

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016), 25 (4), 397–409
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2016), 25 (4)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2016), 25 (4), 397–409
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2016), 25 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>

Katarzyna BARAN-GURGUL¹, Krzysztof RACZYŃSKI²

¹Instituto Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Politechnika Krakowska
Institute of Engineering and Water Management, Cracow University of Technology

²Zakład Hydrologii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
Department of Hydrology, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin

Niżówki w zlewniach górskich i wyżynnych na przykładzie Wisłoki i Wieprza*

Low flows in mountain and upland catchments on example of Wisłoka and Wieprz rivers

Słowa kluczowe: zlewnia góraska, zlewnia wyżynna, niżówka, czas trwania niżówki, objętość niżówki, metoda PUT

Key words: mountain catchment, upland catchment, low flow, low flow duration, low flow deficit, Pit Under Threshold

Wprowadzenie

Niżówka jest procesem nieprzerwanego utrzymywania się przepływu (lub stanu) wody w danym przekroju cieką poniżej przyjętej umownie wartości granicznej (Ozga-Zielińska i Brzeziński, 1997; Hisdal i Tallaksen, 2000; Smakhtin, 2001; Pociask-Karteczka, 2006; Węglarczyk, 2006; Tallaksen i van Lanen, 2007). Taki spo-

sób określania niżówek, nazywany metodą odcięcia (TLM – ang. Threshold Level Method), został wprowadzony dla stanów wody przez Zielińską (1963), a dla przepływów przez Yevjevicha (1967). Metodę tę często łączy się z kryterium PUT (ang. Pit Under Threshold). Kryterium to dawniej w literaturze nazywane było, poprzez analogię do przepływów maksymalnych, metodą POT (ang. Peak Over Threshold) (Tokarczyk, 2010; Jakubowski, 2011). Gottschalk i inni (2013) zaproponowali nazwę (PUT – ang. Pit Under Threshold) i ta właśnie nazwa będzie stosowana w niniejszej pracy.

Najważniejszym kryterium definiującym niżówkę jest wartość przepływu

*Praca została wykonana w ramach zadań badawczych: „Wpływ czynników antropogennych na ilościowe i jakościowe właściwości procesów hydrologicznych w zlewni, zadanie 3: Analiza własności niżówek w obszarze karpaccim 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.

granicznego, która przyjmowana jest zazwyczaj jako stała w kolejnych latach, lub w badanym wieloleciu. Wartość ta przyjmowana jest jako:

- a) przepływ charakterystyczny – zazwyczaj WNQ, SNQ (Ozga-Zielińska i Brzeziński, 1997; Jokiel i Tomaszewski, 2009; Kaznowska, 2012),
- b) przepływ z krzywych sum czasów trwania przepływów dobowych (wraz z wyższymi) z wielolecia $Q_{60\%}$, $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$ i $Q_{95\%}$ – najczęściej $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$ (Zelenhasić i Salvai, 1987; Ratomska, 1993; Hisdal i Tallaksen, 2000; Smakhtin, 2001; Stahl, 2001; Fleig, 2004; Gustard i Demuth, 2008; Jakubowski, 2011; Tomaszewski, 2012; Tokarczyk, 2013).
- c) przepływ minimalny średni roczny n -dniowy obliczany na podstawie minimalnych przepływów uśrednionych w różnym czasie – najczęściej jest to średnia z 7 kolejnych dni, a wykorzystywany przepływ to zazwyczaj $7Q_{10}$, czyli minimalny średni przepływ 7-dniowy o prawdopodobieństwie nieosiągnięcia 10% (Singh, 1973; Smathkin, 2001; Pyrcce, 2004).

Celem pracy jest porównanie podstawowych charakterystyk niżówek, tj. liczebności, czasu trwania i objętości, w zlewniach o różnym charakterze: zlewni rzeki górskiej Wisłoki, gdzie zlokalizowanych jest 7 przekrojów wodowskazowych i zlewni wyżynnej górnego Wieprza, w której znajduje się 6 przekrojów. Do porównania wykorzystano historyczne ciągi przepływów z lat hydrologicznych 1983–2013.

Metody

Według metody PUT początek niżówki (t_p) następuje w chwili obniżenia się przepływu poniżej przepływu granicznego (Q_g), a koniec niżówki (t_k) następuje, gdy przepływ w rzece z powrotem przekroczy poziom (Q_g) (Tallaksen i van Lanen, 2007; Tokarczyk 2010). Czas trwania niżówki (t_n) określany jest w dobach, jako: $t_n = t_k - t_p + 1$. Objętość niżówki (V_n), czyli objętość niedoboru (lub deficytu) wody (w m^3) liczona jest jako suma kolejnych objętości $[Q_g - Q(t)] \cdot \Delta t$ ($\Delta t = 1$ doba) w czasie $t = 1, 2, \dots, t_n$.

