

Kazimierz BANASIK, Andrzej BYCZKOWSKI, Jacek GŁADECKI

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Przepływy maksymalne prawdopodobne dla małej rzeki nizinnej – porównanie metod

Maximal annual discharges of small lowland river – comparison of methods

Słowa kluczowe: przepływy maksymalne,
przepływy prawdopodobne, małe zlewnie

Key words: flood flows, design floods, small
river basins

Wprowadzenie

Określenie miarodajnych przepływów wód wielkich dla projektowania obiektów gospodarki wodnej w przypadkach, gdy istnieją wieloletnie ciągi obserwacyjne, nie nastręcza na ogół większych trudności. Problem poprawnego określenia tych wartości występuje wtedy, gdy dane obserwacyjne pochodzą z krótkiego okresu. Nie stwarza to podstaw do stosowania metod statystycznych i należy korzystać z metod pośrednich o znacznie mniejszym stopniu dokładności.

W przypadku gdy liczebność ciągów przepływów maksymalnych zawiera się w granicach $8 < N < 15$ lat można stosować metodę regionalnych krzywych prawdopodobieństwa przepływów

maksymalnych w modyfikacji zaproponowanej przez Stachy (Stachy i Fal 1986). Metoda ta jest stosowana w praktyce inżynierskiej, ale niestety nie jest znany stopień dokładności tych obliczeń. W niniejszym artykule autorzy przeprowadzili porównanie wyników obliczeń metodą statystyczną przepływów maksymalnych rocznych na podstawie długiego 40-letniego ciągu przepływów maksymalnych z odpowiednimi wartościami przepływów określonych omawianą metodą na podstawie czterech 10-letnich ciągów cząstkowych, na które podzielono pełny ciąg 40-letni. Analizy te przeprowadzono na podstawie danych hydrometrycznych dla nizinnej rzeki Zagożdżonki w profilu wodowskazowym Płachty Stare. Dla porównania dokonano również oszacowania przepływów na podstawie map obszarowego rozkładu jednostkowych odpływów maksymalnych (Atlas hydrologiczny Polski 1987, Byczkowski 1999).

Charakterystyka zlewni badawczej rzeki Zagożdżonki

Rzeka Zagożdżonka jest lewobrzeżnym dopływem Wisły, mającym swe ujście w okolicach Kozienic, pod wsią Świerże Górne. Objęta badaniami górna część zlewni położona jest na Równinie Radomskiej, wchodzącej w skład Regionu Wzniesienia Południowomazowieckiego, w odległości około 100 km na południe od Warszawy.

Badania hydrologiczne w zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare ($A = 82,6 \text{ km}^2$), prowadzone są przez Katedrę Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW od lipca 1962 roku. Plan sytuacyjny zlewni pokazano na rysunku. 1.

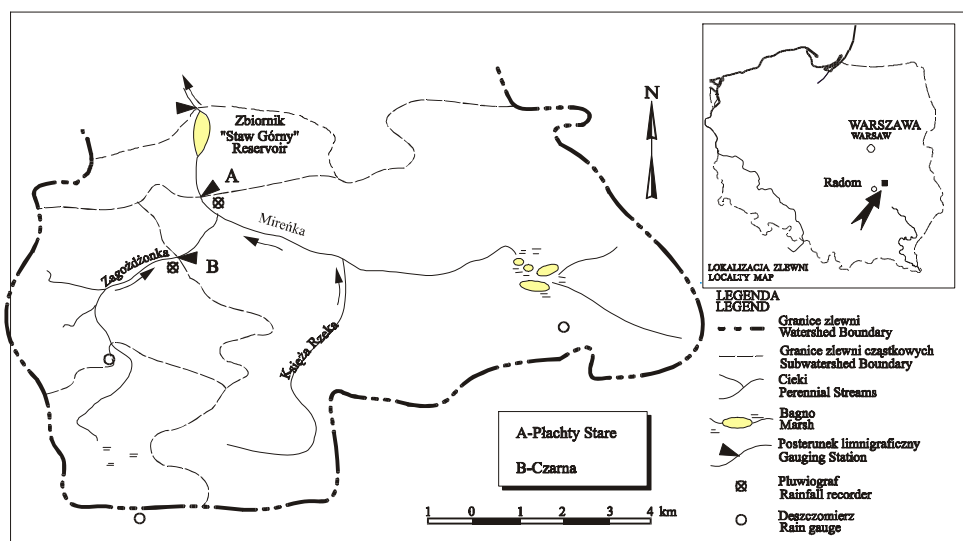
Zlewnia rzeki Zagożdżonki jest zlewnią nizinną. Deniwelacja terenu zlewni do profilu Płachty Stare wynosi 37 m. Średnie spadki głównych cieków wynoszą od 2,5 do 3,5%.

