

Wpłynęło 20.11.2013 r.
Zrecenzowano 16.01.2014 r.
Zaakceptowano 29.05.2014 r.

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

OCENA PARAMETRÓW WEZBRAŃ HIPOTETYCZNYCH WYZNACZONYCH METODĄ REITZA I KREPSA W ZLEWNIACH KONTROLOWANYCH

Wiesław GĄDEK¹⁾ ABCDEF, Arkadiusz ŚRODULA²⁾ BCDE

¹⁾ Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej

²⁾ DHV Hydroprojekt Sp. z o.o.

Streszczenie

W naszym kraju wezbrania hipotetyczne nadal najczęściej są wyznaczone metodą Reitza i Krepsa. Wynika to głównie z prostych zasad jej stosowania. W prezentowanej publikacji oceniono parametry wezbrań hipotetycznych obliczonych metodą Reitza i Krepsa i porównano je z obliczonymi proponowaną, bardziej wiarygodną, metodą krakowską. W naszym kraju nie ma wytycznych precyzujących zasady wyznaczania wezbrań metodą Reitza i Krepsa, dlatego przyjęto, że parametry hydrogramu teoretycznego będą ustalane na podstawie: jednego, trzech i ośmiu największych rzeczywistych przebiegów jednomodalnych fal zarejestrowanych w 10 przekrojach wodowskazowych, zlokalizowanych na obszarze zlewni górnej Wisły, reprezentujących zarówno małe, jak i średnie oraz duże zlewnie, a także regiony górskie, podgórskie, wyżynne i nizinne. Oceniano:

- wpływ liczby wezbrań, na podstawie których wyznaczano współczynniki wykorzystywane w funkcjach opisujących teoretyczny kształt wezbrania w metodzie Reitza i Krepsa na przebieg hydrogramu teoretycznego;
- wartości parametrów wezbrań wyznaczonych metodą Reitza i Krepsa w stosunku do największego zarejestrowanego wezbrania rzeczywistego i do wezbrania wyznaczonego metodą krakowską.

Uzyskane wyniki nie wykazują jednoznacznych tendencji. Najmniejsze objętości wezbrań hipotetycznych uzyskano, gdy współczynniki równań były wyznaczone na podstawie jednego wezbrania rzeczywistego. Porównanie metod wypada na korzyść metody krakowskiej. Wezbrania hipotetyczne wyznaczone tą metodą lepiej odzwierciedlają charakter rzeki w przekroju zamykającym.

Słowa kluczowe: hydrogramy teoretyczne, metoda krakowska, metoda Politechniki Krakowskiej, metoda Reitza i Krepsa, parametry wezbrań, wezbranie hipotetyczne

Do cytowania For citation: Gądek W., Środula A. 2014. Ocena parametrów wezbrań hipotetycznych wyznaczonych metodą Reitza i Krepsa w zlewniach kontrolowanych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 14. Z. 3(47) s. 29-47.

WSTĘP

W projektowaniu inżynierskim często zachodzi konieczność wykorzystania charakterystyk hydrologicznych. Przeważenie są to przepływy miarodajne i kontrolne, określane na podstawie rocznych przepływów maksymalnych o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia. Nie zawsze dostarczają one wystarczających informacji, niezbędnych do prawidłowego zaprojektowania niektórych budowli hydrotechnicznych czy dokładnego określenia poziomu wody na rozpatrywanym obszarze. O wiele więcej informacji wnosi tzw. fala hipotetyczna. Niejednokrotnie falę hipotetyczną nazywa się wezbraniem teoretycznym lub hydrogramem teoretycznym. Fale hipotetyczne w przekrojach kontrolowanych wyznacza się wyłącznie na podstawie zarejestrowanych wezbrań o pojedynczej kulminacji (przepływie maksymalnym), zwanych falami jednomodalnymi.

Fala hipotetyczna to pojęcie wprowadzone na potrzeby projektowania i w rzeczywistości takie wezbrania nie istnieją. Nie wynikają one bezpośrednio z genezy formowania się odpływu ze zlewni. Kształt fali wezbraniowej zależy nie tylko od cech fizjograficznych zlewni czy hydraulicznych koryta ciekłu, ale również od warunków początkowych, zarówno w zlewni, jak i w ciekłu. Fale hipotetyczne należy traktować jako pewne uproszczenie, wykonane na potrzeby projektowania obiektów inżynierskich wykorzystywanych w gospodarce wodnej.

Zastosowanie fal hipotetycznych jest szerokie – począwszy od gospodarowania zasobami wodnymi na zbiornikach, przez ochronę przed powodzią, projektowanie budowli piętrzących, siłowni, polderów i zbiorników retencyjnych, aż po analizy przelania się wód przez wały, awarii wałów czy zapór oraz do sporządzenia map zagrożenia lub ryzyka powodziowego. Fale te, w odróżnieniu od przepływów miarodajnych i kontrolnych, zawierają dodatkowo informacje o objętości wezbrania, jego przebiegu w czasie oraz o czasie wznoszenia i opadania, co jest wykorzystywane do projektowania objętości retencyjnej zbiorników przeciwpowodziowych, a także do opracowywania instrukcji sterowania nimi. Czas trwania wezbrania oraz jego przebieg umożliwia obliczenie czasu trwania zalewów podczas powodzi oraz czasu przebywania wody w międzywalu, co ma znaczenie w przypadku obliczania filtracji nieustalanej przez wał. Dzięki informacji, jaką niesie fala hipotetyczna można obliczyć jej transformację zarówno w korycie ciekłu i zbiorniku, jak i na terenach zalewowych, z uwzględnieniem retencji planowanych lub istniejących budowli przeciwpowodziowych.

