

Wpłynęło 28.12.2011 r.
Zrecenzowano 27.03.2012 r.
Zaakceptowano 14.05.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OBLICZANIE PRZEPIŁYWÓW MAKSYMALNYCH ROCZNYCH O OKREŚLONYM PRAWDOPODOBIENSTWIE PRZEWYŻSZENIA W MAŁEJ ZLEWNI Z ZASTOSOWANIEM METOD STATYSTYCZNYCH ORAZ METOD POŚREDNICH

**Kazimierz BANASIK^{ACDEF}, Andrzej BYCZKOWSKI^{ACDEF},
Leszek HEJDUK^{CDE}, Jacek GŁADECKI^B**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Inżynierii Wodnej

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki obliczeń przepływów maksymalnych rocznych prawdopodobnych (WQ_p), określonych metodami statystycznymi oraz metodami pośrednimi, w małej zlewni rzeki Zagożdżonka, położonej na Równinie Radomskiej, ok. 100 km na południe od Warszawy. Dane do obliczeń statystycznych pochodzą z własnych badań hydrologicznych, prowadzonych przez Katedrę Inżynierii Wodnej SGGW (d. Katedrę Budownictwa Wodnego) od 1962 r. Wyniki porównań wykazują znaczne różnice między wartościami WQ_p , określonymi różnymi metodami. Uzasadnia to potrzebę doskonalenia metod pośrednich wyznaczania przepływów maksymalnych prawdopodobnych w małych zlewniach rzecznych.

Słowa kluczowe: charakterystyki hydrologiczne, małe zlewnie, przepływy prawdopodobne

WSTĘP

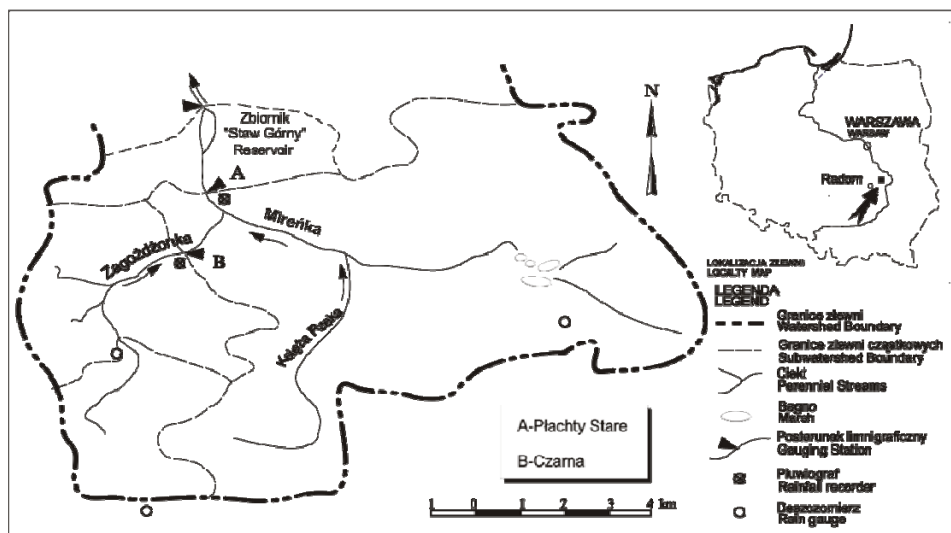
W praktyce inżynierskiej przepływy maksymalne roczne o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia są podstawową charakterystyką hydrologiczną.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. inż. K. Banasik, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Inżynierii Wodnej, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa; tel.: +48 22 593-52-80, e-mail: Kazimierz_Banasik@sggw.pl

Dla zlewni, w których istnieją wieloletnie ciągi obserwacyjne, przepływy te określa się z zastosowaniem ogólnie przyjętych metod, opartych na analizie krzywych prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych. Dyskusyjne mogą być zagadnienia doboru właściwego typu rozkładu prawdopodobieństwa oraz metody szacowania parametrów tego rozkładu.