Metodyka badań

Stany wody rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare obserwowane były 3 razy w ciągu doby do 1980 roku, kiedy to zainstalowano w tym profilu limnigraf do ciągłego zapisu stanu wody.

Czterdziestoletnia seria obserwacyjna przepływów maksymalnych rocznych stwarzała możliwość oszacowania przepływów o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia przy zastosowaniu metod statystycznych (bezpośrednich). Wyniki tych obliczeń pozwoliły zbadać dokładność metod pośrednich, stosowanych w przypadku braku odpowiednich wieloletnich danych.

W pracy zastosowano dwie metody. W pierwszej z nich podstawą oszacowania przepływów maksymalnych są mapy obszarowego rozkładu maksymalnych odpływów jednostkowych o prawdopodobieństwie $p = 50\%$ (Atlas



RYSUNEK 1. Zlewnia rzeki Zagożdżonki
FIGURE 1. Map of the Zagożdżonka river basin

hydrologiczny Polski 1987). Druga metoda wykorzystuje regionalne krzywe prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych rocznych (Stachy i Fal 1986). W metodzie tej, na podstawie ciągów przepływów maksymalnych rocznych o liczebności $8 < N < 15$ lat, określa się przepływ zwyczajny wielki ($WQ_{50\%}$), a następnie oblicza się przepływy maksymalne roczne o dowolnym prawdopodobieństwie przekroczenia $WQ_{p\%}$, wykorzystując regionalne parametry $\mu_{p\%}$, stanowiące kwantyle bezwymiarowej krzywej prawdopodobieństwa. W omawianych badaniach 40-letni ciąg przepływów maksymalnych podzielony został na cztery dziesięcioletnie ciągi cząstkowe, dla których określono wartości przepływów $p = 50\%$. Otrzymane wartości porównano z odpowiednimi wartościami przepływu maksymalnego $WQ_{50\%}$ obliczone na podstawie pełnego 40-letniego ciągu.

Oszacowanie przepływów maksymalnych rocznych metodą bezpośrednią (statystyczną). Przepływy maksymalne roczne o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia oszacowano metodą Kaczmarka, opierając się na rozkładzie prawdopodobieństwa Pearsońa T. III, którego parametry są szacowane metodą kwantyli (Kaczmarek i Trykozko 1964). Obliczenia przepływów dokonano, opierając się na kwantylach rzędu $p = 10, 50, 90$ i 100% . Przepływy szacuje się z równania:

$$WQ_p = WQ_{50\%} [1 + c_v \Phi(p, s)]$$

gdzie:

WQ_p – maksymalny roczny przepływ o prawdopodobieństwie przekroczenia $p\%$,
 $WQ_{50\%}$ – maksymalny roczny przepływ o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 50\%$,

c_v – współczynnik zmienności ciągu przepływów maksymalnych,

$\Phi(p, s)$ – funkcja prawdopodobieństwa dla danego typu rozkładu i asymetrii s .

Wyniki obliczeń pokazano na rysunku 2.

Oszacowanie przepływów maksymalnych metodami pośrednimi.

Oszacowanie przepływów na podstawie map obszarowego rozkładu przepływów maksymalnych:

$$WQ_{p\%} = Wq_{p\%} A$$

gdzie

$Wq_{p\%}$ – odpływ jednostkowy wód wielkich o prawdopodobieństwie przekroczenia $p\%$ odczytany z Atlasu hydrologicznego (1987) [$m^3/(s \cdot km^2)$],
 A – powierzchnia zlewni [km^2].