Metoda Reitza i Krepsa, chociaż datowana na 1945 r. [REITZ, KREPS 1945], nadal w kręgach projektantów jest podstawową metodą wyznaczania parametrów wezbrań hipotetycznych. Inne metody, w których – podobnie jak w metodzie Reitza i Krepsa – do wyznaczania parametrów przepływu wykorzystuje się jedno największe wezbranie, są stosowane sporadycznie [BAPTISTA, MICHEL 1990; Hydroprojekt 2010; MCENROE 1992; STRUPCZEWSKI 1964]. Metoda Politechniki Warszawskiej [CBSiPWM 1971; GADEK 2012b], prawdopodobnie z powodu wymaga-

nego uwzględniania w obliczeniach 6 największych wezbrań, również nie cieszy się dużym powodzeniem w kręgach projektantów. Podejmowane są próby wyznaczenia tego typu wezbrań za pomocą modeli hydrologicznych [WAŁĘGA 2013], jednak z powodu początkowego etapu prac trudno jest zająć jednoznacznie stanowisko co do możliwości praktycznego wykorzystania tego podejścia. W tego typu rozwiązaniach zakłada się, że prawdopodobieństwo maksymalnego opadu dobowego jest takie samo jak prawdopodobieństwo odpływu. Problemy, które nie są do końca poprawnie rozwiązane, to: wyznaczanie rozkładu w czasie dobowego opadu o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia [SZALIŃSKA, OTOP 2012] oraz maksymalnej powierzchni zlewni, na której można stosować tę metodę. Brak jest także wypracowanych metod weryfikacji obliczeń, w tym pośrednich metod wyznaczania przepływów maksymalnych o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia [BANASIK i in. 2012]. Modelowanie jest natomiast użyteczne i godne polecenia jako metoda wspomagająca.

Celem niniejszej publikacji jest porównanie metody Reitza i Krepsa [CIEPIEŁOWSKI, DĄBKOWSKI 2006; KICIŃSKI 1965] z proponowaną przez autorów publikacji metodą krakowską [GADEK 2010; 2012a, b]. Metoda krakowska została sprawdzona pod względem wiarygodności wyników na obszarze zlewni górnej Wisły. Wymaga uwzględnienia toku obliczeń 8 największych zarejestrowanych jednomodalnych fal (podstawowe założenie metody).

Ocenę przedstawiono w układzie wzajemnych porównań wyników obu metod oraz w porównaniu do zarejestrowanych historycznych wezbrań. Obliczenia porównawcze wykonano dla 10 przekrojów wodowskazowych, zlokalizowanych na obszarze zlewni górnej Wisły. Wybrane zlewnie reprezentują obszary o różnych powierzchniach i topografiach, starano się przy tym, by zlewnie reprezentowały zarówno obszary górskie, jak i podgórskie, wyżynne oraz nizinne. Do badań wytypowano zlewnie:

- Żylicy – wodowskaz Łodygowice;
- Wieprzówki – wodowskaz Rudze,
- Uszwicy – wodowskaz Borzęcin,
- Koprzywianki – wodowskaz Koprzywnica,
- Nidy – wodowskaz Brzegi,
- Białej – wodowskaz Koszyce Wielkie,
- Sanu – wodowskaz Rzuchów,
- Popradu – wodowskaz Stary Sącz,
- Wisłoki – wodowskaz Mielec,
- Wisły – wodowskaz Zawichost.

METODY BADAŃ

OPIS METODY REITZA I KREPSA

Metodę Reitza i Krepsa opracowano dla zlewni górnego Dunaju [CIEPIELOWSKI, DĄBKOWSKI 2006; KICIŃSKI 1965; REITZ, KREPS 1945]. Zakłada się w niej, że wezbranie hipotetyczne jest opisywane dwoma niezależnymi formułami: dla fazy wznoszenia ($0 \leq t \leq t_k$)

$$Q_w = Q_{\max} \sin^2 \left(\frac{\pi t}{2 t_k} \right) \quad (1)$$

i dla fazy opadania ($t \geq t_k$)

$$Q_{op} = Q_{\max} e^{[-\alpha(t-t_k)]} \quad (2)$$

gdzie:

- Q_w – przepływ w fazie wznoszenia wezbrania, $m^3 \cdot s^{-1}$;
- Q_{op} – przepływ w fazie opadania wezbrania, $m^3 \cdot s^{-1}$;
- Q_{\max} – przepływ maksymalny wezbrania (przeważnie jest to maksymalny przepływ roczny o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia), $m^3 \cdot s^{-1}$;
- t_k – czas wznoszenia wezbrania, h;
- t – czas wezbrania liczony od chwili przyjętej jako jego początek, h;
- α – współczynnik liczbowy, określany na podstawie kształtów obserwowanych hydrogramów, h^{-1} .

Współczynnik α jest określany na podstawie parametru smukłości wezbrania n :

$$\alpha = \frac{\ln 2}{(n-1)t_k} \quad (3)$$

gdzie:

$$n = \frac{t_{0,5} Q_{\max}}{t_k} \quad (4)$$

$t_{0,5} Q_{\max}$ – odcięta punktu, w którym przepływ w fazie opadania fali jest równy $0,5 Q_{\max}$.

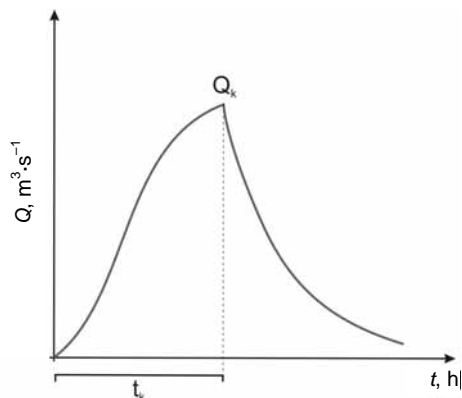
REITZ i KREPS [1945] ustalili, że dla górnego Dunaju parametr $n = 1,5$, LAMBOR [1971] natomiast dla dorzecza Dunajca wyznaczył $n = 1,2-2,0$. Typowy przebieg teoretycznego hydrogramu według opisaney metody Reitza i Krepsa przedstawiono na rysunku 1.

Niestety w metodzie tej brak jest jednoznacznych procedur ustalających:

- minimalną liczbę wezbrań rzeczywistych, na podstawie których wyznacza się parametry wykorzystywane do ustalania wezbrania hipotetycznego (w praktyce przyjmuje się jedno);

Rys. 1. Przebieg fali hipotetycznej wyznaczonej metodą Reitza i Krepesa; Q – przepływ, t – czas trwania wzebrania od jego początku; źródło: KICIŃSKI [1965], zmodyfikowany

Fig. 1. Design flood wave determined with the Reitz and Krepes method; Q – flow, t – flood duration; source: KICIŃSKI [1965], modified



– kryteriów ustalających zasady definiowania i wydzielania wzebrań z całorocznych hydrogramów.

Przyjęto, że pod pojęciem wzebrania w metodzie Reitza i Krepesa są rozumiane przepływy większe od przepływu granicznego, wyznaczonego na podstawie przepływu początkowego Q_0 , za który jest uważana wartość, od której rozpoczyna się stały i intensywny wzrost przepływu, aż do wysokości przepływu maksymalnego. Za koniec wzebrania uważany jest przepływ, którego wartość powraca do przepływu początkowego Q_0 .