Inaczej przedstawia się sprawa w przypadku zlewni, w których nie są prowadzone wieloletnie obserwacje stanów wody oraz pomiary przepływu. Wówczas stosuje się metody pośrednie, charakteryzujące się znacznie większym stopniem niepewności. Są to metody analogii hydrologicznej oraz metody empiryczne.

W pracy przeprowadzono obliczenia przepływów maksymalnych rocznych (WQ_p) metodami statystycznymi oraz metodami pośrednimi dla małej zlewni nizinnej rzeki Zagożdżonka, położonej ok. 100 km na południe od Warszawy, będącej lewobrzeżnym dopływem Wisły w jej środkowym biegu (rys. 1). Na rzece Zagożdżonka w profilu Płachty Stare, zamykającym zlewnię o powierzchni $A = 82,4$ km², Katedra Inżynierii Wodnej SGGW (d. Katedra Budownictwa Wodnego) prowadzi badania hydrologiczne od lata 1962 r. [BYCZKOWSKI i in. 2001].



Rys. 1. Zlewnia rzeki Zagożdżonka; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Location of the Zagożdżonka River catchment; source: own elaboration

OSZACOWANIE PRZEPIYWÓW MAKSYMALNYCH ROCZNYCH WQ_p METODAMI STATYSTYCZNYMI

Problematyka oszacowania przepływów maksymalnych WQ_p na podstawie danych pomiarowych (metodami statystycznymi) została szeroko omówiona w litera-

turze hydrologicznej [BYCZKOWSKI 1999; KACZMAREK 1970; OZGA-ZIELIŃSKA, BRZEZIŃSKI 1994]. Autorzy w wielu artykułach przeprowadzili rozważania nad dobozem właściwej metody obliczeniowej WQ_p dla rzeki Zagożdżonka [BANASIK i in. 2003; BANASIK, BYCZKOWSKI 2006; 2007; 2010; 2011; BYCZKOWSKI i in. 2005].

W niniejszej pracy badania oparto na ciągu przepływów maksymalnych z okresu 48 lat (1963–2010). Obliczenia przeprowadzono z zastosowaniem dwóch metod. Jedną z nich jest metoda alternatywy zdarzeń (MAZ), uwzględniająca genezę zjawisk, rekomendowana przez IMGW [OZGA-ZIELIŃSKA i in. 1999]. W metodzie tej obliczenia przepływów prowadzi się na podstawie dwóch zbiorów przepływów maksymalnych, złożonych z kulminacji zimowych, wywołanych roztopami oraz kulminacji letnich, pochodzenia opadowego. Drugą metodą, przyjętą w opracowaniu, jest metoda tradycyjna, opierająca się na maksymalnych przepływach, jakie wystąpiły w danym roku hydrologicznym (AM). Przepływy maksymalne obliczono, wykorzystując program komputerowy Q_{maxp} [OZGA-ZIELIŃSKA i in. 1999], opracowany w IMGW.

Obliczenia przepływów WQ_p poprzedzono analizą jednorodności ciągu pomiarowego za pomocą metod statystycznych. Zbadano:

- elementy odstające wg testu Grubbsa-Becka,
- niezależność elementów próby wg testu „run”,
- stacjonarność ciągu z zastosowaniem trzech testów:
 - Kruskala-Wallisa,
 - współczynnika Spearmana na trend wartości średniej,
 - korelacji rangowej Spearmana na trend wariancji.