Dla górnej części zlewni Zagożdżonki odpływy są równe:

$$Wq_{1\%} = 0,35-0,40 m^3/(s \cdot km^2)$$

$$Wq_{50\%} = 0,065 m^3/(s \cdot km^2)$$

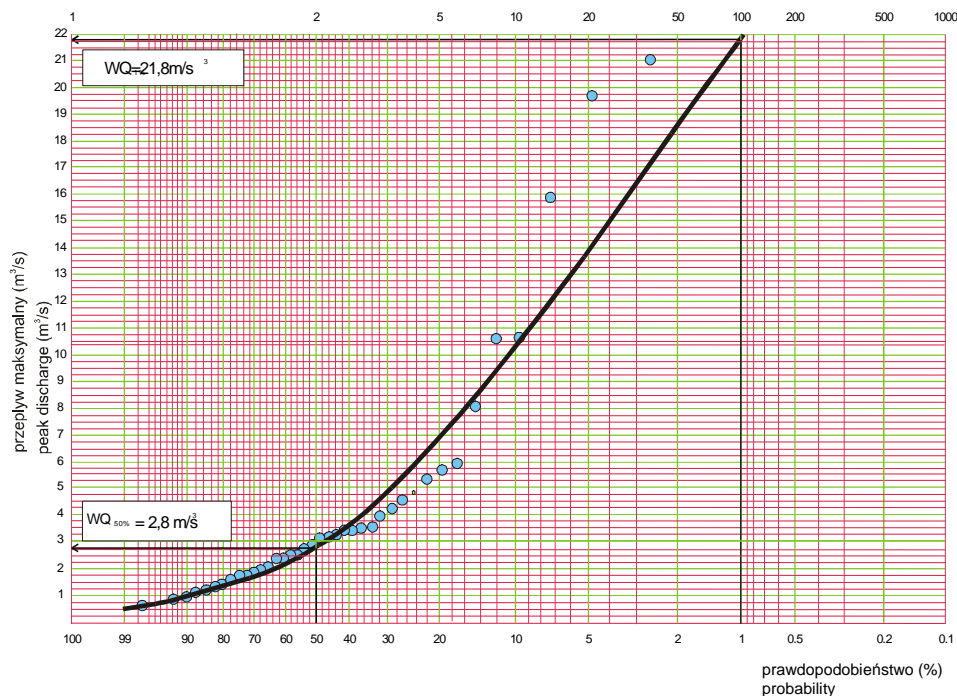
stąd

$$WQ_{1\%} = 0,375 \cdot 82,4 = 30,9 m^3/s$$

$$WQ_{50\%} = 0,065 \cdot 82,4 = 5,36 m^3/s$$

Oszacowanie przepływów na podstawie regionalnych krzywych prawdopodobieństwa:

$$\mu_p = \frac{WQ_p}{WQ_{50\%}}$$



RYSUNEK 2. Krzywe prawdopodobieństwa chwilowych przepływów maksymalnych rocznych rzeki Zagozdzonki w profilu Płachty Stare dla okresu 1963–2002
 FIGURE 2. Probability curve of the maximum annual peak discharge for Zagozdzonka river at Płachty Stare gauge (period of 1963–2002)

gdzie μ_p – kwantyle bezwymiarowej krzywej prawdopodobieństwa

Wartości kwantyli μ_p zostały określone przez Stachy dla wszystkich posterunków wodowskazowych w Polsce, dla których istniały długie serie obserwacyjne. Terytorium Polski podzielono na 12 jednostkowych regionów. W każdym z tych regionów obliczono średnią wartość μ_p dla wszystkich rzek w danym regionie. W ten sposób otrzymano rzędne regionalnych krzywych prawdopodobieństwa każdego regionu.

