

Zakład Hydrologii, Wydziału Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytet
Marii Curie-Skłodowskiej, al. Kraśnicka 2cd, 20-718 Lublin,
e-mail: krzysztof.raczynski@umcs.edu.pl

KRZYSZTOF RACZYŃSKI

Przeptywy graniczne niżówek w rzekach Lubelszczyzny

Threshold levels of streamflow droughts in rivers of the Lublin region

Słowa kluczowe: niżówka, metoda przepływu granicznego, TLM, susza hydrologiczna, przepływy niskie, krzywa czasu przewyższenia przepływu, przepływy charakterystyczne II stopnia, Lubelszczyzna

Key words: streamflow drought, threshold level method, TLM, hydrological drought, low-flows, flow duration curve, characteristic flows of 2nd degree, Lublin region

WSTĘP

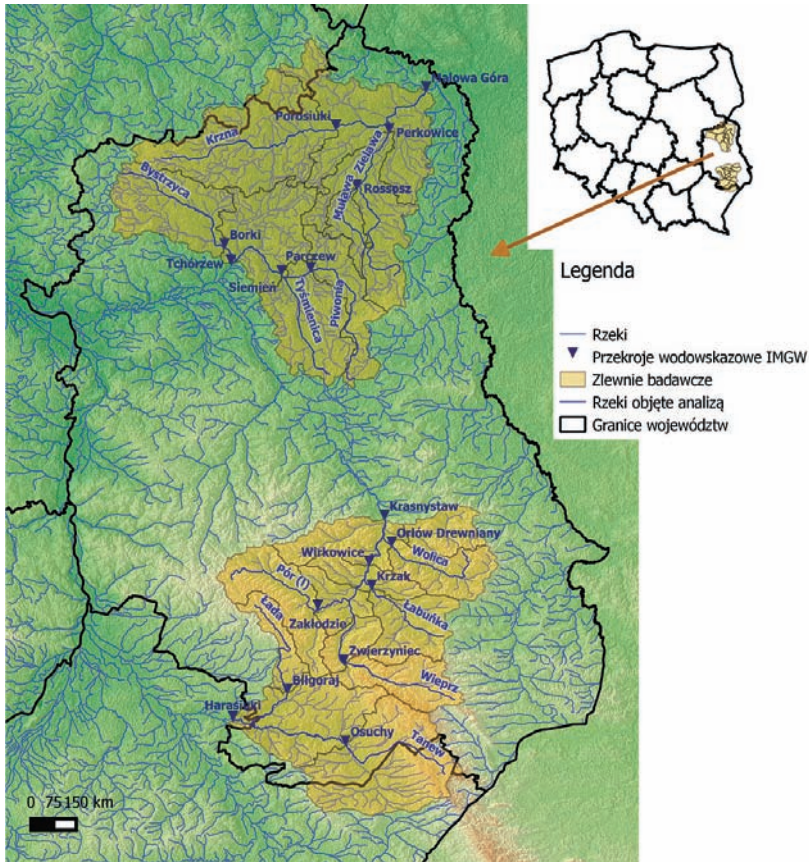
Zróznicowane warunki środowiska geograficznego sprawiają, że w opracowaniach hydrologicznych nie ma jednolitego kryterium identyfikacji przepływu granicznego niżówki. Podstawową metodą wydzielenia okresów niżówkowych jest metoda przepływu granicznego (threshold level method, TLM) i polega ona na założeniu, że niżówką nazywa się okres, w którym przepływy są równe lub niższe od przyjętego poziomu granicznego Q_g (Yevjevich 1967, Tokarczyk 2010). Podstawą wyboru metody wyznaczania poziomu granicznego mogą być kryteria statystyczne, hydrologiczne lub gospodarcze (Łabędzki 2006, Ozga-Zielińska 1994). Należy jednak zauważyć, że kryteria te mogą ulegać dalszym podziałom i tak na przykład wewnątrz kryterium hydrologicznego można przyjmować za przepływ graniczny wartość NSQ, WNQ (np. Byczkowski 1999), czy SNQ (Kaznowska 2012), a nawet stosować rozdział na wartości sezonowe, jak np. SNQ_{Lato} (Bartczak i in. 2014). Przy stosowaniu kryteriów statystycznych zmianom może ulegać wartość prawdopodobieństwa przewyższenia przepływu, np. $p = 70, 80, 90, 95\%$, wyznaczana na podstawie krzywych czasu przewyższenia przepływu (Kaznowska 2012, Tomaszewski 2012, Węglarczyk 2014a). Tak duża liczba

możliwości doboru wartości o znaczeniu krytycznym w kontekście całej analizy powoduje olbrzymie zróżnicowanie otrzymywanych wyników i często decyduje o braku możliwości zestawiania ich ze sobą oraz przeprowadzania analiz porównawczych. Celem pracy jest wskazanie najbardziej odpowiednich metod wyznaczania przepływu granicznego niżówek dla rzek Lubelszczyzny oraz wskazanie zalet i wad stosowania niektórych z nich. W pracy zastosowano zarówno metody mające najszersze zastosowanie w literaturze przedmiotu, jak i metody uzasadnione przyrodniczo lub ekonomicznie.

