low flows occurrence. The study was based on the daily flows data series from period 01.11.1983–31.10.2013, provided by IMGW for 7 gauging sections located on rivers with mountain character – in catchment of Wisłoka River and 6 sections located in upper Wieprz catchment on Lublin Upland. To identify periods of low flows PUT (Peak Under Threshold) method was used with threshold at  $Q_{70\%}$ . To present seasonal dynamics Markham seasonality index and analysis of autocorrelation coefficient *ACF* (with displacement from 1 to 24 months) were used. The analysis showed superiority of low flows that are occurring in summer season in both areas. More season-focused distribution of phenomenon were observed in mountain catchments, where low flows were accumulating mainly in the second part of summer season. In the upland catchments distribution of low flows volumes was more balanced over the year. In both areas two periods with reduced prevalence of low flows were observed: first at spring (March/April) and second at autumn (October/November). There was also an increase in the share winter season low flows in upland catchments with greater forest cover and in mountain catchment with the lowest afforestation. Autocorrelation analysis showed a distinct semi-annual and annual cycles in low flows occurrence.

**Adres do korespondencji:** mgr inż. Katarzyna Baran-Gurgul, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Hydrauliki i Hydrologii, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; tel. +48 12 628-21-89, e-mail: Katarzyna.Baran-Gurgul@iigw.pk.edu.pl