Dla każdego z wytypowanych do obliczeń przekrojów wodowskazowych zestawiono fale historyczne. Ze względu na to, że metodę Reitza i Krepesa porównywano z metodą krakowską, do obliczeń wykorzystano 8 największych wzebrań jednomodalnych. Przyjęto również, że w celu oceny wpływu liczby wzebrań uwzględnionych w obliczeniach na przebieg wzebrania teoretycznego w metodzie Reitza i Krepesa, parametr α oraz czas wznoszenia t_k będzie ustalany na podstawie 1, 3 i 8 największych zarejestrowanych wzebrań w danym przekroju wodowskazowym (w dwóch ostatnich przypadkach parametry będą ustalone na podstawie średniej arytmetycznej).

KRÓTKI OPIS METODY KRAKOWSKIEJ

Metodę krakowską opracowano w Zakładzie Hydrologii Instytutu Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej w 2010 r. [GADEK 2010; 2012a, b].

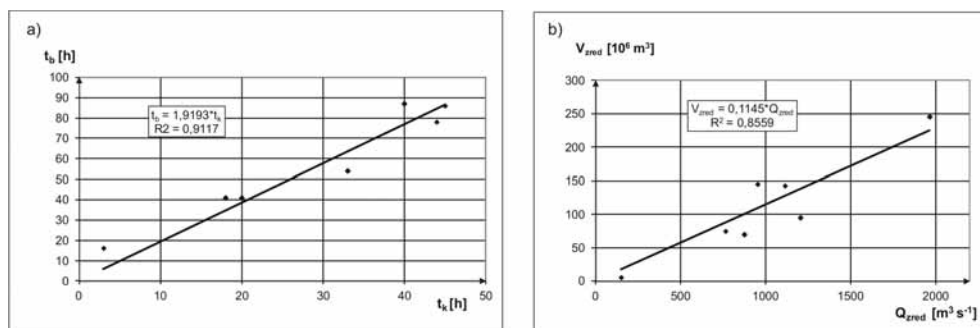
W metodzie tej jest wymagane, by w danym przekroju wodowskazowym było zarejestrowanych co najmniej 8 dużych jednomodalnych wzebrań. Przyjęto następujące założenia:

– jako wzebranie rozumiane są przepływy większe od przepływu granicznego, wyznaczonego na podstawie przepływu początkowego Q_0 , za który jest uważany maksymalny przepływ roczny o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 50\%$ ($Q_{p=50\%}$);

– poszczególne hydrogramy wezbrania są normalizowane do uniwersalnych hydrogramów jednostkowych UHJ, dla których ustala się czas wznoszenia t_k , czas opadania t_o i czas trwania wezbrania t_b (czas bazowy), będący jest sumą czasów wznoszenia i opadania ($t_b = t_k + t_o$).

Wyznaczanie przebiegu wezbrania hipotetycznego jest wykonywane w pięciu etapach:

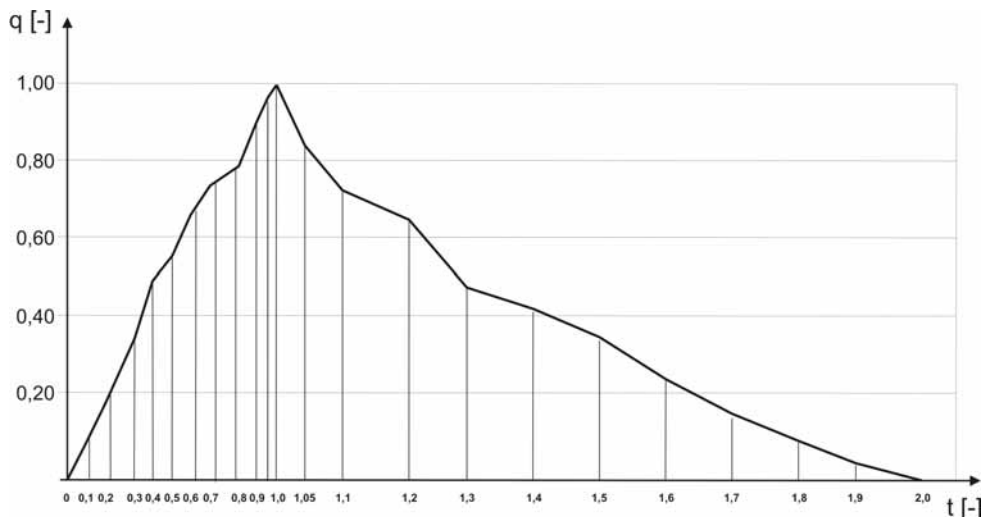
- 1) opracowanie, dla każdego wezbrania uwzględnionego w obliczeniach, zunifikowanego przebiegu wezbrania jednostkowego UHJ_i, w którym czas wznoszenia i czas opadania są traktowane jako niezależne;
- 2) wyznaczenie średniego jednostkowego hydrogramu UHJ na podstawie hydrogramów cząstkowych UHJ_i;
- 3) wyznaczenie liniowej zależności czasu trwania wezbrania t_b od czasu wznoszenia t_k , $t_b = f(t_k)$ (rys. 2a);
- 4) wyznaczenie zależności objętości zredukowanej wezbrania od przepływu maksymalnego zredukowanego $V_{zred} = f(Q_{zred}) = f(Q_{max} - Q_{p=50\%})$ (rys 2b); przez objętość zredukowaną wezbrania rozumie się objętość fali powyżej przepływu granicznego $Q_0 = Q_{p=50\%}$;
- 5) ustalenie przebiegu fali hipotetycznej na podstawie: zunifikowanego średniego hydrogramu jednostkowego (UHJ), zadanej objętości ustalonej z zależności $V_{zred} = f(Q_{zred})$, wzajemnej relacji między czasem trwania wezbrania a czasem wystąpienia przepływu maksymalnego $t_b = f(t_k)$.