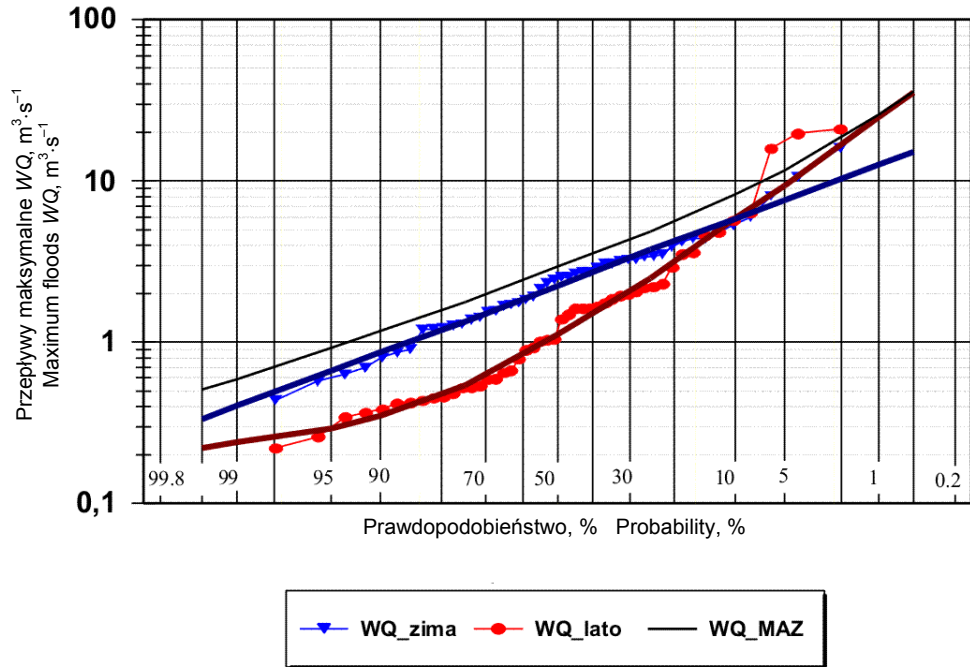
Badania jednorodności obu ciągów przepływów maksymalnych (tj. MAZ i AM) wskazują, że 48-letnie ciągi spełniają wszystkie warunki jednorodności na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Doboru najbardziej wiarygodnej funkcji rozkładu prawdopodobieństwa, spośród rozkładów o dolnym ograniczeniu $x = \varepsilon \geq 0$, dokonano z zastosowaniem informacyjnego kryterium Akaikego [MUTUA 1994].

Przeprowadzona analiza wykazała, że rozkład logarytmiczno-normalny najlepiej aproksymuje empiryczne ciągi przepływów maksymalnych zimowych i letnich. Wprawdzie ciąg przepływów maksymalnych rocznych nieco lepiej, wg kryterium Akaikego, aproksymuje rozkład Weibulla, jednak z uwagi na uzyskanie porównywalności wyników, dla tego ciągu przyjęto również rozkład logarytmiczno-normalny.

Wyniki obliczeń (rys. 2, tab. 1) umożliwiają stwierdzenie, że krzywe prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych zimowych i letnich wykazują znaczne różnice w kształcie: krzywa dla maksimów letnich wykazuje większą zmienność i asymetrię niż dla maksimów zimowych.

Współczynniki zmienności wynoszą odpowiednio: dla zimy $c_v = 0,908$; dla lata $c_v = 1,67$; natomiast współczynniki asymetrii wynoszą: dla zimy $c_s = 2,89$; dla lata



Rys. 2. Krzywe prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych zimowych i letnich oraz rocznych wg metody alternatywy zdarzeń (WQ_MAZ) rzeki Zagożdżonka w profilu Płachty Stare; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Probability curves of the seasonal (winter and summer) and annual maximum floods estimated with the method of alternative events for the Zagożdżonka River at Płachty Stare gauge; source: own studies

Tabela 1. Porównanie wyników obliczeń przepływów maksymalnych ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) rocznych, obliczonych różnymi metodami; rzeka Zagożdżonka, profil Płachty Stare, okres 1963–2010

Table 1. Comparison of annual flood flows ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) calculated with various methods; the Zagożdżonka River, Płachty Stare gauge, period 1963–2010

$p\%$	Przepływy WQ_p wg metody Flood flow WQ_p according to		Różnica Difference $\Delta = WQ_{AM} - WQ_{MAZ}$ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Błąd względny Relative error $\delta = \Delta / WQ_{MAZ}$ 100%
	maksimów rocznych annual maxima AM	alternatywy zdarzeń alternative events MAZ		
0,1	50,9	73,3	-22,4	-30,5
1	24,3	25,6	-1,3	-5,1
5	12,7	11,6	+1,1	+9,5
10	8,98	8,21	+0,77	+9,4
50	2,79	2,93	-0,14	-4,8