W celu wyeliminowania krótkich okresów z przepływem mniejszym niż Q_g , które są nieistotne z punktu widzenia niedoborów wody stosuje się dodatkowy warunek – minimalny czas trwania niżówki (t_{min}). Wartość ta w literaturze przyjmowana jest w bardzo szerokim przedziale: od 1 do nawet 21 dni (Zelenhasić i Salvai, 1987; Ratomska, 1993; Hisdal i Tallaksen, 2000; Gustard i Demuth, 2008; Jakubowski, 2011; Tomaszewski, 2012; Tokarczyk, 2013). Jeżeli dwie sąsiadujące niżówki dzieli kilka dni, w czasie których natężenie przepływu jest większe niż graniczne, uznaje się je za niżówki zależne i łączy w jedną o zwiększonym czasie trwania (najczęściej sumuje się czasy trwania pojedynczych epizodów). Według kryterium wprowadzonego przez Zelenhasića i Salvaia (1987), jeżeli dwie sąsiadujące niżówki o $t_{n,i}$ i $t_{n,i+1}$ oraz $V_{n,i}$ i $V_{n,i+1}$ dzieli kilka dni (t_z), w czasie których natężenie przepływu jest większe niż Q_g , można je ze sobą połączyć, tworząc jedną niżów-

kę o zwiększonym czasie trwania: $t_N = t_{n,i} + t_{n,i+1} + t_z$ i objętości niżówki: $V_N = V_{n,i} + V_{n,i+1}$. Ratomska (1993) oraz Ozga-Zielińska i Brzeziński (1997) przyjmują graniczny czas $t_z = 15$ dni, inni autorzy czas krótszy $t_z = 3-5$ dni (Zelenhasić i Salvai, 1987; Tallaksen i in., 1997; Jakubowski, 2011; Tomaszewski, 2012) lub dłuższy $t_z = 30$ dni (Yang i in., 2015).

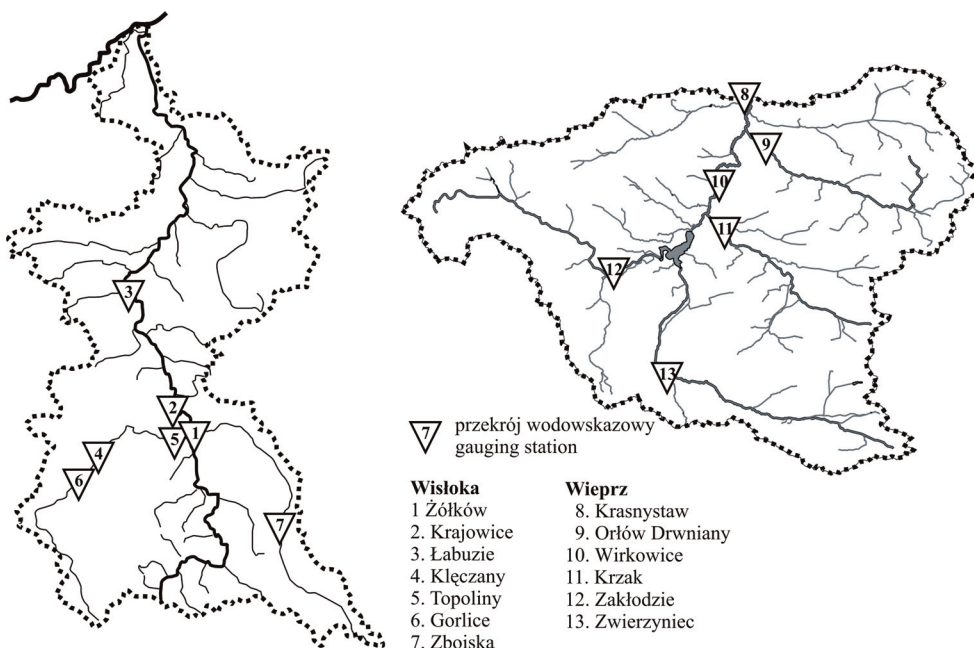
Charakterystyka obszaru badań

Analizy obejmowały obszar dwóch zlewni: Wisłoki po wodowskaz Łabuzie i Wieprza do Krasnegostawu. Lokalizację posterunków wodowskazowych w rozpatrywanych zlewniach przedsta-

wiono na rysunku 1, a ich charakterystykę zebrano w tabeli 1.

Długość rozpatrywanego odcinka Wisłoki wynosi 96 km, a Wieprza 115 km. Wisłoka zaczyna swój bieg na wysokości 575 m n.p.m., pozostałe rzeki w zlewni mają swoje źródła na wysokości ponad 700 m n.p.m. Źródła Wieprza i jego dopływów położone są w obszarze Wyżyny Lubelskiej i Rostocza, na wysokościach nieprzekraczających 300 m n.p.m. (rys. 2), w związku z czym większe są również spadki podłużne rzek zlewni Wisłoki (dochodzące do 2%, tab. 1).

Wisłoka jest rzeką w południowo-wschodniej Polsce, prawym dopływem górnej Wisły, która ma swoje źródła w Beskidzie Niskim na wysokości około 600 m n.p.m., na zboczach Dębiego Wierchu (Dynowska i Maciejewski,



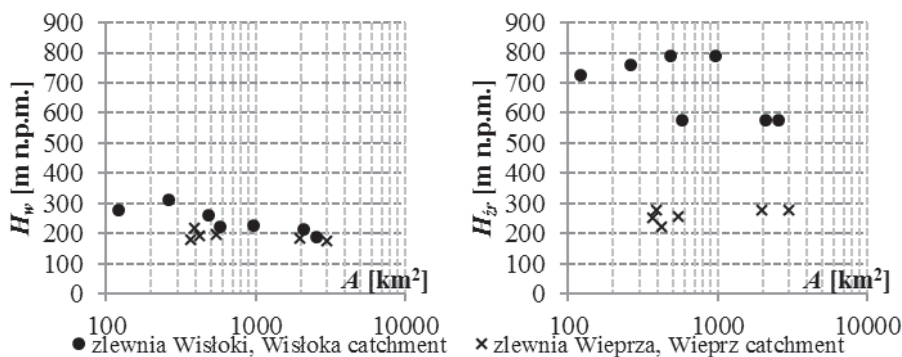
RYSUNEK 1. Lokalizacja posterunków wodowskazowych w zlewni Wisłoki i Wieprza
FIGURE 1. Location of gauging stations in Wisłoka and Wieprz catchments