MATERIAŁ I METODY

Analizę przeprowadzono na podstawie dobowych wartości przepływów pochodzących z lat hydrologicznych 1976–2013 zarejestrowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w 17 przekrojach wodowskazowych zlokalizowanych na rzekach odwadniających północny oraz południowy obszar Lubelszczyzny (Ryc. 1). Analizę zmienności parametrów w zależności od długości okresu badawczego przeprowadzono dla okresu 01.11.1951–31.10.2013 dla czterech głównych przekrojów zamykających największe zlewnie obszaru, tj. Malowa Góra (Krzna), Tchorzew (Tyśmienica), Krasnystaw (Wieprz) oraz Harasiuki (Tanew). Przed przystąpieniem do analizy ciągu zweryfikowano pod kątem występowania niejednorodności metodami genetycznymi oraz statystycznymi według algorytmu przedstawionego przez Ozgę-Zielińską i in. (1999). Podstawowe parametry zlewni badawczych zestawiono w Tabeli 1.

Jako przepływ graniczny, według kryterium hydrologicznego, M. Ozga-Zielińska oraz J. Brzeziński (1994) wskazują najwyższy z minimalnych przepływów rocznych z wielolecia (WNQ). Wartość ta jest uzasadniona, gdyż w każdym badanym roku przepływy minimalne osiągały lub spadały poniżej tej wartości. Metoda ta jest dość często stosowana jako wartość graniczna w analizach niżówek (np. Kaznowska i Chudy 2006, Kostuch 2004, Zielińska 1963a). Przyjmując za przepływ graniczny wartość WNQ zakładamy, że w każdym roku hydrologicznym występuje przynajmniej jeden okres przepływów niskich w czasie którego może występować niżówka (Zielińska 1963b). Wskaźnik ten, może jednak przyjmować wysokie wartości, ze względu na występowanie lat mokrych, w których przepływy minimalne mogą mieścić się w przedziale wartości przepływów średnich z wielolecia. Z tego powodu, jako inne kryterium hydrologiczne przepływu granicznego można przyjąć medianę przepływów minimalnych – ZNQ, lub ich wartość średnią – SNQ (Ozga-Zielińska i Brzeziński 1994, Tomaszewski 2012). Szczególnie ostatnie kryterium jest często stosowane w opracowaniach niżówek, co umożliwi porównywanie wyników z innymi pracami (np. Bartzak i in 2014, Kaznowska 2012).



Ryc. 1. Lokalizacja zlewni badawczych
 Fig. 1. Location of research catchments

Często przyjmowanym kryterium granicznym niżówki jest wartości kwantyla Q_p o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia $p\%$, odczytanym z krzywej czasów przewyższenia przepływów (KCPP). W literaturze funkcjonują dwie metody wyznaczania krzywych KCPP. Pierwsza polega na wyznaczeniu jednej krzywej z całego okresu badawczego, druga zaś na wykreślaniu krzywych rocznych, a następnie uśrednianiu wartości do krzywej średniej (Węglarczyk 2014b). W niniejszym opracowaniu zastosowano klasyczną metodę polegającą na tworzeniu jednej krzywej dla całego okresu badawczego. W literaturze można spotkać różne wartości przyjmowanego prawdopodobieństwa dla przepływu granicznego, zawierające się przeważnie w zakresie 70–95% (np. Węglarczyk 2014a, Kaznowska 2012). Przedział prawdopodobieństwa 75–90% opisuje warunki wilgotnościowe w klasie suchej, a przedział 90–100% warunki bardzo suche (Tokar-

Tabela 1. Wybrane parametry zlewni badawczych
Table 1. Selected parameters of research catchments

Rzeka	Dorzecze	Typ rzeki	Wodowskaz	Powierzchnia zlewni	NNQ	SSQ	WWQ
River	Basin	River type	Water-gauge	Catchment area	Lowest flow	Average flow	Highest flow
				[km ²]	[m ³ *s ⁻¹]	[m ³ *s ⁻¹]	[m ³ *s ⁻¹]
Tanew	Tanew	Wyzymna/uplands	Harasiuki	2027	3,32	12,21	168
Łada			Biłgoraj	223	0,1	1,36	21,8
Tanew			Osuchy	1055	1,96	6,68	80,4
Wieprz	Wieprz		Krasnystaw	2997	4,08	12,94	148
Wolica			Orłów Drewniany	370	0,17	1,36	35,3
Wieprz			Wirkowice	1991	3,1	9,46	75,8
Łabuńka			Krzak	426	0,34	1,99	22,4
Pór			Zakłodzie	542	0,707	2,96	25,05
Wieprz			Zwierzyniec	390	0,86	2,18	14,4
Tyśmienica			Tyśmienica	Nizinna/lowlands	Tchórzew	2401	1,14
Bystrzyca	Borki	674			0,19	2,81	32,3
Tyśmienica	Siemień	1079			0,24	4,43	51
Piwonia	Parczew	364			0,09	1,67	16
Krzna	Krzna	Małowa Góra	3023		1,11	11,2	124
Krzna		Porosiuki	1187		0,58	4,53	76,5
Zielawa		Perkowice	704		0,2	3,4	39,5
Muława		Rossosz	174		0,017	0,45	9,58

czyk 2008). Według T. Tokarczyk (2010) wartość Q_{70} jest zbliżona w warunkach Polski do wartości SNQ.