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

$c_s = 3,15$. Jednocześnie wartości średnie wykazują odwrotną kolejność: dla zimy $SWQ_z = 2,97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dla lata $SWQ_L = 2,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Można stwierdzić, że przepływy letnie są większe niż zimowe dla $p \leq 10\%$; dopiero dla większych wartości okresu powtarzalności przepływy zimowe są większe niż letnie (rys. 2). Wynika stąd, że kulminacje zimowe charakteryzują się mniejszą zmiennością i asymetrią, co świadczy o tym, że w okresie wieloletnim nie są w dużym stopniu zróżnicowane. Kulminacje letnie, będące wynikiem opadów o dużej wydajności i natężeniu, mogą przyjmować bardziej zróżnicowane wartości, z uwagi na dużą losowość występowania wysokich opadów.

Porównując wartości przepływów, obliczone metodami alternatywy zdarzeń (MAZ) i kulminacji rocznych (AM) można zauważyć, że do granicy $p \leq 1\%$ przewagę mają przepływy obliczone metodą MAZ. Dla większych wartości prawdopodobieństwa przewyższenia ($p\%$), większe są przepływy obliczone metodą AM (przy czym dla $p = 50\%$ znowu większe wartości przyjmują przepływy obliczone metodą MAZ).

OSZACOWANIE PRZEPIYWÓW MAKSYMALNYCH ROCZNYCH METODAMI POŚREDNIMI

W pracy zastosowano dwie metody pośrednie:

- metodę map obszarowego rozkładu odpływów jednostkowych (izorei),
- metodę regionalnych krzywych prawdopodobieństwa.

OSZACOWANIE PRZEPIYWÓW MAKSYMALNYCH ROCZNYCH NA PODSTAWIE MAP IZOREI

Do oszacowania wartości przepływów maksymalnych rocznych wykorzystano mapy obszarowego rozkładu maksymalnych odpływów jednostkowych, zawarte w Atlasie hydrologicznym Polski [STACHY 1987]. Podane są w nim izoreje maksymalnych odpływów jednostkowych Wq_p dla $p = 1\%$ oraz $p = 50\%$.

Wartości przepływów maksymalnych oblicza się ze wzoru:

$$WQ_p = Wq_p A \quad (1)$$

gdzie:

WQ_p – przepływ maksymalny o prawdopodobieństwie przewyższenia $p\%$, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

Wq_p – maksymalny odpływ jednostkowy o prawdopodobieństwie przewyższenia $p\%$, odczytywany z Atlasu hydrologicznego Polski, $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Wyniki obliczeń przepływów maksymalnych dla $p = 1\%$ i 50% podano w tabeli 2.

Tabela 2. Porównanie wartości przepływów maksymalnych rocznych WQ_p obliczonych metodą statystyczną – MAZ oraz na podstawie mapy odpływów jednostkowych (izorei)

Table 2. Comparison of maximum annual flood flows WQ_p calculated with the statistical method MAZ and based on map of specific discharges

$p\%$	Metoda statystyczna MAZ Statistical method MAZ $m^3 \cdot s^{-1}$	Metoda pośrednia (mapa odpływów jednostkowych) Indirect method (map of specific discharges)		Różnica Difference $\Delta = Q_{\text{pośr.}} - Q_{\text{bezp.}}$ $m^3 \cdot s^{-1}$	Błąd względny Relative error $\delta = \Delta / Q_{\text{bezp.}} \cdot 100\%$
		$m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	$m^3 \cdot s^{-1}$		
1	25,6	0,375	30,9	5,3	20,7
50	2,93	0,065	5,36	2,43	82,1

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

OSZACOWANIE PRZEPLYWÓW MAKSYMALNYCH ROCZNYCH METODĄ REGIONALNYCH KRZYWYCH PRAWDOPODOBIEŃSTWA

Metoda ta opiera się na kwantylach bezwymiarowej krzywej prawdopodobieństwa μ_p , obliczanych ze wzoru:

$$\mu_p = \frac{WQ_p}{WQ_{50\%}} \quad (2)$$

gdzie:

μ_p – kwantyl bezwymiarowej krzywej prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych,

$WQ_{50\%}$ – przepływ maksymalny o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 50\%$, $m^3 \cdot s^{-1}$.

Wartości kwantyli μ_p zostały określone przez STACHY i FAL [1986] dla wszystkich stacji wodowskazowych w Polsce, dla których istniały długie serie obserwacyjne. Obszar Polski podzielono na 12 regionów, dla których obliczono średnie wartości μ_p dla wszystkich zlewni w danym rejonie. W ten sposób otrzymano rzędne regionalnych bezwymiarowych krzywych prawdopodobieństwa μ_p dla każdego regionu.

Wartości przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwie przewyższenia $p\%$ oblicza się z zależności:

$$WQ_p = \mu_p WQ_{50\%} \quad (3)$$

gdzie: μ_p i $WQ_{50\%}$, jak we wzorze (2).

Metoda ta umożliwia obliczanie przepływów maksymalnych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia na podstawie krótkich ciągów obserwacyj-

nych ($N < 15$ lat). Na podstawie danych z krótkiego okresu określa się wartość $WQ_{50\%}$, a następnie, przyjmując μ_p dla danego regionu, ze wzoru (3) oblicza się WQ_p .

W pracy określono wartości $\mu_{1\%}$ różnymi sposobami:

- jako ilorazy wartości $WQ_{1\%}$ i $WQ_{50\%}$, otrzymanych metodą statystyczną (bezpośrednią);
- jako ilorazy wartości $WQ_{1\%}$ i $WQ_{50\%}$, obliczonych na podstawie maksymalnych odpływów jednostkowych, określonych z mapy izorei;
- jako średnią dla regionu 4a.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości kwantyli bezwymiarowej krzywej prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych rocznych, określonych metodą statystyczną i metodą pośrednią

Table 3. Dimensionless flood quantiles of maximum annual flows estimated with direct and indirect methods

p%	Metoda bezpośrednia (statystyczna) Direct (statistical) method		Metoda pośrednia Indirect method	
	alternatywy zdarzeń based on alternative events MAZ	maksimów rocznych based on annual floods AM	wg mapy Wq acc. to map of specific discharges	wg kwantyli regionalnych acc. to regional quantiles
1	25,6	24,3	30,9	–
50	2,93	2,79	5,36	–
$\mu_{1\%}$	8,73	8,71	5,76	4,30

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

W pracy porównano wyniki obliczeń przepływów WQ_p , określonych metodą statystyczną oraz metodami pośrednimi. Wartości WQ_p obliczone metodą statystyczną oraz metodą izorei zestawiono w tabeli 2. Analizując wartości podane w tej tabeli zauważyć można dużą różnicę między porównywanymi wartościami. O ile przepływy $WQ_{1\%}$ różnią się między sobą o ok. 20%, to wartości $WQ_{50\%}$ wykazują bardzo duże różnice.

Przechodząc do metody regionalnych krzywych prawdopodobieństwa, jako wartość $WQ_{50\%}$ przyjęto przepływ otrzymany metodą statystyczną, natomiast kwantyl $\mu_{1\%}$ przyjęto jako wartość regionalną ($\mu_{1\%} = 4,30$). Wyniki obliczeń podano w tabeli 4. Wartości przepływu $p = 1\%$ różnią się od siebie o ok. 51%, przy czym większą wartość otrzymano po zastosowaniu metody statystycznej.

Tabela 4. Porównanie wartości przepływów maksymalnych rocznych $WQ_{1\%}$, obliczonych metodą statystyczną MAZ oraz metodą regionalnych krzywych prawdopodobieństwa

Table 4. Comparison of maximum annual flood flows $WQ_{1\%}$ calculated with the statistical method MAZ and based on probability curves

$p\%$	Metoda statystyczna MAZ Statistical method MAZ $WQ_{1\%}$ $m^3 \cdot s^{-1}$	Metoda pośrednia (regionalne krzywe prawdopodobieństwa) Indirect method (regional probability curves) $\mu_{1\%}=4,30$ (region 4a) $m^3 \cdot s^{-1}$	Różnica Difference $\Delta = Q_{\text{pośr.}} - Q_{\text{bezp.}}$ $m^3 \cdot s^{-1}$	Błąd względny Relative error $\delta = \Delta / Q_{\text{bezp.}} \cdot 100\%$
1	25,6	12,6	-13,0	-50,8

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Metody pośrednie zastosowane w pracy opierają się na danych uogólnionych z wielu profili wodowskazowych, zamykających zlewnie o różnej wielkości i odnoszą się do warunków przeciętnych w danym regionie. Dotyczy to zarówno kwantyli $\mu_{p\%}$ w metodzie krzywych regionalnych, jak i wartości maksymalnych odpływów jednostkowych $Wq_{p\%}$, odczytywanych z map obszarowego rozkładu maksymalnych odpływów (izorei). W tych przypadkach, gdy warunki tworzenia się maksymalnych odpływów w rozpatrywanej zlewni odbiegają od przeciętnych w regionie – różnice między wartościami otrzymanymi metodami statystycznymi a metodami pośrednimi mogą być znaczne, tak jak wykazano w pracy.

2. Do opracowania kwantyli regionalnych krzywych prawdopodobieństwa $\mu_{p\%}$ przyjmowane były przez STACHŸ i FAL [1986] dane dla zlewni o różnej wielkości, przy czym dla małych zlewni dysponowano niewielką liczbą przypadków. W niniejszej pracy wartości kwantyli $\mu_{p\%}$, wypośredkowanych dla konkretnego regionu oraz określonych na podstawie wieloletniego ciągu, różnią się znacznie (wartość $\mu_{1\%}$ dla regionu 4a, w którym leży zlewnia Zagożdżonki wynosi 4,30, natomiast wartości $\mu_{1\%}$ dla Zagożdżonki w Płachtach Starych, określona na podstawie danych obserwacyjnych dla tego profilu, wynosi 8,72). Rozbieżność ta może być uznana za uzasadnioną, ponieważ zlewnia rzeki Zagożdżonka w profilu Płachty Stare zalicza się do zlewni małych. W takich zlewniach zmienność i asymetria ciągów są znacznie większe niż w zlewniach dużych. Widać to wyraźnie na wartościach współczynników zmienności c_v i asymetrii s . Dla regionu 4a wg STACHŸ i FAL [1986] $c_v = 1,00$, zaś dla Zagożdżonki na podstawie danych pomiarowych $c_v = 1,68$; podobnie dla regionu 4a $s = 0,80$, zaś dla Zagożdżonki $s = 1,13$. Powyższe jest przyczyną, że opieranie się na wartościach $\mu_{1\%}$ wypośredkowanych dla regionu w przypadku małych zlewni może być przyczyną znacznych błędów. Wynika stąd

wniosek, że w tabeli współczynników μ_p powinny być podane nie tylko wartości wypośredkowane dla regionów, lecz również granice (wielkości powierzchni zlewni), w jakich zawierają się wartości μ_p dla danego regionu.

3. W pracy [BANASIK i in. 2003] autorzy zwrócili uwagę na rozbieżności wyników obliczeń, jakie mogą występować w trakcie określania wartości $WQ_{50\%}$ na podstawie krótkich ciągów pomiarowych. Krótkie ciągi pomiarowe mogą bowiem obejmować lata o bardzo zróżnicowanej charakterystyce klimatycznej (mogą to być okresy lat mokrych lub suchych). Wynika stąd wniosek, że metoda krzywych regionalnych daje wyniki zbliżone do danych wieloletnich, jeżeli warunki panujące w krótkich okresach, z których pochodzą obserwacje, są zbliżone do przeciętnych wieloletnich dla danej strefy klimatycznej.

4. Podsumowując, należy stwierdzić, że metody pośrednie w przypadku małych zlewni należy stosować z dużym stopniem ostrożności z uwagi na możliwości popełnienia sporych błędów. Biorąc jednak pod uwagę, że stosowane dawniej metody empiryczne dawały wyniki o znacznie większych błędach, omawiane metody pośrednie zasługują na zainteresowanie się nimi.

Badania naukowe przedstawione w niniejszej publikacji są finansowane przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2010–2013 w ramach projektu badawczego N N305 396238.