Rys. 2. Zależność: a) czasu bazowego t_b od czasu wznoszenia t_k dla uwzględnionych w obliczeniach wezbrań, b) objętości zredukowanej V_{zred} od przepływu zredukowanego Q_{zred} ; źródło: [GADEK 2012a]

Fig. 2. The relationship between: a) base time t_b and the time of rising t_k for floods considered in calculations, b) reduced volume V_{zred} and reduced flow Q_{zred} ; source: [GADEK 2012a]

Aby uzyskać w pełni znormalizowany jednostkowy hydrogram wezbrania (rys. 3), należy poddać normalizacji przepływy oraz czas trwania wezbrania. W postaci bezwymiarowej wysokość przepływu maksymalnego jest przyjmowana jako 1. Dla każdej znormalizowanej współrzędnej czasowej t_i z zakresu od 0 do 2



Rys. 3. Przykładowy znormalizowany jednostkowy hydrogram UHI_i dla zarejestrowanej fali wezbraniowej w przekroju wodowskazowym; źródło: [GADEK 2012a]

Fig. 3. An example of standardised unit hydrograph UHI_i for recorded flood wave in water-gauge cross section; source: [GADEK 2012a]

(od 0 do 1 – wznoszenie, od 1 do 2 – opadanie), są obliczane bezwymiarowe przepływy q_i z przedziału od 0 do 1.

Współrzędne czasowe t_i przyjmują kolejno wartości:

czas wznoszenia – t_k

$t_i = 0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 1,0;$

czas opadania – t_o

$t_i = 1,05; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0.$

Poszczególne wartości q_i uzyskuje się z zależności:

$$q_i = \frac{Q_i - Q_{p=50\%}}{Q_{\max} - Q_{p=50\%}} \quad (5)$$

gdzie:

Q_{\max} – wartość przepływu maksymalnego wezbrania, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

$Q_{p=50\%}$ – wartość maksymalnego przepływu rocznego o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 50\%$, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

W drugim etapie jest konstruowany wypadkowy zunifikowany jednostkowy hydrogram hipotetyczny UHI. Powstaje on w wyniku uśrednienia, dla każdego znormalizowanego kroku czasowego t_i , przepływów jednostkowych q_i . Powstały w wyniku tych operacji jednostkowy hydrogram hipotetyczny stanowi bazę do wyznaczania właściwego teoretycznego wezbrania.

METODY WYZNACZANIA PORÓWNYWANYCH PARAMETRÓW

Objętość wezbrania hipotetycznego obliczono na podstawie zależności:
dla fazy wznoszenia

$$V_w = \frac{t_k}{2} Q_{\max p\%} \quad (6)$$

dla fazy opadania

$$V_o = \frac{Q_{\max p\%}}{\alpha} \quad (7)$$

Objętość całkowitą obliczono wg wzoru:

$$V_c = V_w + V_o = V_w \left(1 + \frac{2}{\alpha t_k}\right) \quad (8)$$

gdzie:

- V_w – objętość wezbrania w fazie wznoszenia, $10^6 \cdot \text{m}^3$;
- V_o – objętość wezbrania w fazie opadania, $10^6 \cdot \text{m}^3$;
- V_c – całkowita objętość wezbrania, $10^6 \cdot \text{m}^3$;
- $Q_{\max p\%}$ – maksymalny przepływ w kulminacji o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia p , $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Odchylenie względne obliczono z formuły:

$$W = \frac{V_t - V_{rz}}{V_{rz}} 100\% \quad (9)$$

gdzie:

- W – odchylenie względne, %;
- V_t – objętość zredukowana wezbrania hipotetycznego obliczonego metodą Reitza i Krepesa lub metodą krakowską, $10^6 \cdot \text{m}^3$;
- V_{rz} – objętość zredukowana największego zarejestrowanego wezbrania rzeczywistego, $10^6 \cdot \text{m}^3$.

Z uwagi na to, że hydrogramy rzeczywiste w większości przypadków odbiegają kształtem i samym przebiegiem od przyjmowanych teoretycznych wezbrań, analizy odchyleń względnych dla czasu wznoszenia i czasu opadania nie przeprowadzono.

OPIS WYBRANYCH ZLEWNI

Obszary górskie reprezentuje zlewnia rzeki Żylica do przekroju wodowskazowego w Łodygowicach (powierzchnia zlewni $A = 48 \text{ km}^2$). Zlewnia ta, oprócz dużego spadku, charakteryzuje się dużą zmiennością przepływów. Iloraz przepływu $IQ_{p\%}$ wynosi 6,2:

$$IQ_{p\%} = \frac{Q_{p=1\%}}{Q_{p=50\%}} \quad (10)$$

gdzie:

- $IQ_{p\%}$ – iloraz maksymalnych przepływów rocznych o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia;
- $Q_{p=1\%}, Q_{p=50\%}$ – maksymalny przepływ roczny o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$ i 50% , $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zlewnie pogórskie reprezentują: zlewnia Wieprzówki (dopływ Skawy) do przekroju wodowskazowego w Rudze ($A = 154 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 3,8$), zlewnia Uswicy po wodowskaz w Borzęcinie ($A = 265 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 5,3$) oraz zlewnia Popradu do Starego Sącza ($A = 2071 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 4,1$).

Obszary wyżynne to zlewnie: Białej po Koszyce Wielkie ($A = 957 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 6,3$) i Wisłoki do Mielca ($A = 3893 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 3,1$).

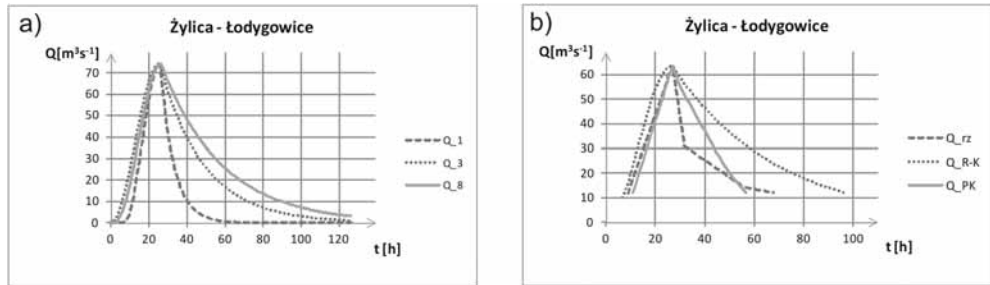
Zlewnie nizinne to zlewnie: Nidy po przekrój w Brzegach ($A = 3359 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 4,5$), Koprzywianki do przekroju w Koprzywnicy ($A = 498 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 3,4$) i Sanu do przekroju w Rzuchowie ($A = 50732 \text{ km}^2$, $IQ_{p\%} = 3,3$).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki obliczeń dla poszczególnych wodowskazów uszeregowano, poczynając od zlewni górskiej, poprzez zlewnie podgórskie, następnie wyżynne i nizinne, a kończąc na przekroju wodowskazowym Zawichost na rzece Wiśle (rys. 4–13).

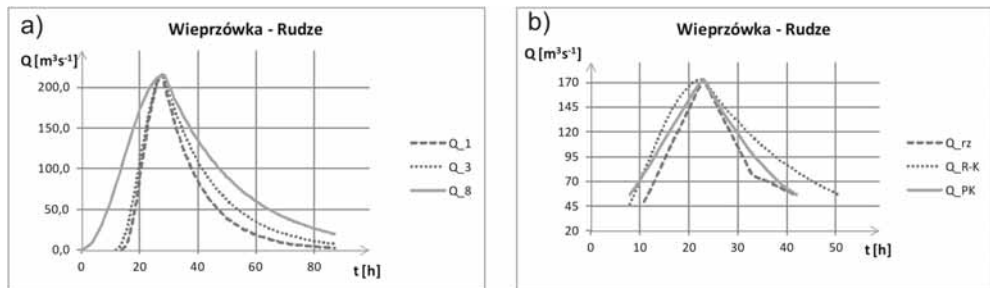
W analizie porównawczej metody krakowskiej z metodą Reitza i Krepsa wartość wysokości kulminacji (przepływu maksymalnego) wezbrań hipotetycznych przyjęto jak dla największego zarejestrowanego wezbrania rzeczywistego. W analizie wpływu liczby wezbrań rzeczywistych uwzględnianych w wyznaczaniu parametrów wezbrania hipotetycznego metodą Reitza i Krepsa na jego przebieg, za maksymalne przyjęto przepływy maksymalne o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$ ($Q_{p=1\%}$).

Poszczególne wezbrania hipotetyczne wyznaczone metodą Reitza i Krepsa przeanalizowano pod względem: objętości wezbrania w fazie wznoszenia i opadania oraz czasu wznoszenia (tab. 1). Wezbrania hipotetyczne wyznaczone metodą Reitza i Krepsa oraz metodą krakowską porównano z największym zarejestrowanym wezbraniem rzeczywistym (tab. 2, 3).



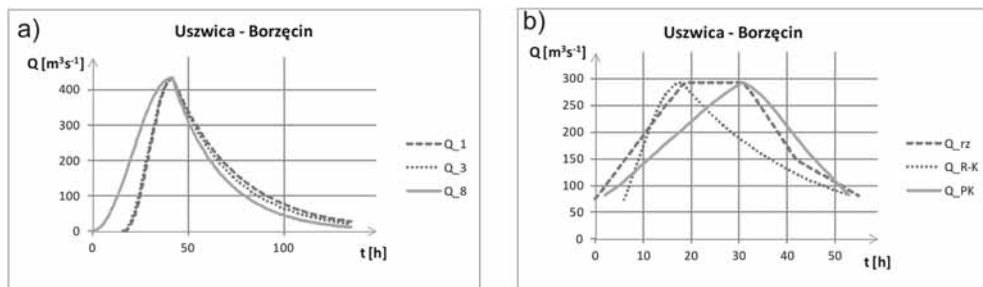
Rys. 4. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Żylica w przekroju wodowskazowym Łodygowice wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu, drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 4. Design floods in the Żylica River catchment basin at Łodygowice cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



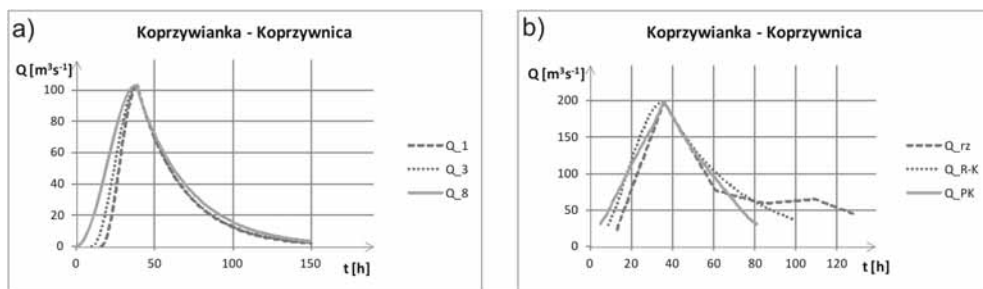
Rys. 5. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Wieprzówka w przekroju wodowskazowym Rudze wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram źródło: wyniki własne

Fig. 5. Design floods in the Wieprzówka River catchment basin at Rudze cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



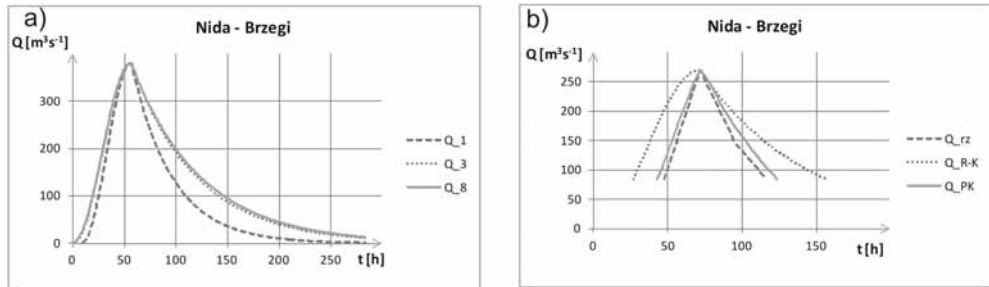
Rys. 6. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Uszwica w przekroju wodowskazowym Borzęcin wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 6. Design floods in the Uszwica River catchment basin at Borzęcin cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



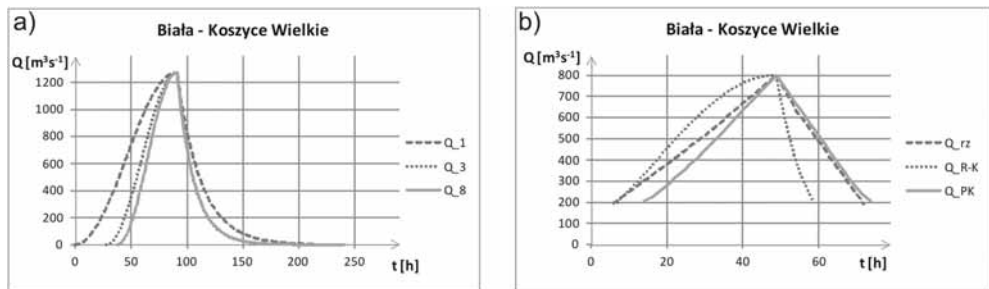
Rys. 7. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Koprzywnia w przekroju wodowskazowym Koprzywnica wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 7. Design floods in the Koprzywnia River catchment basin at Koprzywnica cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



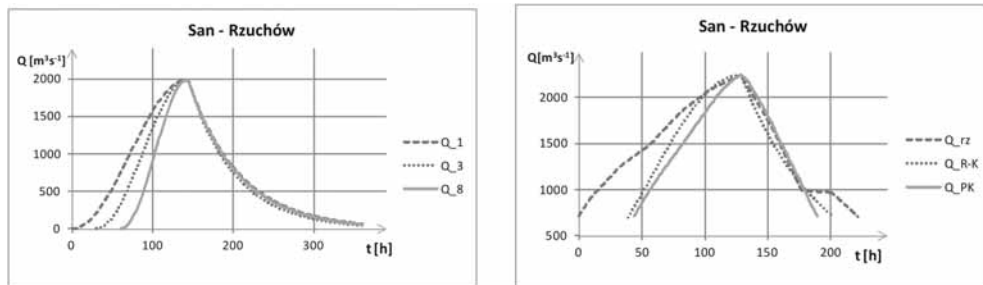
Rys. 8. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Nida w przekroju wodowskazowym Brzegi wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 8. Design floods in the Nida River catchment basin at Brzegi cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



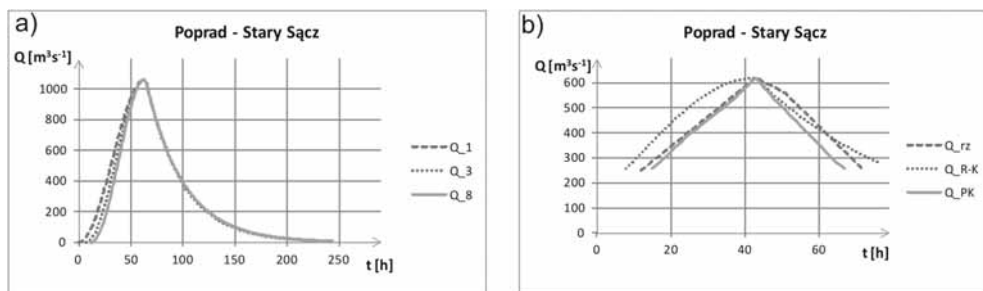
Rys. 9. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Biała w przekroju wodowskazowym Koszyce Wielkie wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 9. Design floods in the Biała River catchment basin at Koszyce Wielkie cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



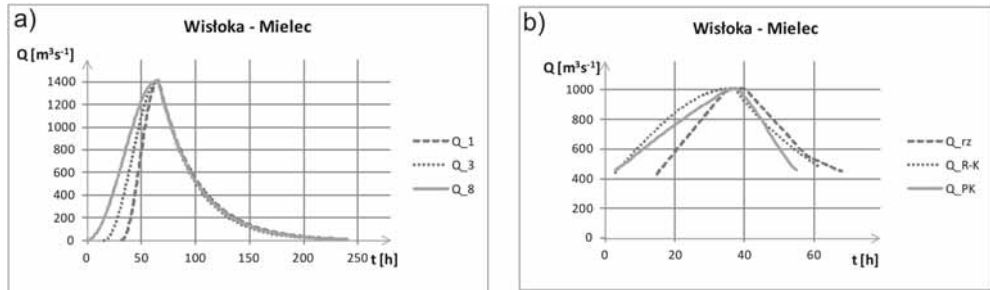
Rys. 10. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki San w przekroju wodowskazowym Rzychów wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 10. Design floods in the San River catchment basin at Rzychów cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



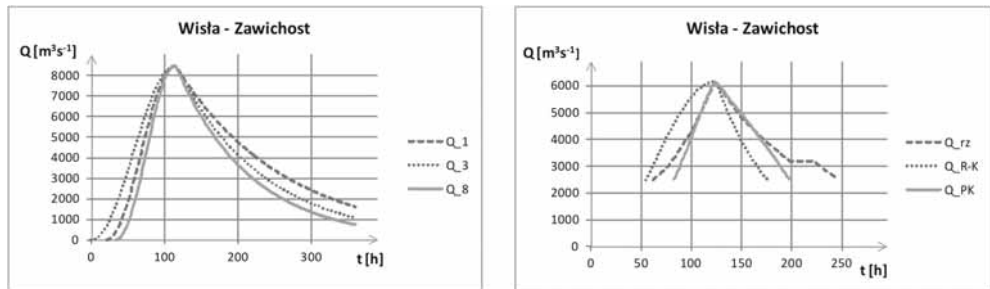
Rys. 11. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Poprad w przekroju wodowskazowym Stary Sącz wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 11. Design floods in the Poprad River catchment basin at Stary Sącz cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



Rys. 12. Wezbrania hipotetyczne w zlewni rzeki Wisłoka w przekroju wodowskazowym Mielec obliczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 12. Design floods in the Wisłoka River catchment basin at Mielec cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study



Rys. 13. Wezbrania hipotetyczne w zlewni Wisły w przekroju wodowskazowym Zawichost wyznaczone: a) metodą Reitza i Krepsa na podstawie jednego (Q_1), trzech (Q_3) i ośmiu (Q_8) największych zarejestrowanych wezbrań; b) metodą Krakowską (Q_{PK}) oraz Reitza i Krepsa na podstawie pojedynczego wezbrania o maksymalnej wysokości przepływu drugiej pod względem kolejności zaobserwowanych wartości (Q_{R-K}); Q_{rz} – rzeczywisty zarejestrowany hydrogram; źródło: wyniki własne

Fig. 13. Design floods in the Vistula River catchment basin at Zawichost cross-section determined: a) with the Reitz and Kreps method based on one (Q_1), three (Q_3) and eight (Q_8) largest recorded floods; b) with the Cracow method (Q_{PK}) and Reitz and Kreps method based on a single flood of maximum flow height of the second recorded value (Q_{R-K}); Q_{rz} – real recorded hydrograph; source: own study

Tabela 1. Parametry opisujące wezbrania hipotetyczne wyznaczone metodą Reitza i Krepsa na podstawie parametrów t_k i α , charakteryzujących jedno, trzy i osiem największych zarejestrowanych wezbrań rzecznych

Table 1. Parameters describing design floods determined with the Reitz and Kreps method based on parameters t_k and α characterising one, three and eight largest recorded real floods

Rzeka – wodowskaz River – water-gauge	Parametr obliczeniowy fali hipotetycznej Calculation parameter of design flood wave	Wartość wyznaczona na podstawie Value determined from:		
		1 wezbrania 1 flood	3 wezbrań 3 floods	8 wezbrań 8 floods
1	2	3	4	5
Żylica – Łodygowice	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	2,54	3,42	3,28
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	1,93	6,17	8,38
	czas wznoszenia, h time of rising, h	0,79	1,07	1,02
Wieprzówka – Rudze	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	5,41	6,32	11,08
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	18,98	13,40	18,98
	czas wznoszenia, h time of rising, h	0,58	0,68	1,19
Uswicza – Borzęcin	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	19,50	20,20	32,40
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	52,00	47,40	40,20
	czas wznoszenia, h time of rising, h	1,04	1,08	1,73
Koprzywianka – Koprzywnica	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	4,27	5,38	7,16
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	10,6	10,7	12,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	0,96	1,21	1,61
Nida – Brzegi	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	32,8	38,2	38,9
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	53,8	86,4	91,2
	czas wznoszenia, h time of rising, h	2,0	2,33	2,37
Biała – Koszyce Wielkie	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	208,0	145,0	121,0
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	98,9	68,2	70,1
	czas wznoszenia, h time of rising, h	3,79	2,64	2,21
San – Rzuchów	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	515,0	410,0	297,0
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	455,0	407,0	442,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	6,0	4,76	3,46

cd. tab. 1

1	2	3	4	5
Poprad – Stary Sącz	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	122,0	109,0	99,2
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	138,0	132,0	138,0
Wisłoka – Mielec	czas wznoszenia, h time of rising, h	2,67	2,39	2,17
	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	86,0	128,0	167,0
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	183,0	166,0	177,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	1,42	2,10	2,73
Wisła – Zawichost	objętość wezbrania w fazie wznoszenia, 10^6 m^3 flood volume – rising part, 10^6 m^3	1 430	1 760	1 240
	objętość wezbrania w fazie opadania, 10^6 m^3 flood volume – falling part, 10^6 m^3	4 490	3 590	3 070
	czas wznoszenia, h time of rising, h	3,92	4,81	3,39

Źródło: obliczenia własne. Source: ow study.

Tabela 2. Parametry opisujące największe zarejestrowane wezbranie rzeczywiste oraz wezbrania hipotetyczne wyznaczone metodą Reitza i Krepsa i metodą krakowską dla przepływu maksymalnego założonego na poziomie największego zarejestrowanego wezbrania

Table 2. Parameters describing the largest recorded real flood and design floods determined with the Reitz and Kreps and the Cracow method for maximum flow assumed from the maximum recorded flood

Rzeka – wodowskaz River – water-gauge	Parametr obliczeniowy fali hipotetycznej Calculation parameter of design flood wave	Metoda Reitza i Krepsa Reitz and Kreps method	Metoda krakowska Cracow method	Wezbranie rzeczywiste Real flood
1	2	3	4	5
Żylica – Łodygowice	zredukowana objętość wezbrania ¹⁾ , 10^6 m^3 reduced flood volume ¹⁾ , 10^6 m^3	10,8	5,87	5,78
	czas wznoszenia, h time of rising, h	21	17	19
	czas opadania, h time of falling, h	70	30	41
Wieprzówka – Rudze	zredukowana objętość wezbrania, 10^6 m^3 reduced flood volume, 10^6 m^3	17,1	13,4	11,4
	czas wznoszenia, h time of rising, h	15	15	12
	czas opadania, h time of falling, h	28	19	19
Uswicza – Borzęcin	zredukowana objętość wezbrania, 10^6 m^3 reduced flood volume, 10^6 m^3	29,9	35,0	39,5
	czas wznoszenia, h time of rising, h	12	31	19
	czas opadania, h time of falling, h	35	22	36
Koprzywnica – Koprzywnica	zredukowana objętość wezbrania, 10^6 m^3 reduced flood volume, 10^6 m^3	34,4	29,5	38,3
	czas wznoszenia, h time of rising, h	27	31	23
	czas opadania, h time of falling, h	64	45	106

cd. tab. 2

1	2	3	4	5
Nida – Brzegi	zredukowana objętość wezbrania, 10 ⁶ m ³ reduced flood volume, 10 ⁶ m ³	80,6	50,7	41,7
	czas wznoszenia, h time of rising, h	45	30	24
	czas opadania, h time of falling, h	85	77	45
Biała – Koszyce Wielkie	zredukowana objętość wezbrania, 10 ⁶ m ³ reduced flood volume, 10 ⁶ m ³	101,0	104,0	115,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	42	36	43
	czas opadania, h time of falling, h	10	25	23
San – Rzuchów	zredukowana objętość wezbrania, 10 ⁶ m ³ reduced flood volume, 10 ⁶ m ³	886,0	663,0	1172,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	90	84	129
	czas opadania, h time of falling, h	74	61	93
Poprad – Stary Sącz	zredukowana objętość wezbrania, 10 ⁶ m ³ reduced flood volume, 10 ⁶ m ³	116,0	81,1	95,8
	czas wznoszenia, h time of rising, h	35	28	31
	czas opadania, h time of falling, h	37	24	29
Wisłoka – Mielec	zredukowana objętość wezbrania, 10 ⁶ m ³ reduced flood volume, 10 ⁶ m ³	162,0	140,0	125,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	34	34	22
	czas opadania, h time of falling, h	25	18	31
Wisła – Zawichost	zredukowana objętość wezbrania, 10 ⁶ m ³ reduced flood volume, 10 ⁶ m ³	1949,0	1820,0	2612,0
	czas wznoszenia, h time of rising, h	70	42	62
	czas opadania, h time of falling, h	51	74	122

¹⁾ Objętość powyżej przepływu granicznego $Q_{p=50\%}$. ¹⁾ Volume above the threshold flow $Q_{p=50\%}$.

Źródło: obliczenia własne. Source: ow study.

Tabela 3. Odchylenie względne (%) objętości zredukowanej wezbrań hipotetycznych wyznaczonych metodą Reitza i Krepsa oraz metodą krakowską w stosunku do objętości zredukowanej największego zarejestrowanego wezbrania

Table 3. Relative deviation (%) of reduced volume of design floods determined with the Reitz and Kreps and the Cracow methods from reduced volume of the largest recorded flood

Rzeka – wodowskaz River – water-gauge	Metoda Reitza i Krepsa Reitz and Kreps method	Metoda krakowska Cracow method
Żylica – Łodygowice	86,9	1,6
Wieprzówka – Rudze	50,0	17,5
Uszwica – Borzęcin	-24,3	-11,4
Koprzywianka – Koprzywnica	-10,2	23,0
Nida – Brzegi	93,3	21,6
Biała – Koszyce Wielkie	-12,2	9,6
San – Rzuchów	-24,4	43,4
Poprad – Stary Sącz	21,1	-15,3
Wisłoka – Mielec	29,6	12,0
Wisła – Zawichost	-25,4	30,3

Źródło: obliczenia własne. Source: ow study.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzane analizy wykazały, że hydrogramy hipotetyczne wyznaczone metodą Reitza i Krepsa gorzej opisują objętość wezbrań, która jest podstawowym parametrem uwzględnianym w czasie prac projektowych, niż hydrogramy wyznaczone metodą krakowską. W dwóch na dziesięć rozpatrywanych wodowskazów objętość zredukowana obliczona metodą Reitza i Krepsa była przeszacowana o 93 i 87%, czyli prawie dwukrotnie, a w trzecim przypadku – o 50% w stosunku do rzeczywistych wezbrań (tab. 3). Takich odchyleń nie zanotowano w przypadku obliczeń metodą krakowską. Największe odchylenie obliczeń tą metodą wynosiło 43%.

W metodzie Reitza i Krepsa najbardziej zbliżony do rzeczywistego przebieg fali hipotetycznej uzyskano, gdy jego parametry wyznaczano na podstawie jednego największego zarejestrowanego wezbrania. W przypadku fal hipotetycznych wyznaczonych na podstawie większej liczby hydrogramów rzeczywistych błędy są większe. Świadczy to o dopasowaniu teoretycznego przebiegu do chwilowych hydrogramów, a nie do średnich przebiegów charakteryzujących daną rzekę.

Wadami, za które metoda Reitza i Krepsa była zawsze krytykowana są: nierzeczywisty kształt fal hipotetycznych i bardzo duże uzależnienie od poziomu odcięcia (przepływu bazowego) przyjętego wezbrania rzeczywistego, na podstawie którego są wyznaczane parametry tą metodą.

Reasumując, autorzy publikacji nie zalecają stosowania metody Reitza i Krepsa do wyznaczania wezbrań hipotetycznych.

LITERATURA

- BAPTISTA M., MICHEL C. 1990. Influence des caracteristiques hydrauliques des bies sur la propagation des pointes de crue. La Houille Blanche. No 2 s. 141–148.
- BYCZKOWSKI A. 1996. Hydrologia. T. 1. Warszawa. SGGW. ISBN: 83-00-02925 ss. 375.
- 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.
- CIEPIEŁOWSKI A., DĄBKOWSKI SZ. 2006. Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych. Bydgoszcz. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO. ISBN: 978-83-922194-1-5 ss. 311.
- GĄDEK W. 2010. Fale hipotetyczne o zadanym prawdopodobieństwie przepływu w kulminacji. W: Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. T. 1. Monografia. Nr 68. Warszawa. Komitet Inżynierii Środowiska PAN s. 177–186.
- GĄDEK W. 2012a. Wyznaczanie wezbrań hipotetycznych metodą Politechniki Warszawskiej i metodą Politechniki Krakowskiej w zlewniach kontrolowanych. Cz. I. Opis metod. Czasopismo Techniczne. Z. Ś-2 s. 95–104.
- GĄDEK W. 2012b. Wyznaczanie wezbrań hipotetycznych metodą Politechniki Warszawskiej i metodą Politechniki Krakowskiej w zlewniach kontrolowanych. Cz. II. Ocena metod. Czasopismo Techniczne. Z. Ś-2 s. 105–126.

- KICIŃSKI T. 1965. Konstrukcja fali wezbraniowej prawdopodobnej. Zeszyty Naukowe SGGW. Melioracje Rolne. Nr 6 s. 49–71.
- LAMBOR J. 1971. Hydrologia inżynierska. Warszawa. Wydaw. Arkady ss. 364.
- MCENROE B. M. 1992. Sizing stormwater detention reservoirs to reduce peak flow. W: Hydraulic engineering: saving a threatened resource – in search of solutions. Conference Proceeding Paper. Reston. VA. ASCE s. 719–724.
- REITZ W., KREPS H. 1945. Näherungsverfahren zur Berechnung des erforderlichen Struaraumes für Zwecke des Hochwasserschutzes. Deutsche Wasserwirtschaft. T. 1.
- STRUPCZEWSKI W. 1964. Równanie fali powodziowej. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej. Z. 2 (57) s. 35–58.
- SZALIŃSKA W., OTOP I. 2012. Ocena struktury czasowo-przestrzennej opadów z wykorzystaniem wybranych wskaźników do identyfikacji zdarzeń ekstremalnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 2 (38) s. 269–282.
- WAŁĘGA A. 2013. Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin. Journal of Water and Land Development. No 18 s. 13–20.
- CBSiPWM 1971. Przykłady obliczeń hydrologicznych do opracowań wodno-melioracyjnych. Praca studialna. Nr 126. Warszawa s. 128–139.

Wiesław GADEK, Arkadiusz ŚRODULA

EVALUATION OF DESIGN FLOOD PARAMETERS DETERMINED WITH THE REITZ AND KREPS METHOD IN GAUGED BASINS

Key words: design flood, floods parameters, the Method of Cracow, the Method of Cracow University of Technology, the Method of Reitz and Kreps, theoretical hydrograms

S u m m a r y

The method of Reitz and Kreps for the determination of design flood is most frequently used in our country. Its popularity results mainly from simple procedures for determining theoretical hydrographs. In this publication, parameters calculated with this method were compared with those obtained with a more credible Cracow method. Due to the lack of any guidelines clarifying the rules of determining the flood by the Reitz and Kreps method in our country, it has been assumed that a theoretical hydrograph parameters will be determined based on one, three and eight largest real unimodal waveforms recorded in 12 water gauges. Selected water-gauge cross sections were located in the upper Vistula River and represented small, medium, and large catchment areas in mountain regions, hilly areas, highlands, and lowlands. The evaluation was carried out in two categories:

- the impact of the number of floods considered in the determination of the coefficients used in the functions describing the floods on flood parameters,
- evaluation of the values of flood parameters in relation to the greatest recorded flood and to flood designated with the Cracow method.

The results obtained do not show a clear trend. The smallest volume of design flood is obtained when equation coefficients are determined based on one actual flood. Comparison of methods shows the advantage of the Cracow method. This method exposes more clearly the character of the river in gauging cross section.

Adres do korespondencji: dr hab. W. Gądek, prof. PK, Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, ul. Warszawska 24, 30-155 Kraków; tel. +48 12-628-28-54, e-mail: Wieslaw.Gadek@iigw.pl