Z krzywymi czasów przewyższenia przepływu związana jest również metoda podziału na stany wg. Niesułowskiego (Dębski 1970). W metodzie tej, za granicę stanów niskich przyjmuje się średnią arytmetyczną wszystkich wartości niższych niż wartość średnia roczna.

$$Q_{gn} = \bar{Q}_i \cdot Q_i < \bar{Q}$$

Modyfikację tej metody zaproponowali Z. Michalczyk i J. Paszczyk (2007), wprowadzając przekształcenie logarytmiczne przepływów w celu zmniejszenia asymetrii i stabilizacji wariancji rozkładów. Za wartość graniczną przepływów niżówkowych ustalono:

$$Q_{gns} = EXP \left[\overline{\ln Q} - \frac{\sum_1^N (\ln Q_i \leq \overline{\ln Q})}{N} \right],$$

gdzie $\ln Q$ oznacza średnią wielkość logarytmów dobowych przepływów, a N liczebność logarytmów mniejszych lub równych od wartości średniej (Michalczyk i Paszczyk 2007).

Wychodząc od definicji niżówki mówiącej, że jest to okres, w którym zasilanie rzek jest ograniczone lub odbywa się wyłącznie z zasobów wód podziemnych (Jokiel 2007, Tokarczyk 2008, Raport IMGW 2006), należy wskazać kryterium umożliwiające dobór wartości przepływu granicznego tak, aby ujęty został moment zmiany rodzaju zasilania. Kryterium takie zaproponował Tomaszewski (2012), określając jako przepływ graniczny niżówki (Q_{gen}) punkt załamania tendencji liniowej lub nieliniowej w uszeregowanych niemalejąco ciągach minimów rocznych z badanego okresu (Tomaszewski 2012).

Nie ulega wątpliwości, iż niżówka, jako zdarzenie ekstremalne, niesie ze sobą negatywne konsekwencje dla działalności człowieka oraz środowiska naturalnego. Można zatem na potrzeby analiz przyjmować kryterium gospodarcze określające minimalną ilość wody jaka potrzebna jest na zaspokojenie potrzeb wszystkich użytkowników, powiększoną o wysokość przepływu nienaruszalnego (Ozga-Zielińska i Brzeziński 1994). Ustawa Prawo wodne zakłada jednak możliwość czasowego ograniczenia korzystania z wód w celu ograniczenia skutków suszy (Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229). Z punktu widzenia bytowania i funkcjonowania organizmów wodnych, jak również ze względów sanitarnych i krajo-
brazowych wprowadzono kryterium przyrodnicze określające minimalną wartość przepływu zapewniającą warunki do prawidłowego funkcjonowania ekosystemu rzeczno-
gę. Zarówno w literaturze, jak i prawnie wartość taką nazywa się przepływem nienaruszalnym (Ozga-Zielińska, Brzeziński 1994, Dz.U. 2013 poz. 1205), a do wyznaczenia jego wartości służy parametryczna metoda Kostrzewy (1977) oparta o kryterium hydrobiologiczne. Jest to metoda, zgodnie z warunkami korzystania z wód w regionach wodnych, obligatoryjna, a przyjmowany przepływ nienaruszalny wyznaczony inną metodą nie może być niższy od wartości przepływu nienaruszalnego wyznaczonego metodą Kostrzewy (Operacz 2015). Przepływ wyznacza się na podstawie zależności:

$$Q_{\text{gnh}} = k * \text{SNQ},$$

gdzie wartości parametru k zależne są od wielkości zlewni oraz jej typu hydrologicznego, będącego estymatorem spadku cieką, i zostały zamieszczone w pracy H. Kostrzewy (1977).

W przypadku krótkich serii pomiarowych lub ich braku długości istnieje możliwość wyznaczenia wartości przepływów granicznych za pomocą empirycznych wzorów Iszkowskiego. Do obliczenia tej wartości służy wzór na wodę średnią niską, odpowiadającej średniej wielkości przepływu w okresie przepływów niżówkowych (Dębski 1970):

$$Q_1 = 0,4 * v * Q_{\text{sr}}$$

Wartość współczynnika v uzależniona jest od zdolności retencyjnej zlewni, a sposób wyznaczania tego parametru został przedstawiony w pracy K. Dębskiego (1970).