LITERATURA

- BANASIK K., BYCZKOWSKI A. 2006. Estimation of T-year flood discharge for a small lowland river using statistical method. *Annals of Warsaw Agricultural University, Land Reclamation*. No 37 s. 27–32.
- BANASIK K., BYCZKOWSKI A. 2007. Probable annual floods in small lowland river estimated with the use of various sets of data. [online]. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW, Land Reclamation*. No 38 s. 3–10. [Dostęp 03.07.2012]. Dostępny w Internecie: http://ann_landreclam.sggw.pl/Zeszyt38.html
- BANASIK K., BYCZKOWSKI A. 2010. Porównanie przepływów maksymalnych rocznych w małej zlewni rolniczej wyznaczonych różnymi sposobami. W: *Hydrologia w Inżynierii i Gospodarce Wodnej*. Pr. zbior. Red. B. Więzik. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Vol. 68(1) s. 121–129.
- BANASIK K., BYCZKOWSKI A. 2011. Prediction of T-year flood in gauged and partially gauged small catchments. W: „Prediction and the reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas – Case study of small agricultural catchments”. Pr. zbior. Red. K. Banasik, L. Øygarden, L. Hejduk Warszawa. Wydaw. SGGW s. 47–59.
- BANASIK K., BYCZKOWSKI A., GŁADECKI J. 2003. Prediction of T-year flood discharge for a small river basin using direct and indirect methods. *Annals of Warsaw Agricultural University, Land Reclamation*. No. 34 s. 3–8.
- BYCZKOWSKI A. 1999. *Hydrologia T. I*. Warszawa. Wydaw. SGGW. ISBN: 83-7244-068-9 ss. 416.
- BYCZKOWSKI A., BANASIK K., HEJDUK L., MANDES B. 2001. Wieloletnie tendencje zmian procesu opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki) W: *Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych*. Pr. zbior. Red. J. Jaworski i J. Szkutnicki. Warszawa. PTGeof., IMGW s. 43–52.

- BYCZKOWSKI A., BANASIK K., GŁADECKI J. 2005. Obliczanie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia małej rzeki nizinnej metodą statystyczną (na przykładzie rzeki Zagożdżonki). Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu 365 s. 29–34.
- KACZMAREK Z. 1970. Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii. PIHM. Instrukcje i podręczniki. Nr 78. Warszawa. WKŁ ss. 312.
- MUTUA F.M. 1994. The use of the Akaike information criterion in the identification of an optimum flood frequency model. Hydrological Science Journal. Vol. 39. No 3 s. 235–244.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J. 1994. Hydrologia stosowana. Warszawa. PWN. ISBN 97-8830-111-1403 ss. 322.
- 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. Ser. Hydrologia i Oceanologia. Nr 27. Warszawa. IMGW ss. 324.
- STACHÝ J., FAL B. 1986. Zasady obliczania maksymalnych przepływów prawdopodobnych. Prace Instytutu Badania Dróg i Mostów. Nr 3–4 s. 91–147.
- STACHÝ J. (red.) 1987. Atlas hydrologiczny Polski. Warszawa. IMGW, Wydaw. Geol. ss. 79.

Kazimierz BANASIK, Andrzej BYCZKOWSKI, Leszek HEJDUK, Jacek GŁADECKI

ESTIMATION OF PROBABLE FLOOD FLOWS IN SMALL CATCHMENTS WITH THE USE OF DIRECT (STATISTICAL) AND INDIRECT METHODS

Key words: hydrological characteristics, small watershed, T-year flood flows

S u m m a r y

Direct (statistical) and indirect methods have been applied for estimating T-year flood flows at the gauging station of a small lowland river Zagożdżonka located in Radom Plain ca. 100 km south of Warsaw. River flow data used for statistical analysis were collected by the Department of Water Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW since 1962. Comparison of the study results showed significant differences of T-year flood flows estimated with various methods. This confirms the need to continue the improvement of indirect methods for small catchments.

Do cytowania For citation: Banasik K., Byczkowski A., Hejduk L., Gładecki J. 2012. Obliczanie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w małej zlewni z zastosowaniem metod statystycznych oraz metod pośrednich. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 3 (39) s. 17–26.