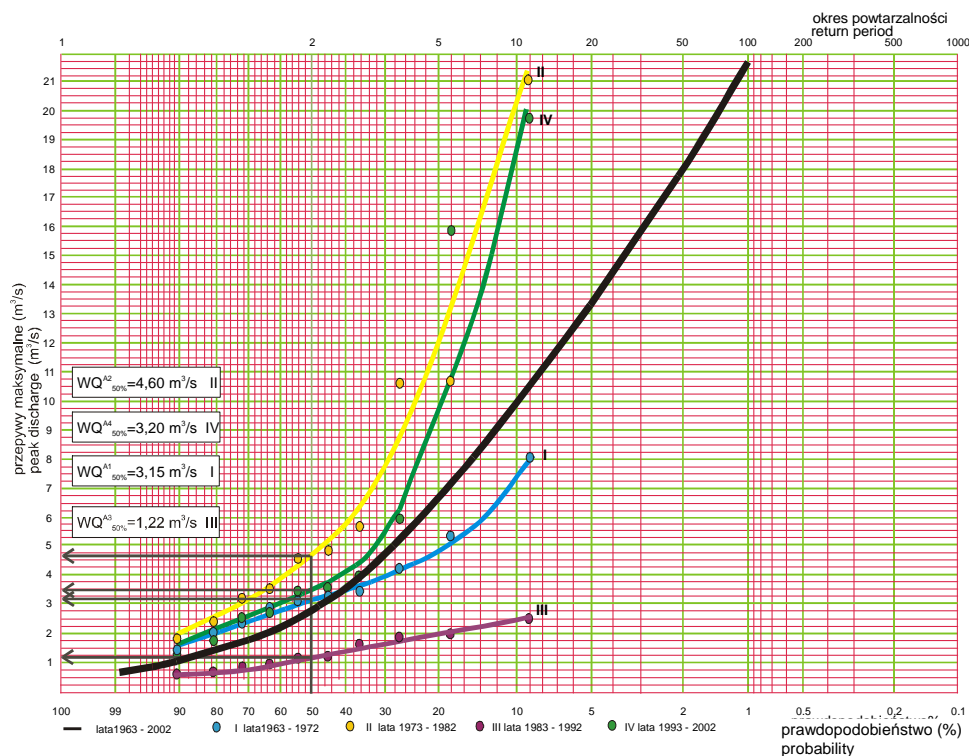
Wartości przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwie przekroczenia p% oblicza się z zależności:

$$WQ_{p\%} = \mu_p WQ_{50\%}$$

Wyniki obliczeń dla wydzielonych 4 okresów w dziesięcioleciach: 1963–1972, 1973–1982, 1983–1992, 1993–2002 przedstawiono na rysunku 3 i w tabeli 1.

Wnioski

1. Pośrednie metody zastosowane w pracy opierają się na parametrach wypośredkowanych na podstawie danych z wielu posterunków wodowskazowych, zamykających zlewnie o różnej wielkości i odnoszą się do warunków przeciętnych w danym regionie. Dotyczy to zarówno kwantyli w metodzie krzywych



RYSUNEK 3. Krzywe prawdopodobieństwa chwilowych przepływów maksymalnych rocznych dla czterech okresów 10-letnich

FIGURE 3. Probability curves of the maximum annual peak discharges for four decades of 1963–2002

TABELA 1. Przepływy maksymalne roczne o prawdopodobieństwie 1% i 50% rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare obliczone różnymi metodami

TABLE 1. One hundred-year-flood and two-year-flood for Zagożdżonka river at the Płachty Stare gauge calculated by various methods

Wartość Value	Metoda bezpośrednia Direct method	Metody pośrednie Indirect methods			Błędy względne w stosunku do metody bezpośredniej [%] Relative errors		
		A	B1	B2	A	B1	B2
WQ _{1%} [m ³ /s]	21,8	30,9	13,5 19,8 5,16 13,8	24,5 35,8 9,35 24,9	41,7	-37,9 -9,3 -76,3 -36,9	12,3 64,2 -57,1 14,2
WQ _{50%} [m ³ /s]	2,80	5,36	3,15 4,60 1,20 3,20	3,15 4,60 1,20 3,20	91,4	12,5 64,3 -57,1 14,3	12,5 64,3 -57,1 14,3
μ _{1%} [-]	7,79	5,76	4,30	7,79			

regionalnych, jak i wartości maksymalnych odpływów jednostkowych $W_{qp\%}$ odczytanych z map obszarowego rozkładu maksymalnych odpływów. W tych przypadkach, gdy warunki tworzenia maksymalnych odpływów w rozpatrywanej zlewni odbiegają od przeciętnych, różnice między wartościami otrzymanymi metodą statystyczną a metodami pośrednimi mogą być znaczne.