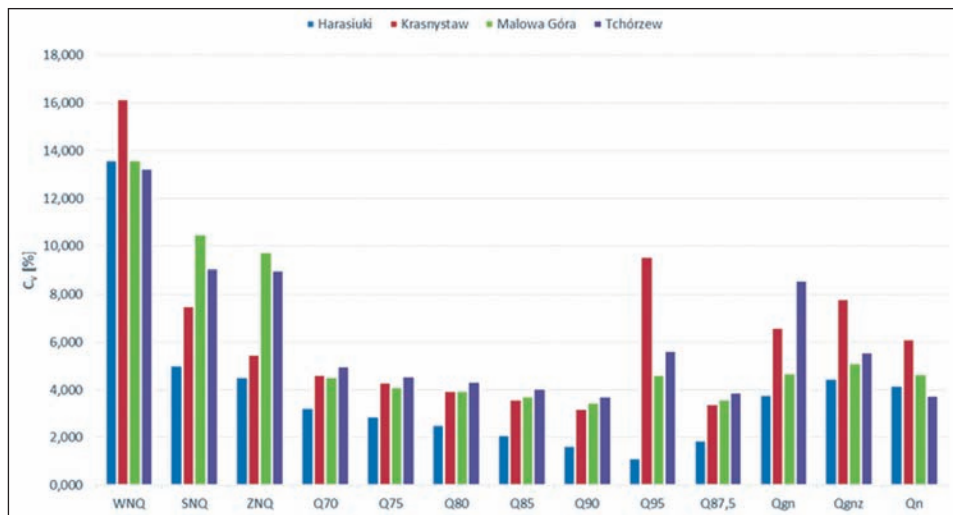
W niniejszej pracy obliczone zostały wartości wszystkich wskazanych powyżej kryteriów określania przepływów granicznych niżówki, dla 17 przekrojów wodowskazowych. W analizie zmienności zastosowano podstawowe charakterystyki statystyczne, takie jak średnia arytmetyczna (μ), odchylenie standardowe (σ) oraz współczynnik zmienności (C_v). Analizie poddano również częstość występowania przepływów równych oraz niższych od danego kryterium granicznego, jak również liczbę pojawiających się epizodów niżówkowych. W celu wykluczenia chwilowych obniżen poziomu wody w cieką założono dodatkowo, że niżówką nazywamy ciąg minimum 10 dni o przepływie spełniającym warunek graniczny. Przeprowadzona została również analiza zmienności przepływów granicznych wyznaczanych wskazanymi metodami, w zależności od długości stosowanego ciągu pomiarowego. Dla określenia prawdopodobieństwa przewyższenia wyznaczonych przepływów II stopnia wykorzystano krzywe KCPP, z których dla zadanej wartości przepływu odczytano wartość prawdopodobieństwa.

WYNIKI

Spośród wszystkich kryteriów najwyższe wartości przyjmowały parametry graniczne wyznaczone metodą Q_{70} , 14 na 17 przypadków. W pozostałych 3 przypadkach najwyższa wartość wyznaczona była parametrem WNQ. Najniższe wartości uzyskano dla przepływu nienaruszalnego oraz przepływów uzyskanych za pomocą wzorów Iszkowskiego. Przepływy te były zbliżone do wielkości przepływu najniższego w badanym okresie (NNQ). Dla pozostałych przypadków najniższe wartości przepływów otrzymano, stosując kryterium ZNQ (13 przy-

padków). Zbliżone wartości uzyskano przy zastosowaniu kryterium SNQ (gdyby w analizie nie uwzględniono kryterium ZNQ, wartość ta byłaby najniższa również w 13 przypadkach). Na 3 wodowskazach najniższą wartość przepływu granicznego wskazywała zmodyfikowana metoda Niesułowskiego, jednak wartości te były bardzo zbliżone do SNQ.

Istotną cechą świadczącą o uniwersalności stosowanego kryterium jest jego nieduża podatność na zmiany wynikające z długości stosowanych ciągów pomiarowych. Badane kryteria poddano analizie zmienności w zależności od długości ciągu, wyznaczając wartość wszystkich parametrów dla ciągów o długości od 15 do 60 lat. Z przeprowadzonej analizy wynika, że największą wrażliwością na zmiany długości ciągów pomiarowych cechują się kryteria oparte na przepływach charakterystycznych II stopnia. Dla przepływu WNQ współczynnik zmienności wynosił ponad 14%, dla SNQ – 8%, a dla ZNQ – 7,1% (Ryc. 2). Tak wysoką zmienność przepływów opartych na wartości WNQ wykazywał również Tomaszewski (2012), wskazując, że wystąpienie nawet jednego wyjątkowo mokrego roku wpływa na zawyżenie wartości granicznej w całym analizowanym wieloleciu. Parametry uzyskane metodą Niesułowskiego oraz jej modyfikacją cechowały się zbliżonym poziomem zmienności, odpowiednio 5,9% i 5,8%. Najmniejszą podatnością na zmiany wywołane skracaniem ciągu pomiarowego wykazały parametry oparte na krzywych KCPP. Dla prawdopodobieństwa w zakresie 70–85%, współczynnik zmienności wahał się w przedziale 3,5–4,4%, górna wartość tego

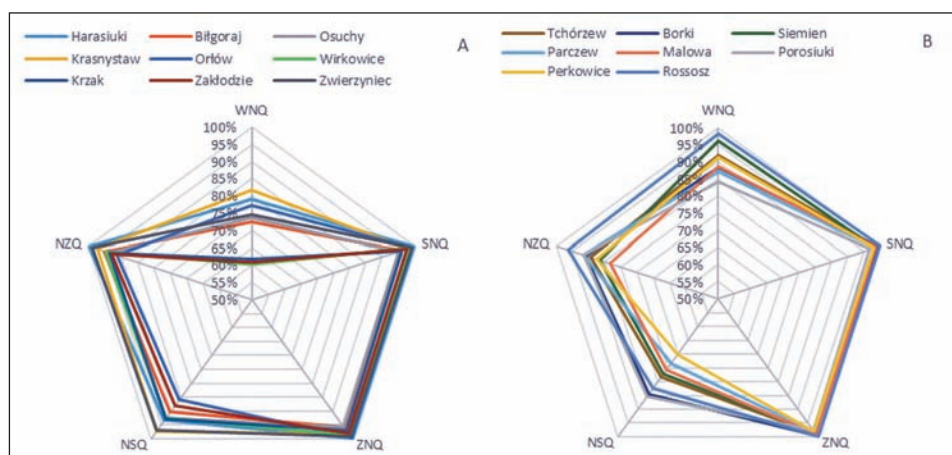


Ryc. 2. Współczynnik zmienności przepływów granicznych wyznaczonych dla ciągów pomiarowych liczących od 15 do 60 lat

Fig. 2. Coefficient of variation of threshold level values calculated for observation series covering from 15 to 60 years

przedziału odpowiadała również zmienności współczynnika opartego na przepływie nienaruszalnym. Dla prawdopodobieństwa 87,5% i 90%, współczynnik zmienności był najniższy i wynosił odpowiednio 3,2% i 3%. Najwyższą zmiennością w metodzie krzywych KCPP cechował się kwantyl 95%.

W celu porównania wartości przepływów granicznych wyznaczanych metodą przepływów charakterystycznych II stopnia i krzywych KCPP, na wykreślone krzywe naniesiono wartości przepływów charakterystycznych. Z przeprowadzonej analizy wynika, że wielkości przepływów WNQ w zlewniach południowych, o charakterze wyżynnym mieściły się w zakresie prawdopodobieństwa 60–80%, ze średnią wynoszącą 75% dla rzek dorzecza Tanwi oraz 69% dla rzek dorzecza górnego Wieprza (Ryc. 3). Rzeki położone w części północnej, o charakterze nizinnym, charakteryzowały się wyższym rozkładem prawdopodobieństwa przewyższenia. Stosunkowo nieduży zakres prawdopodobieństwa przewyższenia wykazały przepływy SNQ, które w całym badanym obszarze przyjmowały wartości rzędu 94–99%.

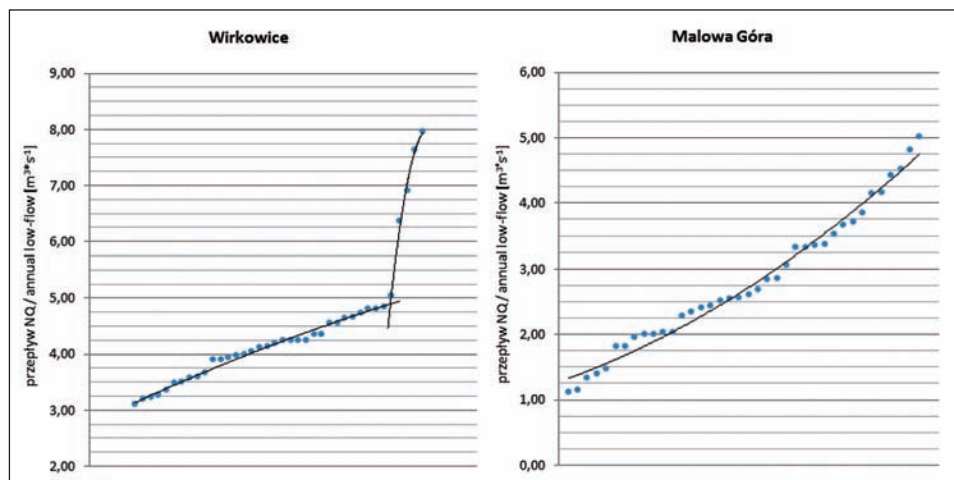


Ryc. 3. Kwantyl prawdopodobieństwa dla przepływów charakterystycznych II stopnia odczytany z KCPP, A – zlewnie południowe, wyżynne, B – zlewnie północne, nizinne

Fig. 3. Quantile of probability for characteristic flows determined from FDC, A – south catchments, uplands, B – north catchments, lowlands

Analiza wykazała zbliżenie wartości otrzymywanych za pomocą wskaźnika Q_{gen} do wartości SNQ (niewielkie przewyższenie) i Q_{95} . W większości przypadków wartość przepływu granicznego wyznaczonego kryterium genetycznym zawierała się w przedziale pomiędzy wartościami SNQ a Q_{95} . Niestety w badanym obszarze kryterium genetyczne możliwe było do zastosowania tylko w południowej części obszaru, w zlewniach wyżynnych. Związane jest to z odmienną strukturą hydrogeologiczną. W obszarze południowym w obiegu wody uczest-

niczą wody piętra kredy oraz pokrywy czwartorzędowej. Warstwa kredy zanika w kierunku północnym, gdzie w obiegu wody uczestniczą płytko położone zasoby piętra czwartorzędowego [Wiater 2014]. Niemalające ciągi minimów dla zlewni północnych nie wykazywały zmian w trendach we wszystkich badanych przypadkach (Ryc. 5).



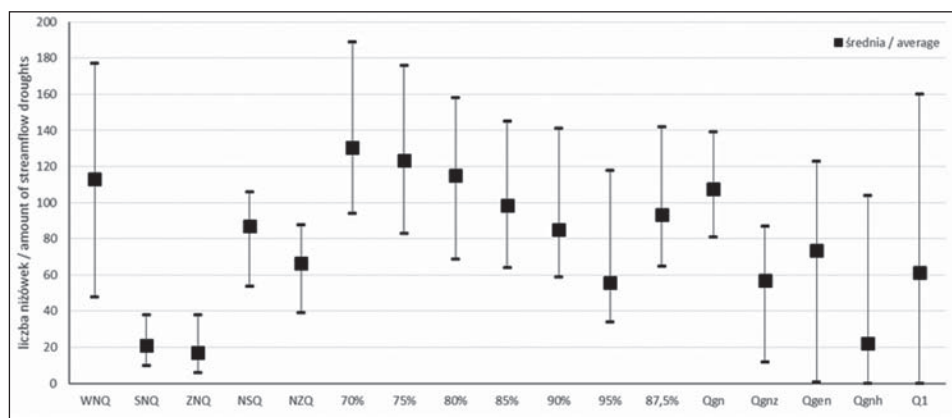
Ryc. 4. Przykłady zastosowania kryterium genetycznego do wyznaczenia przepływu granicznego w zlewni wyżynnej (Wirkowice) oraz nizinnej (Malowa Góra)

Fig. 4. Example of genetic criteria application to determine threshold flow in south catchment (Wirkowice) and north catchment (Malowa Góra)

Większość wartości przepływu granicznego uzyskanych metodą Niesułowskiego plasowała się w przedziale prawdopodobieństwa przewyższenia 75–85%. Uzyskane tą drogą wyniki były wyższe niż przepływ genetyczny Q_{gen} i przepływy SNQ, lecz niższe niż przepływy WNQ w obszarze wyżynnym. W strefie nizinnej wartości te zawierały się w przedziale pomiędzy przepływami WNQ a Q_{75} . Przepływy graniczne uzyskane zmodyfikowaną metodą Niesułowskiego zawierały się w przedziale przepływów SNQ a Q_{gen} w obszarze wyżynnym. W zlewniach północnych przepływy te były wyższe od SNQ.

Wychodząc z założenia, że niżówka jest zjawiskiem ekstremalnym, które nie występuje każdego roku, istotną jest ocena częstości jej pojawiania się, czyli określenie występowania przepływów niższych i równych przepływowi granicznemu. W takim ujęciu można oceniać parametr graniczny pod kątem identyfikacji liczby wszystkich dni z przepływem spełniającym warunek graniczny oraz liczby niżówek opisywanych, jako 10-dniowa sekwencja przepływów niższych lub równych zadanemu Q_g . Na Ryc. 6 zestawiona została średnia, minimalna i maksymalna liczba niżówek w zależności od stosowanego kryterium, jakie zidentyfikowano na badanym obszarze. Można zauważyć, że największy przedział zmienności wy-

stąpił w przypadku metody WNQ oraz wzorów Iszkowskiego. Przyjmując jako przepływ graniczny wartość WNQ, Q_{70} – Q_{80} oraz metodą Niesułowskiego, otrzymano występowanie średnio trzech niżówek w ciągu roku. Z kolei najmniejszą liczbę niżówek uzyskano przy zastosowaniu kryteriów granicznych SNQ oraz ZNQ, średnio jedna niżówka w okresie dwóch lat.



Ryc. 5. Liczba niżówek występujących w badanym okresie we wszystkich badanych zlewniach
Fig. 5. Number of streamflow droughts in the investigated period in all catchments

WNIOSKI I DYSKUSJA

Z przeprowadzonej analizy metod wyznaczania przepływów granicznych służących identyfikacji niżówek rzecznych wynika jednoznacznie, że wartości progowe wskaźników WNQ, Q_{70} oraz Q_{75} osiągają najwyższe wartości w analizowanej grupie charakterystyk. W efekcie ich stosowania, niżówki mogą pojawiać się nawet pięć razy w ciągu roku, a liczba dni o przepływie równym lub niższym od tak przyjętego przepływu granicznego sięga nawet 40% długości całego badanego okresu. Dodatkowo wartość WNQ charakteryzuje się bardzo wysoką i skokową zmiennością w zależności od długości serii obserwacyjnej, na co zwracali uwagę również E. Tomaszewski (2012) oraz M. Ozga-Zielińska, J. Brzeziński (1994). Można to wytłumaczyć bezpośrednim przekładem na wartość, wystąpienia nawet jednego mokrego lub bardzo mokrego roku, w którym wysokość minimalnego przepływu może plasować się w przedziale przepływów znacznie wyższych od minimów z wielolecia (Ozga-Zielińska, Brzeziński 1994). W takim przypadku problematyczna staje się analiza niżówek w oparciu o wartość graniczną zawyżoną przez jeden rok, bez względu na charakter pozostałych lat (Tomaszewski 2012). Zdecydowanie najwyższe wartości przepływów granicznych uzyskane zostały przy użyciu kryterium Q_{70} . Skrajnie niskie wartości przepływów granicznych uzyskano poprzez zastosowanie metody przepływu nienaruszalnego oraz

metody Iszkowskiego. W obu przypadkach w niektórych przekrojach, w ciągu całego badanego okresu niżówki opisywane tymi kryteriami nie wystąpiły. Najniższe wartości przepływów granicznych, przy pominięciu wspomnianych dwóch metod, zostały uzyskane przy zastosowaniu metody SNQ oraz zmodyfikowanej metody Niesułowskiego. Przy tak dobieranych warunkach granicznych niżówki występowały od 2 razy rocznie do jednego wystąpienia na dwa lata, co umożliwia określenie zjawiska jako wyjątkowe, niepowtarzające się każdego roku (Ozga-Zielińska 1990). Wartości te były również do siebie zbliżone, z nieznacznym przewyższeniem po stronie wartości uzyskanych zmodyfikowaną metodą Niesułowskiego. T. Tokarczyk (2010) stwierdziła zbieżność wartości Q_{70} z przepływami SNQ, jednak z przeprowadzonej analizy wynika, że przepływy o kwantylu prawdopodobieństwa 70% bardziej zbliżone były do wartości WNQ. Kwantyl prawdopodobieństwa przewyższenia przepływu SNQ wynosił, około 95%, co jest z kolei zbieżne z wynikami uzyskanymi przez J. Stachy (1990). Wartość SNQ wskazywała stosunkowo wysoką wrażliwość na zmiany długości ciągów (około 8%). Lepszą odporność wykazały metody Niesułowskiego oraz jej modyfikacja ($C_v \approx 5,8\%$). Wartości położone najbliższej mediany uzyskano przy stosowaniu kryteriów Q_{90} , $Q_{87,5}$. Przepływy określone w taki sposób charakteryzowały się również największą odpornością na zmiany długości ciągów obserwacyjnych (C_v rzędu 3%) oraz występowaniem średnio dwóch niżówek w roku. Kryterium genetyczne Q_{gen} , które z punktu widzenia definicji wydaje się odpowiednie okazało się niemożliwe do zastosowania w połowie badanych przypadków ze względu na brak zmian w trendach niemalejących ciągów minimalnych przepływów rocznych. Fakt ten jest bezpośrednio związany z odmienną budową hydrogeologiczną obszarów. W części południowej, gdzie możliwe było zastosowanie wskaźnika genetycznego w obiegu wody uczestniczą strukturą wodonośne piętra zarówno czwartorzędowego, jak i niższych pięter kredy i jury. Zasobność wodna obszaru północnego jest niższa ze względu na drenaż wód przez rzeki wcięte w doliny poniżej Rostocza (Wiater 2014). Szerokie zastosowanie przepływu granicznego w oparciu o 90% kwantyl prawdopodobieństwa, niewielka zmienność tego parametru w zależności od długości serii pomiarowej, a także niewysoka wartość przepływu pozwalają na wskazanie kryterium Q_{90} jako metody odpowiedniej do identyfikacji niżówek płytkich w badanym obszarze, natomiast do identyfikacji niżówek głębokich przepływ SNQ.

LITERATURA

- Bartczak A., Głazik R., Tyszkowski S., 2014. *Identyfikacja i ocena intensywności okresów suchych we wschodniej części Kujaw*, [w:] Nauka Przyroda Technologie, tom 8 zeszyt 4 #46, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- Byczkowski A., 1999. *Hydrologia, tom II*, Wyd. II, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

- Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229 – Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. *Prawo wodne*.
- Dz.U. 2013 poz. 1205 – Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o *ochronie gruntów rolnych i leśnych*, tekst jednolity.
- Dębski K., 1970. *Hydrologia*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- Jokiel P., 2007. *Przepływy ekstremalne wybranych rzek środkowej Polski w latach 1951–2000*, [w:] Acta Universitatis Lodzianis Folia Geographica Physica 8, Łódź.
- Kaznowska E., Chudy Ł., 2006. *Niżówki i wezbrania górnej Wilgi*, w: Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 6 z. 2 (18), Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Falenty, 175–190.
- Kaznowska E., 2012. *Wieloletnie tendencje w kształtowaniu się wybranych charakterystyk niżówek w zlewni rzeki Zagożdżonki*, [w:] Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, nr 3/IV/2012, Polska Akademia Nauk, Kraków, 215–227.
- Kostrzewa H., 1977. *Weryfikacja kryteriów i wielkości przepływu nienaruszalnego dla rzek Polski*, Materiały Badawcze, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, IMGW Warszawa.
- Kostuch M., 2004. *Charakterystyka niżówek w potokach górskich w zlewniach o różnej lesistości*, [w:] *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 4 z. 2a (11), Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Falenty, 63–71.
- Łabędzki L., 2006. *Susze rolnicze zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji*, Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Michalczyk Z., Paszczyk J., 2007. *Założenia metodyczne analizy wezbrań i niżówek rzek południowo-wschodniej Polski (próba metodyczna na przykładzie lat 1976-1980)*, [w:] *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, 385–393.
- Operacz A., 2015. *Wyznaczenie wartości przepływu nienaruszalnego w inwestycjach związanych z wodami powierzchniowymi według metody Kostrzewy*, [w:] *Ekonomia i Środowisko*, 1 (52), Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 100–109.
- Ozga-Zielińska M., 1990. *Niżówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie*, w: *Przegląd Geofizyczny*, rocznik XXXV, zeszyt 1–2, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 33–44.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994. *Hydrologia stosowana*, wyd. II, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., Ozga-Zieliński B., 1999. *Zasady obliczania największych przepływów rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia przy projektowaniu obiektów budownictwa hydrotechnicznego: długie ciągi pomiarowe przepływów*, Materiały Badawcze IMGW Hydrologia i Oceanologia, Wydawnictwo IMGW, Warszawa, ss. 45.
- Raport IMGW, 2006. *Susza w Polsce – 2006 rok (przyczyny, natężenie, zasięg, wnioski na przyszłość)*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Stachy J., 1990. *Przepływ średni niski SNQ jako miarodajna charakterystyka projektowa*, [w:] *Przegląd Geofizyczny*, rocznik XXXV, zeszyt 1–2, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 45–54.
- Tokarczyk T., 2008. *Wskaźniki oceny suszy stosowane w Polsce i na świecie*, [w:] *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, nr 7/2008, Polska Akademia Nauk, Kraków, 167–182.
- Tokarczyk T., 2010. *Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej*, IMGW Warszawa.
- Tomaszewski E., 2012. *Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, ss. 265, ISBN 978-83-7525-771-7.
- Węglarczyk S., 2014a. *Kryteria definicyjne niżówki i ich wpływ na własności charakterystyk niżówki. 1. Stacjonarność niżówek*, [w:] *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, nr II/1/2014, Polska Akademia Nauk, Kraków, 251–263.
- Węglarczyk S., 2014b. *Krzywe czasu przewyższenia przepływu w zlewni Małej Wisły*, [w:] *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, nr II/1/2014, Polska Akademia Nauk, Kraków, 145–157.
- Wiater Z., 2014. *Studnie wiercone i hydrogeologia Lubelszczyzny*, Wydawnictwo Norbertinum, Lublin, ss. 110, ISBN 978-83-7222-512-2.

- Yevjevich V., 1967. *An objective approach to definitions and investigations of Continental hydrologic droughts*, Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Zielińska M., 1963a. *Niżówki letnie rzek polskich*, [w:] Gospodarka Wodna, 4/1963 (196) rok XXIII, Wydawnictwa Czasopism Technicznych NOT, Warszawa.
- Zielińska M., 1963b. *Statystyczne metody opracowania niżówek*, [w:] Przegląd Geofizyczny, rocznik VIII (XVI), zeszyt 1–2, Polskie Towarzystwo Meteorologiczne i Hydrologiczne, Warszawa, 75–87.

SUMMARY

The most common method to identify periods of streamflow drought is threshold level method (TLM), in which streamflow drought is considered to be a period in which river flows drop below established flow value. In literature there are many ways of determining value of this parameter, however, it still remains a subjective matter of the researcher. This paper summarizes and analyzes most common methods of determining threshold level for flows as well as identifies advantages and disadvantages of their use. The analysis was conducted for hydrological years 1976–2013 in 17 river profiles located in the Lublin region. The results indicate a high resistance to changes of value, due to length of observation periods for flows specified by methods of Q_{90} and $Q_{87.5}$ determined from flow duration curves (FDCs). The lowest values of threshold level were obtained by using mean annual low flow and modified Niesułowski method, whose values were also comparable. The highest threshold levels were obtained by using Q_{70} and highest from low-flows criteria, which led to occurrence of long streamflow droughts even five times during a year. Due to different hydrogeological structure, genetic criterion was not possible to use in rivers located in lowland area. A value of Q_{90} is recommended as threshold level from all analyzed methods to identify streamflow droughts, and mean annual low flow for analyses of deep periods of droughts.