TABELA 1. Podstawowe parametry zlewni Wisłoki i Wieprza
TABLE 1. Basic parameters of Wisłoka and Wieprz catchments

Nr No	Przekrój wodowskazowy Gauging station	Rzeka River	$A^{a, b, g}$ [km ²]	$H_w^{a, b}$ [m n.p.m.]	$H_{zr}^{b, c, f}$ [m n.p.m.]	I [%]	Las^d [%]	$P^{e, h}$ [mm]	C_k [%]
Zlewnia Wisłoki/Wisłoka catchment									
1	Żółków	Wisłoka	581	224	575	0,6	57	763	41
2	Krajowice	Wisłoka	2092	213	575	0,6	44	763	33
3	Łabuzie	Wisłoka	2546	188	575	0,4	40	768	30
4	Kłęzany	Ropa	483	259	790	1,0	56	722	39
5	Topoliny	Ropa	969	225	790	0,7	38	763	65
6	Gorlice	Sękówka	121	279	738	2,0	68	772	43
7	Zboiska	Jasiołka	264	312	760	1,2	64	855	33
Zlewnia Wieprza/Wieprz catchment									
8	Krasnystaw	Wieprz	2997	173,9	278	0,09	17	633	36
9	Orłów Drewniany	Wolica	369,8	180,7	253	0,19	21	607	42
10	Wirkowice	Wieprz	1991	184,7	278	0,11	20	645	34
11	Krzak	Łabuńka	426,0	190,6	223	0,11	14	645	42
12	Zakłodzie	Por	541,9	196,1	255	0,16	25	645	28
13	Zwierzyniec	Wieprz	389,6	218,5	278	0,14	45	645	32

Oznaczenia/Explanation: A [km²] – powierzchnia zlewni/catchment area, H_w [m n.p.m.] – wysokość położenia zera wodowskazu/gauging section elevation, H_{zr} [m n.p.m.] – wysokość położenia źródła rzeki/river spring elevation, I [%] – spadek cieku $I = (H_{zr} - H_w)/L$ river gradient, Las [%] – zalesienie zlewni/afforestation of the catchment, P [mm] – opad średni roczny/mean annual precipitation, C_k [%] – wskaźnik kolistości zlewni/catchment circularity ratio.

Źródła/Sources: ^aUjda, 1969, ^bCzarnecka, 1983, ^cwww.wysokosc.mapa.info.pl, ^dMapa Corine 2006 i 2013, ^eCebulska i in., 2013, ^fMichalczyk, 2001, ^gMPHP10, ^hMichalczyk, 1986.

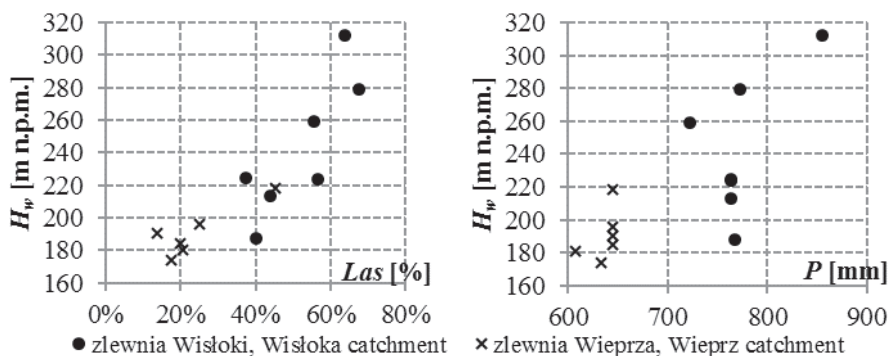


RYSunEK 2. Zależność wysokości położenia: zera wodowskazu (H_w) i źródła rzeki (H_{zr}) od pola powierzchni (A) zlewni w zlewniach Wisłoki i Wieprza

FIGURE 2. Springs (H_{zr}) and gauging section elevation (H_w) versus catchment area (A) in Wisłoka and Wieprz catchments

1991). Budowa geologiczna obszaru zlewni Wisłoki charakteryzuje się dużą różnorodnością. Zlewnia rozciąga się południkowo przez 3 makroregiony, od południa przez: makroregion Beskidy Środkowe (wysokość szczytów nie przekracza 1000 m n.p.m., a przełęcz są

zlewni. Drugą co do wielkości klasą pokrycia terenu są lasy – pokrywają około 42% powierzchni zlewni (rys. 3). Średni opad roczny w zlewni Wieprza dochodzi do 650 mm (Michalczyk i in., 2001), podczas gdy w dorzeczu Wisłoki wynosi 774 mm (Cebulska i in. 2013).



RYSUNEK 3. Porównanie zależności lesistości (Las) i średniego rocznego opadu (P) od wysokości położenia zera wodowskazu (H_w) w zlewniach Wisłoki i Wieprza

FIGURE 3. Comparison of correlations between forest area (Las) and mean annual precipitation (P) to gauging section elevation (H_w) in Wisłoka and Wieprz catchments

niskie, pomimo to dominuje krajobraz górski), Pogórze Środkowobeskidzkie (jest to szeroki na kilkadziesiąt kilometrów pas wzgórz i kotlin śródgórzskich o wysokościach od 300 do 500 m n.p.m., zaczyna dominować krajobraz wyżynny), aż po Kotlinę Sandomierską (teren porożciniany jest licznymi, szerokimi dolinami rzecznyymi, wznoszącymi się 40–80 m ponad dna dolin) (Kondracki, 2000).

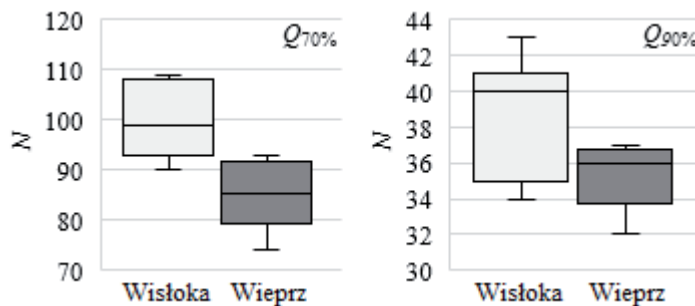
Dominującą formą użytkowania terenu Wieprza są użytki rolne zajmujące około 80% powierzchni, pozostałą część terenu zajmują lasy (jedynie w południowej części obszaru lesistość sięga 45%). W zlewni Wisłoki największy udział powierzchni również zajmują użytki rolne – stanowią ponad 57% powierzchni

Analiza niżówek i ich parametrów

Niżówki określono metodą PUT, dla dwóch wartości przepływu granicznego (stałych w wieloleciu) $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$. Przepływy te odczytane zostały z krzywych sum czasów trwania przepływów dobowych (wraz z wyższymi) z wielolecia. Przyjęto jednocześnie założenie, że pojedyncza niżówka musi trwać co najmniej 7 dni, zaś jeśli czas między następującymi po sobie epizodami jest nie dłuższy niż 3 dni, niżówki uznawano za zależne i łączono w jedną. W każdym z przekrojów dysponowano seriami 10 958 wartości dobowych przepływów, z okresu 30 lat, od 01.11.1983 roku do 31.10.2013 roku, udostępnionych przez IMGW-BIB.

Wyniki

Liczebność niżówek (N) opisuje ilość epizodów spełniających warunek $Q \leq Q_g$ i $t_{\min} \geq 7$ dni. Niezależnie od przyjętego Q_g , większą liczbę niżówek obserwuje się w zlewni Wisłoki. Przy przepływie granicznym $Q_{70\%}$ górny kwartył liczby niżówek w zlewni Wieprza zawierał się w przedziale kwartyła dolnego dla zlewni Wisłoki (rys. 4). Dla przepływu granicznego $Q_{90\%}$ różnica ta jest mniejsza. Ma to bezpośrednie przełożenie na czasy trwania niżówek.



RYSUNEK 4. Liczba niżówek (N) w zlewniach Wisłoki i Wieprza przy $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$
FIGURE 4. Number of low flows (N) in Wisłoka and Wieprz catchments at $Q_{70\%}$ and $Q_{90\%}$

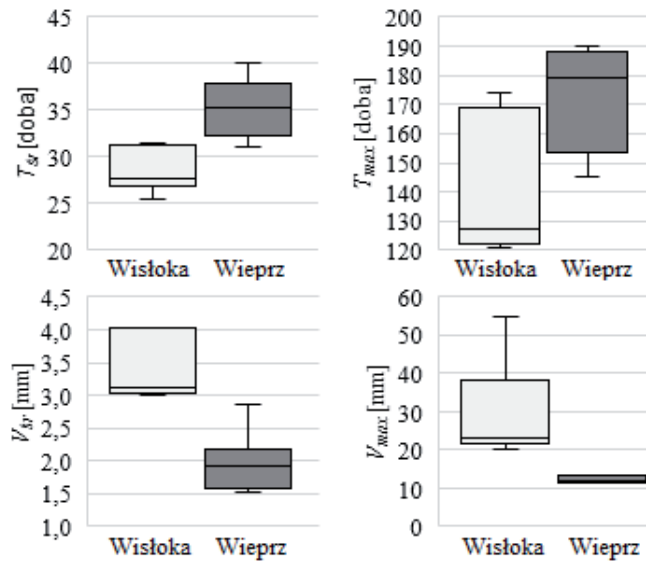
W okresie przepływów niżówkowych w zlewni Wieprza dochodzi do wydłużenia czasu trwania niżówek, utrzymujących się od 30 do 40 dni. W zlewni Wisłoki następuje szybsze zanikanie epizodów, trwających zazwyczaj do 25–30 dni. Maksymalne czasy trwania niżówek (T_{\max}) w zlewni Wieprza wynoszą od 150 do 190 dni, z 180-dniową medianą, z kolei w zlewni Wisłoki w przedziale 120–175 dni, z medianą 127 dni (rys. 5).

Przy zmniejszeniu wysokości przepływu granicznego do poziomu $Q_{90\%}$ można zaobserwować wyrównanie gór-

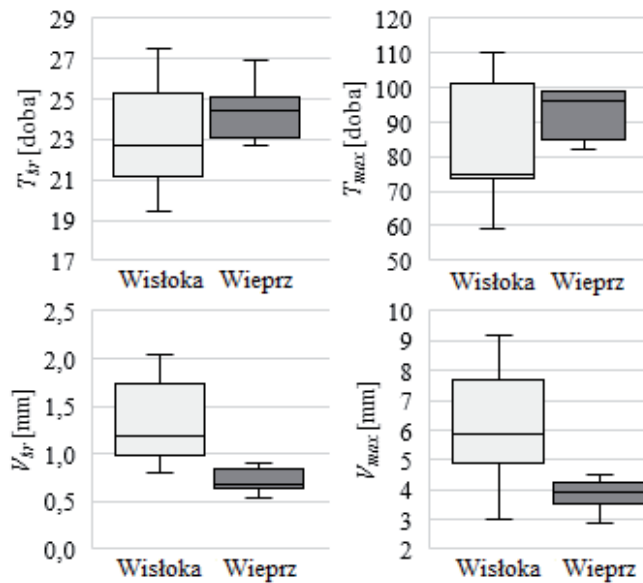
nych zakresów czasów trwania niżówek. Zarówno średnia, jak i maksymalna długość niżówek w zlewni Wieprza są większe od mediany czasów trwania niżówek w zlewni Wisłoki (rys. 6). Pomimo tego w zlewni Wisłoki maksimum czasu trwania niżówki jest dłuższe, co może wskazywać na większą niestabilność przepływów niżówkowych w zlewniach górskich, o większych spadkach. Maksymalne i średnie objętości niżówek są zdecydowanie większe w zlewni Wisłoki niż Wieprza, niezależnie od przyjętego przepływu granicznego. W obu

zlewniach zarówno T_{sr} , jak i V_{sr} , są większe w górnych, południowych częściach tych zlewni (rys. 7).

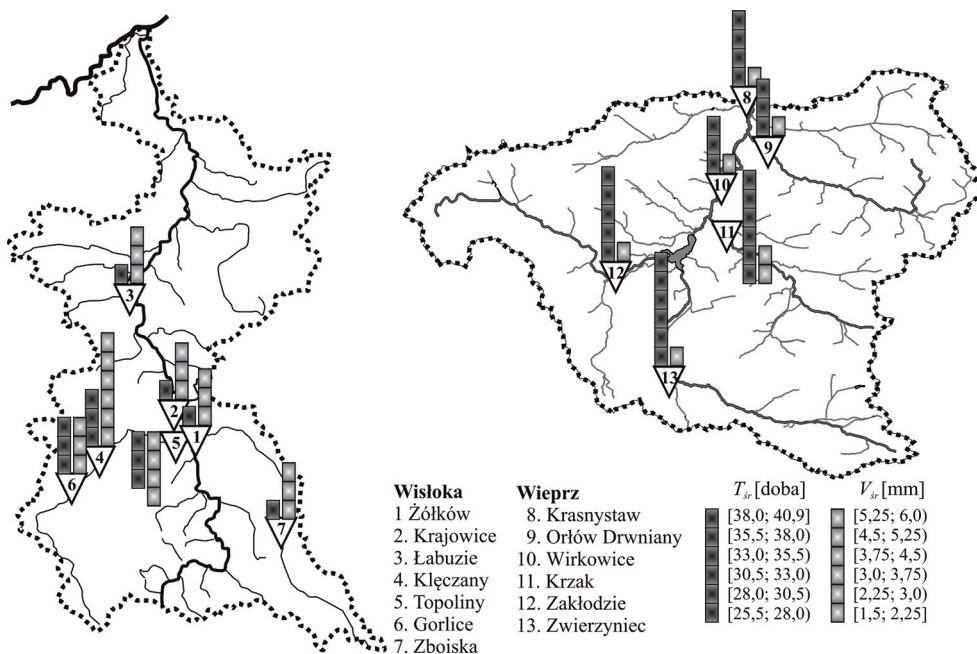
Nie wszystkie z ciągów liczebności niżówek (N), ich T_{sr} i T_{max} oraz V_{sr} i V_{max} mają rozkład normalny (na poziomie istotności $\alpha = 5\%$, przy zastosowaniu testu Shapiro–Wilka). Do porównania średnich wartości N , T_{sr} , T_{max} , V_{sr} i V_{max} , w zlewni oraz Wieprza i Wisłoki wykorzystano zatem jeden z testów nieparametrycznych – procedurę najmniejszej istotnej różnicy Fishera (Stanisz, 2007). Test wykazał istotne różnice w wartościach średnich zarówno N niżówek, jak



RYSUNEK 5. Średnie (T_{sr}) i maksymalne (T_{max}) czasy trwania niżówki oraz średnie (V_{sr}) i maksymalne (V_{max}) objętości niżówki w zlewniach Wisłoki i Wieprza przy $Q_{70\%}$
 FIGURE 5. Mean (T_{sr}) and maximal (T_{max}) low flow duration time and mean (V_{sr}) and maximal (V_{max}) flow deficit in Wisłoka and Wieprz catchments at $Q_{70\%}$



RYSUNEK 6. Średnie (T_{sr}) i maksymalne (T_{max}) czasy trwania niżówki oraz średnie (V_{sr}) i maksymalne (V_{max}) objętości niżówki w zlewniach Wisłoki i Wieprza, przy $Q_{90\%}$
 FIGURE 6. Mean (T_{sr}) and maximal (T_{max}) low flow duration time and mean (V_{sr}) and maximal (V_{max}) flow deficit in Wisłoka and Wieprz catchments at $Q_{90\%}$



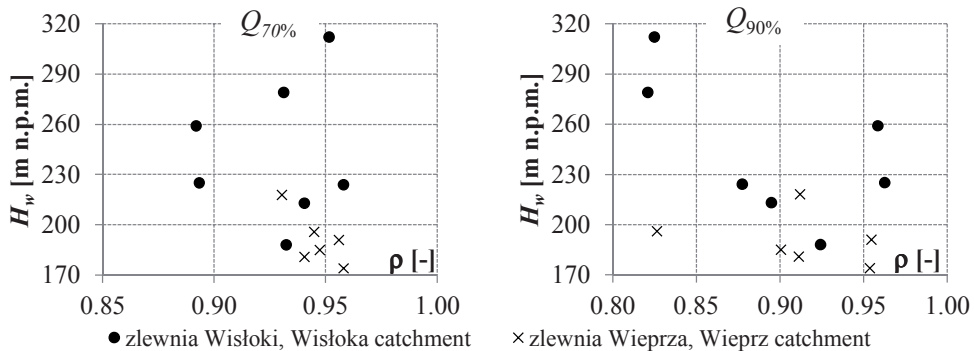
RYSUNEK 7. Zróżnicowanie przestrzenne średniego czasu trwania (T_{sr}) i średniej objętości niżówki (V_{sr}) w przekrojach wodowskazowych zlokalizowanych w zlewniach Wisłoki i Wieprza
 FIGURE 7. Spatial distribution of mean low flow duration time (T_{sr}) and mean deficit (V_{sr}) in gauging profiles of Wisłoka and Wieprz catchments

i T_{sr} i T_{max} oraz V_{sr} i V_{max} w zlewniach Wisłoki i Wieprza, przy przepływie granicznym $Q_{70\%}$, na poziomie istotności $\alpha = 1\%$. Przy obniżeniu przepływu granicznego do $Q_{90\%}$, różnice między średnimi charakterystykami dla rozpatrywanych zlewni są mniejsze, a dla wartości średnich dla T_{sr} , T_{max} i N , na poziomie $\alpha = 5\%$, nie ma podstaw do przyjęcia hipotezy o równości średnich.

Współczynnik korelacji liniowej Pearsona (ρ) współzależności czasów trwania niżówek i deficytów niżówek w obu rozpatrywanych zlewniach, jest istotny statycznie i przy $Q_{70\%}$ zawiera się w przedziale 0,93–0,96 dla zlewni wyżynnych oraz 0,89–0,96 w zlewniach górskich (rys. 8). Wraz z przyrostem długości Wieprza korelacja liniowa cza-

sów trwania i deficytów niżówek rośnie, w zlewni Wisłoki natomiast zależność ta maleje. Przy obniżeniu przepływu granicznego do wartości $Q_{90\%}$ siła korelacji maleje w zlewniach południowych, wyżej położonych, zarówno w obszarze Wisłoki, jak i górnego Wieprza.

Korelacja między czasami trwania a objętościami niżówek dla wartości maksymalnych i średnich, przy $Q_{70\%}$, nie jest istotna statycznie i wynosi około 0,7 (tab. 2). Obniżenie poziomu granicznego do przepływu $Q_{90\%}$ w zlewni Wieprza właściwie nie powoduje zmiany w wartości współczynnika korelacji. W górskiej zlewni Wisłoki natomiast zależność ta prawie całkowicie zanika ($\rho < 0,4$).



RYSUNEK 8. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona (ρ) czasu trwania niżówki i jej deficytu zestawiony od wysokości położenia zera wodowskazu (H_w) w zlewniach Wisłoki i Wieprza dla $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$

FIGURE 8. Pearson correlation coefficient (ρ) between low flow duration time and deficit versus gauging section elevation (H_w) in Wisłoka nad Wieprz catchments for $Q_{70\%}$ and $Q_{90\%}$

TABELA 2. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona (ρ) między czasami trwania i objętościami niżówek: T_{\max} , T_{sr} , V_{\max} , V_{sr} , przy $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$ w zlewniach Wisłoki i Wieprza

TABLE 2. Pearson correlation coefficient (ρ) between low-flow times of duration and volumes: T_{\max} , T_{sr} , V_{\max} , V_{sr} , determined at $Q_{70\%}$ and $Q_{90\%}$ in Wisłoka and Wieprz catchments

Rzeka/ /River	$\rho (T_{\max}, V_{\max})$		$\rho (T_{\text{sr}}, V_{\text{sr}})$	
	$Q_{70\%}$	$Q_{90\%}$	$Q_{70\%}$	$Q_{90\%}$
Wisłoka	0,685	0,307	0,675	0,030
Wieprz	0,607	0,636	0,794	0,784

Podsumowanie

Zmienne warunki dynamiczne zlewni przyczyniają się do występowania różnych charakterów przepływów niżówkowych w badanych obszarach.

Zasadniczą rolę w tworzeniu odpływu w zlewniach górskich odgrywają sploty powierzchniowe, a wpływ wód gruntowych, zwłaszcza w górnych partiach zlewni jest słabo zauważalny. Z tego powodu niżówki zlewni górskich są krótsze, niedobory wód w ciekach uzupełniane są poprzez opady, których występuje

w tym regionie więcej niż na wyżynie, oraz które w większości są transformowane bezpośrednio w odpływ. Susza, jako zjawisko długotrwałe, prowadzi jednak do dalszego wyczerpywania zasobów wodnych i w konsekwencji ponownego obniżania przepływów w korytach rzek, co uzasadnia obserwację większej liczby niżówek (różnica liczebności przy $Q_g = Q_{70\%}$, w niektórych przekrojach wodowskazowych przekracza 60%). W okresie występowania niżówek rzeki obszaru wyżynnego mogą dłużej korzystać z zasobów wód podziemnych. Występujące opady nie przekładają się bezpośrednio na zwiększenie przepływów w rzekach, a na odbudowę zasobów wodnych zlewni wyżynnych (Michalczyk 1986). Dlatego też czasy trwania niżówek, zarówno średnie jak i maksymalne, w zlewni wyżynnej są dłuższe niż w górskiej (głównie przy $Q_{70\%}$). W przypadku niżówek odcinanych na poziomie $Q_{90\%}$, intensywnie drenujących zasoby wodne zlewni, czasy trwania w badanych zlewniach wyrównują się. Podobna reakcja zlewni na niżówki głębokie (przy $Q_{90\%}$)

może wskazywać na zanik wpływu czynników geograficznych na dynamikę niedoborów wody w sytuacji wyczerpania zasobów wodnych zlewni. Według Dębskiego (1970) zlewnie o powierzchniach mniejszych niż 200 km² mogą nawet w takich okresach całkowicie wysychać. Pomimo iż maksymalne długości czasów trwania niżówek są średnio o 50 dni dłuższe w przekrojach zlewni wyżynnej górnej Wieprza, to większe objętości niżówek obserwowano w górskiej zlewni Wisłoki.

Przy przepływie granicznym $Q_{70\%}$ zarówno maksymalne, jak i średnie objętości niżówek w zlewni wyżynnej były większe od minimów w zlewniach górskich. Dla obniżonego przepływu granicznego górny kwartył maksymalnych objętości niżówek w zlewni wyżynnej

zawiera się w dolnym kwartylu maksymalnych objętości niżówek w zlewni górskiej. Zależności te wskazują na znaczący udział zasilania podziemnego w czasie stanów niskich w obszarze wyżyny. W obszarze górskim dochodzi do szybszego szczytowania wód i utrzymywania się takiego stanu do momentu wystąpienia zasilania atmosferycznego. Na wyżynie wystąpienie okresu suchego prowadzi do zmiany sposobu zasilania rzeki na podziemny. Taki model zasilania w trakcie niżówki w tym obszarze jest również zgodny z definicją niżówki przyjętą przez Tomaszewskiego (2012) jako zjawiska genetycznie związanego z zasilaniem podziemnym. Jednak w świetle uzyskanych wyników interpretacja taka może być utrudniona w obszarze zlewni górskich, gdzie wpływ

TABELA 3. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona (ρ) między czasami trwania i objętościami niżówek przy $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$ w zlewniach Wisłoki i Wieprza

TABLE 3. Pearson correlation coefficient (ρ) between low-flow times of duration and volumes, determined at $Q_{70\%}$ and $Q_{90\%}$ in Wisłoka and Wieprz catchments

Nr No	Przekrój wodowskazowy Gauging station	Rzeka River	$Q_{70\%}$	$Q_{90\%}$
Zlewnia Wisłoki/Wisłoka catchment				
1	Żółków	Wisłoka	0,96	0,88
2	Krajowice	Wisłoka	0,94	0,89
3	Łabuzie	Wisłoka	0,93	0,92
4	Kłęczany	Ropa	0,89	0,96
5	Topoliny	Ropa	0,89	0,96
6	Gorlice	Sękówka	0,93	0,82
7	Zboiska	Jasiołka	0,95	0,82
Zlewnia Wieprza/Wieprz catchment				
8	Krasnystaw	Wieprz	0,96	0,95
9	Orłów Drewniany	Wolica	0,95	0,91
10	Wirkowice	Wieprz	0,95	0,90
11	Krzak	Łabuńka	0,95	0,95
12	Zakłodzie	Por	0,94	0,82
13	Zwierzyniec	Wieprz	0,93	0,91

wód podziemnych nie jest tak wyraźnie obserwowany.

Korelacje czasów trwania i objętości niżówek są istotne na poziomie istotności 5% (tab. 3) i w obu obszarach zbliżone (nieznacznie większe dla zlewni wyżynnej). Korelacja między średnimi i maksymalnymi czasami trwania niżówek i ich objętości nie jest istotna na poziomie istotności 5%. W większości przypadków dłuższe czasy trwania niżówek i większe ich objętości zaobserwowano w przekrojach leżących w południowych części badanych zlewni, o największych rzędnych, znaczących deniwelacjach terenu oraz dużym udziałem powierzchni leśnych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że odmienne cechy środowiska (takie jak większe spadki terenu i cieków, większy opad średni roczny czy zalesienie) przyczyniają się do występowania dużej odmienności podstawowych cech niżówek, zwłaszcza do dużej nieregularności w fazie przepływów niskich, co z kolei prowadzi do występowania większej liczby, krótszych niżówek o większej objętości. Jednocześnie w warunkach suchych (niżówki głębokie przy $Q_{90\%}$) charakterystyki, zwłaszcza czasowe, ulegają ujednorodnieniu, co może wskazywać na zmniejszenie roli warunków lokalnych na kształtowanie odpływu w tej fazie.

Literatura

- Cebulska, M., Szczepanek, R. i Twardosz, R. (2013). Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady średnie roczne (1952-1981). Kraków: WIŚ PK, IGI GP UJ.
- Czarnecka, H. (1983). *Podział hydrograficzny Polski*. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- Dębski, K. (1970). *Hydrologia*. Warszawa: Arkady.
- Dynowska, I. i Maciejewski, M. (1991). *Dorzecze górnej Wisły – monografia (Vol. 1)*. Warszawa-Kraków: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Fleig, A. (2004). Hydrological Drought – A comparative study using daily discharge series from around the world (MSc thesis). Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Freiburg, Germany.
- Gottschalk, L., Kun-xia, Y., Leblois, E. i Xiong, L. (2013). Statistics of low flow: Theoretical derivation of the distribution of minimum streamflow series. *Journal of Hydrology*, 481, 204-219.
- Gustard, A. i Demuth, S. (2008). Manual of Low-flow. Estimation and Prediction. *Operational Hydrology Report 50*. World Meteorological Organization.
- Hisdal, H. i Tallaksen, L. M. (2000). Drought Event Definition. *Technical Report 6*. Oslo: University of Oslo.
- Jakubowski, W. (2011). *Rozkłady prawdopodobieństwa w ocenie suszy hydrologicznej*. Wrocław: Uniwersytet Przyrodniczy.
- Jokiel, P. i Tomaszewski, E. (2009). Fazy i formy odpływu w zlewni Dzierżąnej. W *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych* (strony 141-158). Gdańsk: Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego.
- Kaznowska, E. (2012). Wieloletnie tendencje w kształtowaniu się wybranych charakterystyk niżówek w zlewni Zagożdżonki. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3 (4), 215-227.
- Kondracki, L. (2000). *Geografia regionalna Polski*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Michalczyk, Z. (1986). *Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Roztocza*. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej.
- Michalczyk, Z. (2001). *Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza*. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej.
- Ozga-Zielińska, M. i Brzeziński, J. (1997). *Hydrologia stosowana*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

- Pociask-Karteczka, J. (2006). *Zlewnia. Właściwości i procesy*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Pyrce, R. (2004). *Hydrological Low Flow Indices and Their Uses*. Canada: Trent University.
- Ratomska, B. (1993). *Ocena suszy w aspekcie hydrologicznym* (PhD Thesis). Kraków: Politechnika Krakowska.
- Singh, K.P. i Stall, J.B. (1973). *The 7-Day 10-Year Low Flows of Illinois Streams*. *Illinois State Water Survey Bulletin*, 57.
- Smakhtin, V.U. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240, 147-186.
- Stahl, K. (2001). *Hydrological Draught. A Study across Europe* (PhD Thesis). Germany: Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Freiburg.
- Stanisz, A. (2007). *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*, 2. Kraków: StatSoft.
- Tallaksen, L.M. i Hisdal, H. (1997). Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. FRIEND '91 – Regional Hydrology: *Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management IAI*, 246 (strony 141-150). Presented at the Proceedings of the Postojna, Slovenia: AHS Publ.
- Tallaksen, L.M., Madsen, H. i Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42 (1), 15-33.
- Tallaksen, L.M. i Van Lanen, H.A.J. (2007). Key aspects of low flow and drought. W *Book of Abstracts* (strony 13-18). Germany: Würzburg.
- Tokarczyk, T. (2010). *Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej*. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- Tokarczyk, T. (2013). Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. *Acta Geophysica*, 61(2), 404-421.
- Tomaszewski, E. (2012). *Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Ujda, K. (1969). *Wodowskazy na rzekach Polski*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- Węglarczyk, S. (2006). *Słownik terminów związanych z gospodarowaniem zasobami wodnymi*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- Yang, T., Zhou, X., Yu, Z., Krysanova, V., i Wang, B. (2015). Drought projection based on a hybrid drought index using Artificial Neural Networks. *Hydrological Processes*, 29 (11), 2635-2648.
- Yevjevich, V. (1967). *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*. Fort Collins: Colorado State University.
- Zelenhasić, E. i Salvai, A. (1987). A Method of Streamflow Drought Analysis. *Water Resources Research*, 23 (1), 156-168.
- Zielińska, M. (1963). Statystyczne metody opracowania niżówek. *Przegląd Geofizyczny*, (1-2), 75-87.

Streszczenie

Niżówki w zlewniach górskich i wyżynnych na przykładzie Wisłoki i Wieprza. Celem niniejszej pracy jest porównanie charakterystyk niżówek występujących w zlewni górskiej Wisłoki oraz wyżynnej górnego Wieprza. Analizę przeprowadzono na podstawie przepływów dobowych za lata 1983–2013. Niżówki określono metodą PUT, dla dwóch wartości przepływu granicznego: $Q_{70\%}$ i $Q_{90\%}$, przy założeniu minimalnego czasu trwania 7 dni, oraz 3-dniowym kryterium łączenia w zdarzenia zależne. W górskiej zlewni Wisłoki zaobserwowano większą liczbę niżówek, o krótszym czasie trwania i większych objętościach. Pomimo tego korelacje czasów trwania i objętości niżówek były zbliżone w obu obszarach i wynosiły około 0,9. Związek ten małał w zlewniach południowych o najwyższych rzędnych terenu, gdzie obserwowano również wydłużenie czasów trwania i objętości epizodów.

Summary

Low flows in mountain and upland catchments on example of Wisłoka and Wieprz rivers. The main goal of this research is to compare characteristics of low flows that occur in mountain catchment of Wisłoka river and upland catchment of upper Wieprz river. The analysis was conducted on daily flow data for hydrological years 1983–2013. Low flows were determined by PUT method, with two threshold levels: $Q_{70\%}$ and $Q_{90\%}$, with 7 day minimal duration time criterion and 3-day pooling method. In mountain Wisłoka river greater number of episodes, with shorter duration time and higher volume of deficits was observed. Correlations between duration time and deficit volume

were similar in both areas: around 0.9. This relation was decreasing in the southern catchments, with the highest elevations, where also prolongation of low flows duration and higher deficits were observed.

Authors' addresses:

Katarzyna Baran-Gurgul
Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii
i Gospodarki Wodnej
31-155 Kraków, ul. Warszawska 24,
Poland
e-mail: Katarzyna.Baran-Gurgul@iigw.pk.edu.pl

Krzysztof Raczynski
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej,
Zakład Hydrologii
20-718 Lublin, al. Kraśnicka 2 cd,
Poland
e-mail: Krzysztof.Raczynski@umcs.edu.pl