2. Do opracowania kwantyli krzywych regionalnych μ_p przyjmowane były dane dla zlewni o różnej wielkości, przy czym dla małych zlewni autorzy metody dysponowali niewielką liczbą przypadków. Wartości kwantyli wypośredkowanych dla konkretnego regionu oraz określonych na podstawie wieloletniego ciągu różnią się znacznie między sobą (dla regionu 3b i 4a, w którym leży zlewnia Zagożdżonki, wynosi 4,3 natomiast dla Zagożdżonki w Płachtach Starych $1\% = 7,79$). Rozbieżność ta może być uznana za uzasadnioną, ponieważ zlewnia rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare zalicza się do zlewni małych. W małych 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 regionów 3b i 4a $c_v = 1,0$; dla Zagożdżonki $c_v = 1,68$; podobnie dla regionów 3b i 4a $s = 0,80$, dla Zagożdżonki zaś $s = 1,13$. Powyższe jest przyczyną, że opieranie się na wartościach $\mu_{1\%}$ wypośredkowanych dla regionu w przypadku małych zlewni może być przyczyną znacznych błędów. Wynika stąd postulat, że w tabeli

współczynników p powinny być podane nie tylko wartości wypośredkowane dla regionów, lecz również granice, w jakich zawierają się wartości μ_p dla danego regionu.

3. Wartości przepływów $WQ_{50\%}$ określone w metodzie krzywych regionalnych na podstawie danych pochodzących z krótkich okresów mogą być rozbieżne. W rozpatrywanym przypadku wartości $WQ_{50\%}$ dla okresu 2 (1973–1982) i okresu 3 (1983–1992) różnią się znacznie między sobą ($WQ_{50\%2}/WQ_{50\%3} = 4,6/1,2 = 3,8$). Okres 2 był okresem hydrologicznie mokrym o wysokich wezbraniach, a okres 3 obejmował okres suszy hydrologicznej, w którym nie występowały większe wezbrania. Natomiast odpowiednie wartości dla okresów 1 (1963–1972) i 4 (1993–2002) niewiele różnią się od wartości dla wielolecia, dlatego błędy oszacowania przepływów maksymalnych niewiele odbiegają od wartości wieloletnich. Wynika stąd wniosek, że metoda krzywych regionalnych daje wyniki bliskie danych wieloletnich, jeżeli warunki panujące w okresach, z których pochodzą obserwacje, są zbliżone do przeciętnych dla danej strefy klimatycznej.
4. Podsumowując niniejsze rozważania, stwierdzić należy, że metody pośrednie w przypadku małych zlewni należy stosować z dużym stopniem ostrożności z uwagi na możliwości popełnienia dużych błędów. Biorąc jednak pod uwagę, że stosowane dawniej metody empiryczne dawały wyniki o znacznie wyższych błędach, omawiane metody pośrednie zasługują na zainteresowanie.

Literatura

- Atlas hydrologiczny Polski, 1987 (red.) J. Stachy. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- BYCZKOWSKI A. 1999: Hydrologia. T. 2. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- BYCZKOWSKI A., BANASIK K., HEJDUK L., MANDES B. 2001: Wieloletnie tendencje zmian procesu opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki) IMGW [w:] Atlasy i monografie, Warszawa.
- KACZMAREK Z., TRYKOZKO E. 1964: Application of the method of quantiles of estimation of the Pearson distribution. *Acta Geoph. Polon.* 12,1.
- STACHY J., FAL B. 1986: Zasady obliczania maksymalnych przepływów prawdopodobnych. Prace Instytutu Badania Dróg i Mostów 3–4.

Summary

Two indirect methods of T-year flood estimation have been applied for a small agricultural watershed. The results have been compared with values of application of statistical (direct) method. Significant differences have been obtained applying various methods for estimating peak flood flow with return period of 2- and 100-year.

Authors' address:

Kazimierz Banasik, Andrzej Byczkowski,
Jacek Gładecki
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji
Środowiska
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland