Wiesław GADEK¹

OCENA WPŁYWU WARTOŚCI LICZB LOSOWYCH W METODZIE HYDROPROJEKTU NA PARAMETRY FALI HIPOTETYCZNEJ

Metoda Hydroprojektu stosowana do wyznaczania fal hipotetycznych wykorzystuje wartości liczb losowych w zakresie od -0,1 do 0,2 uzyskane z generatora liczb losowych do uziemiennienia przebiegu czasowego wezbrania. Celem niniejszej publikacji jest sprawdzenie, w jakim zakresie ulegają zmianom parametry wezbrania takie jak: objętość i czas trwania, w wyniku stosowania generatora liczb losowych. Analizę przeprowadzono dla danych zarejestrowanych na 30 wodowskazach położonych na obszarze zlewni górnej Wisły. Wybrane posterunki reprezentują zlewnie o różnej powierzchni i różnym charakterze. Reprezentowane są zlewnie górskie, podgórskie, wyżynne i nizinne. Najmniejsza zlewnia potoku Lubieńka ma powierzchnię 46,9 km², a największą jest zlewnia Wisły po przekroju wodowskazowy Zawichost 50 732 km². Przy wyborze tzw. hydrogramu wzorcowego dla metody Hydroprojektu, wykorzystano opracowaną przez autora publikacji „formułę na objętość”, która w sposób zadawalający wyznacza wartość objętości wezbrania dla zadanej powierzchni zlewni. Formuła ta może być stosowana zarówno dla dorzecza Wisły jak i Odry. Z uwagi na to, że w metodzie Hydroprojektu nie wyznacza się w sposób jednoznaczny poziomu odcięcia wezbrania, przyjęto dla celów porównawczych, że obliczenia będą prowadzone dla wartości przepływów większych od $Q_{\max 50\%}$. Jak wykazały przeprowadzone obliczenia zarówno wartość objętości jak i czasu trwania wezbrania wykazują duże zróżnicowanie w stosunku do wezbrania przy wyłączonym generatorze liczb losowych. Odchylenie przy wartości liczby generatora 0,2 w zakresie czasu wznoszenia i opadania w stosunku do wyłączanego generatora liczb zmienia się od 16% do 58%. Podobne wartości odchylenia obliczono dla objętości wezbrania. Nie udało się ustalić przyczyn tak dużej rozpiętości wyników. Zaleca się ograniczenie górnej wartości liczby losowej do 0,1 i stosować generator w zakresie od -0,1 do 0,1.

Słowa kluczowe: metoda Hydroprojektu, fala hipotetyczna, formuła na objętość, metoda krakowska, parametry wezbrania, wezbranie

¹ Wiesław Gadek, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 30-155 Kraków, tel. 12 628 28 54, wieslaw.gadek@iigw.pk.edu.pl

1. Wstęp

Opracowana przez Hydroprojekt w 1989 roku metoda wyznaczania wezbrań teoretycznych (potocznie nazywanymi falami hipotetycznymi) należy do jednych z ciekawszych propozycji w tym zakresie. Jej unikatowość w stosunku do innych metod polega na zmianie przebiegu wezbrania w czasie przy zachowaniu maksymalnej wartości przepływu w hydrogramie [13]. Uzyskuje się to poprzez zastosowanie generatora liczb losowych w zakresie od -0,1 do 0,2, wydłużając lub skracając czasy wznoszenia i opadania fali. W stosowanych podobnych rozwiązaniach, zmianom podlega nie tylko czas przebiegu wezbrania, ale i wartości przepływu [22].

Wezbrania hipotetyczne znalazły szerokie zastosowanie w gospodarce wodnej, różnią się one od przepływów miarodajnych i kontrolnych tym, że posiadają dodatkową informację o przebiegu wezbrania, objętości, czasie wznoszenia oraz czasie trwania wezbrania. Dzięki tej nowej jakości danych można wykonywać obliczenia transformacji fali w korycie cieku lub poprzez zbiornik retencyjny [21]. Liczba możliwych zastosowań tych fal systematycznie rośnie. Na chwilę obecną znajdują one zastosowanie w szeroko rozumianym ryzyku powodziowym [1; 23; 24], gdzie oceniane jest przestrzenne ryzyko, w którym stara się określić straty mienia i o ile jest to możliwe ustalić stan zagrożenia dla życia ludzkiego [3; 14]. Podejmowane są próby ustalenia wpływu kanalizacji deszczowej na odpływ ze zlewni zurbanizowanej a także w zagadnieniach związanych z jakością wody. Brak jest podobnych rozwiązań w zakresie niżówek i suszy a ich negatywne skutki oddziaływania są podobne i dotyczą znacznie dłuższych czasów trwania [20].

Metod dotyczących wyznaczania wezbrań hipotetycznych w zlewniach kontrolowanych jest stosunkowo dużo w naszym kraju, brak jest ich dla zlewni niekontrolowanych. Dla zlewni niekontrolowanych podejmowane są próby wykorzystania modeli hydrologicznych do wyznaczania hydrogramów [8; 17; 25]. W rozwiązaniach tych zakłada się, że prawdopodobieństwo maksymalnego opadu jest takie samo jak prawdopodobieństwo odpływu ze zlewni. Brak w nich jest zasad wyznaczanie przebiegu w czasie opadu o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia [2; 19; 26]. Trudno też jest jednoznacznie podać, dla jakiej maksymalnej powierzchni zlewni można tego typu rozwiązania stosować. Być może rozwiązaniem jest zastosowanie integralnych modeli hydrologicznych o parametrach rozłożonych takich jak model WISTOO [4; 5; 16] w który przeznaczony jest dla zlewni od 10 do 1000 km² lub stosowanie modeli o parametrach częściowo rozłożonych, w których modele hydrologiczne typu opad-odpływ były by wspomagane modelem hydrodynamicznym. W tych modelach nie ma ograniczeń powierzchni zlewni. Można też wykorzystać „formułę na objętość”, która umożliwia ustalenie wartości objętości wezbrania hipotetycznego dla zlewni do 1000 km² a przebieg wezbrania wyznaczany jest na podstawie hydrogramu jednostkowego UHI SCS [10; 11].

W zlewniach kontrolowanych do wyznaczania fal hipotetycznych stosowane są metody:

- Reitza i Krepsa [12],
- dwie metody Strupczewskiego [18],
- McEnroe [15],
- Hydroprojektu [13],
- Politechniki Warszawskiej [7],
- krakowska [6, 7].

Niezależnie od przyjętej metody użyte dane do wyznaczania hydrogramów teoretycznych powinny być zarejestrowane w systemie wodowskazowym lub telemetrycznym. Dane z systemu limnigraficznego nie powinny być stosowane z uwagi na uśredniony przepływ, który zniekształca przebieg w czasie przepływu teoretyczne [9].

Celem niniejszej publikacji jest dokonanie oceny jak skrajne wartości w stosowanym generatorze liczb losowych w metodzie Hydroprojektu wpływające na zmianę czasu wznoszenia i opadania wezbrania przekładają się na zmiany objętości obliczanego wezbrania. Tą ocenę przeprowadzono dla 30 przekroi wodowskazowych usytuowanych na obszarze górnej Wisły.

2. Metodyka badań

2.1. Krótki opis metody Hydroprojektu

Metoda Hydroprojektu wyznaczania fal hipotetycznych została opracowana w 1989 roku [13]. Metoda ta zakłada, że hydrogramy są maksymalnie dopasowane do rzeczywistych zarejestrowanych wezbrań. Założenie to realizowane jest poprzez wyznaczanie fali ze zbioru historyczne zarejestrowanych wezbrań o podobnym charakterze i tej samej genetyce powstania np. wezbrania opadowe lub roztopowe. Przy ich konstrukcji wykorzystuje się losowo wygenerowany czas trwania przebiegu fali w strefie wznoszenia i w strefie opadania. Przy wyborze fali wzorcowej ze zbioru fal historycznie zarejestrowanych stosowane jest jedno z trzech kryteriów:

- najwyższego przepływu dla zarejestrowanych wezbrań,
- maksymalnie zbliżonej wartości przepływu w kulminacji do maksymalnego zadanego przepływu dla fali hipotetycznej,
- typowego kształtu wezbrania rzeczywistego.

Przebieg części wznoszącej hydrogramu i części opadającej jest wyznaczany w sposób niezależny z wykorzystaniem generatora liczb losowych z przedziału od -0,1 do 0,2, który umożliwia modyfikację czasową przebiegu fali hipotetycznej stosunku do rzeczywistego przebiegu (rys.1).

Dla części wznoszącej współrzędne czasowe obliczane są z zależności:

$$t_{w_i}^h = t_{w_i} (1 + G_w \frac{Q_{maxp\%}}{Q_{max}}) \quad (1)$$

gdzie: $t_{w_i}^h$ - współrzędne czasowe fali hipotetycznej dla części wznoszącej [h],
 t_{w_i} - współrzędne czasowe dla części wznoszącej wezbrania rzeczywistego [h],
 G_w - liczba losowa z przedziału [-0,1; 0,2] ustalana na podstawie niezależnych losowań dla części wznoszącej wezbrania hipotetycznego [-],
 $Q_{maxp\%}$ - przepływ maksymalny o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia dla fali hipotetycznej [m^3s^{-1}],
 Q_{max} - przepływ maksymalny dla fali rzeczywistej [m^3s^{-1}],
 i - kolejne współrzędne czasowe.

Wartości przepływu dla części wznoszącej wyznacza formuła

$$Q_{w_i}^h = Q_0^w + \frac{Q_{maxp\%} - Q_0^w}{Q_{max} - Q_0^w} (Q_{w_i} - Q_0^w) \quad (2)$$

gdzie: $Q_{w_i}^h$ - wartości przepływu dla fali hipotetycznej wyznaczonych współrzędnymi czasowymi $t_{w_i}^h$ [m^3s^{-1}],
 Q_0^w - wartości przepływu początkowego dla części wznoszącej wezbrania rzeczywistego [m^3s^{-1}],
 Q_{w_i} - wartości przepływu w części wznoszącej dla wezbrania rzeczywistego [m^3s^{-1}].

Dla części opadającej w podobny sposób wyznaczane są współrzędne czasowe i przepływu:

$$t_{o_i}^h = t_{o_i} (1 + G_o \frac{Q_{maxp\%}}{Q_{max}}) \quad (3)$$

gdzie: $t_{o_i}^h$ - współrzędne czasowe fali hipotetycznej dla części opadającej [h],
 t_{o_i} - współrzędne czasowe dla części opadającej wezbrania rzeczywistego [h],
 G_o - liczba losowa z przedziału [-0,1; 0,2] ustalana na podstawie niezależnych losowań dla części opadającej wezbrania hipotetycznego [-].

Rys. 1. Graniczne przebiegi wezbrań teoretycznych w metodzie Hydroprojektu dla wartości generatora w części wznoszącej i opadającej $G1=0,2$, $G2=-0,1$ i $G0 = 0$. Źródło: obliczenia własne

Fig. 1. Critical routes of the design floods in Hydroprojekt method for the generator values in the rising part and declining part $G1=0,2$, $G2=-0,1$ and $G0 = 0$. Source: own calculations

Wartości przepływu dla części opadającej wyznacza się

$$Q_{oi}^h = Q_0^o + \frac{Q_{max\%}^o - Q_0^o}{Q_{max} - Q_0^o} (Q_{oi} - Q_0^o) \quad (4)$$

gdzie: Q_{oi}^h - wartości przepływu dla fali hipotetycznej wyznaczonych współrzędnymi czasowymi t_{oi}^h dla części opadającej [m^3s^{-1}],

Q_0^o - wartości przepływu końcowego dla części opadającej wezbrania rzeczywistego [m^3s^{-1}],

Q_{oi} - wartości przepływu w części opadającej dla wezbrania rzeczywistego [m^3s^{-1}].

2.2. Krótka charakterystyka wybranych zlewni

Analizę wpływu wartości generatora liczb losowych na objętość wezbrania i czas bazowy fali w metodzie Hydroprojektu przeprowadzono dla 30 przekroi wodowskazowych, których zlewnie położone są na obszarze górnej Wisły. Wybrane zlewnie reprezentują tereny o różnych powierzchniach i topografiach, są to zlewnie o charakterze górskim, podgórskim, wyżynne oraz nizinne. Zestawienie wytypowanych do analizy zlewni przedstawiono w tabeli 1, w której oprócz wartości powierzchni, podano współczynnik charakteryzujący charakter rzek pod względem dynamiki zmian przepływu $IQ_{p\%}$ (iloraz przepływów o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia).

Tabela 1. Powierzchnie zlewni oraz iloraz $IQ_{p\%}$ dla wytypowanych zlewni do przeprowadzanej oceny wpływu generatora liczb losowych na objętość wezbrania hipotetycznego w metodzie Hydroprojektu. Źródło: obliczenia własne.

Table 1. Catchment surface area and the quotient $IQ_{p\%}$ for the selected catchments for conducting the assessment of the influence of the random number generator on the design flood volume in Hydroprojekt method. Source: own study

Lp.	Rzeka – wodowskaz	Powierzchnia [km ²]	$IQ_{p\%}$ [%]
1	Lubieńka - Lubień	46,9	5,6
2	Żylica – Łodygowice	48,0	6,2
3	Bystra - Kamesznica	48,2	5,0
4	Grajcarek - Szczawnica	73,6	6,4
5	Wisłok – Puławy Dolne	131	5,6
6	Wieprzówka – Rudze	154	3,8
7	Jasiołka - Jasło	164	3,6
8	Uswica –Borzęcin	265	5,3
9	Wisła - Skoczów	297	6,3
10	Ośława - Szczawne	302	3,2
11	Raba - Kasinka	353	5,9
12	Skawa - Sucha Beskidzka	468	4,6
13	Koprzywianka – Koprzywnica	498	3,4
14	Czarna - Staszów	571	4,7
15	Raba - Stróża	644	5,0
16	Dunajec – Nowy Targ-Kowaniec	681	4,7
17	Czarna Nida - Morawica	755	4,7
18	Skawa - Wadowice	835	4,3
19	Biała – Koszyce Wielkie	957	6,3
20	Raba - Proszówki	1 470	4,9
21	Przemsza - Jeleń	2 006	2,1
22	Poprad - Stary Sącz	2 071	4,1
23	Nida – Brzegi	3 359	4,5
24	San - Przemyśl	3 686	3,4
25	Wisłoka – Mielec	3 893	3,1
26	Dunajec - Nowy Sącz	4 341	5,8
27	Dunajec - Żabno -	6 735	5,19
28	San - Radomyśl	16 824	2,8
29	Wisła - Sandomierz	31 847	4,0
30	Wisła – Zawichost	50 732	3,4

Iloraz $IQ_{p\%}$ obliczono:

$$IQ_{p\%} = \frac{Q_{\max 1\%}}{Q_{\max 50\%}} \quad (5)$$

gdzie: $IQ_{p\%}$ - iloraz maksymalnych przepływów rocznych o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia, [-];

$Q_{\max 1\%}$, $Q_{\max 50\%}$ - maksymalny przepływ roczny o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$ i 50% , [m³·s⁻¹].

2.3 Przyjęte założenia

W metodzie Hydroprojektu podstawowym założeniem jest maksymalne dopasowanie przebiegu wezbrania hipotetycznego do hydrogramu rzeczywistego. Przebieg wezbrania jest w zakresie wznoszenia i opadania modyfikowany poprzez zastosowanie generatora liczb losowych z przedziału od -0,1 do 0,2. Zakres ten równocześnie wyznacza obszar możliwych przebiegów fal teoretycznych (rys.1). Zasadne jest zatem uzyskanie odpowiedzi jak wpływa proponowany zakres zmienności czasowej przebiegu fali w części wznoszącej i w części opadającej na objętość wezbrania oraz na czas bazowy. Przyjęto następujące założenie, że zmienność tych parametrów będzie oceniana względem wezbrania, które zostało wyznaczone przy liczbie losowej 0. Ponieważ problem dotyczy wezbrań hipotetycznych przy ekstremalnych wartościach liczby losowej, czyli $G = -0,1$ i $G = 0,2$, oceniane wezbrania teoretyczne wyznaczone zostały dla 4 wariantów obliczeniowych:

1. dla części wznoszącej wezbrania i opadającej wartość liczby losowej $G = G_w = G_o = -0,1$;
2. dla części wznoszącej wezbrania i opadającej wartość liczby losowej $G = G_w = G_o = 0,2$;
3. dla części wznoszącej wezbrania liczba losowa $G_w = 0,2$ a dla części opadającej wartość liczby losowej $G_o = -0,1$;
4. dla części wznoszącej wezbrania liczba losowa $G_w = -0,1$ a dla części opadającej wartość liczby losowej $G_o = 0,2$;

W metodzie Hydroprojektu nie ma zdefiniowanego przepływu bazowego, który wyznacza zakres czasowy wezbrania. Wartości przepływu, od którego rozpoczyna się i kończy wezbranie różnią się w niekontrolowanym zakresie. Z tego powodu przyjęto założenie, że poziomem odniesienia do prowadzonych ocen będzie wyznaczony przez wartość przepływu o prawdopodobieństwie przewyższenia $Q_{50\%}$. Założenie to zapewnia porównywalność wyników.

Wybór hydrogramu wzorcowego z pośród czterech wcześniej wytypowanych przeprowadzono na podstawie zgodności obliczonych objętości wezbrań przy wyłączonym generatorze (liczba losowa $G=0,0$) z „formułą na objętość” [10]. Kryterium wyboru – minimum różnic objętości. „Formuła na objętość” może być stosowana dla zlewni do 1000 km², dla większych zlewni w celu utrzymania porównywalności wyników przyjęto zasadę najbliższej wartości objętości hydrogramu wzorcowego z „formułą na objętość”. Dodatkowo kontrolnie korzystano z obliczonych wartości objętości z metody krakowskiej [6]. Dla wybranych przekroji wodowskazowych nie zaistniała konieczność skorzystania z takiego wyboru. Przyjęcie odpowiedniego wezbrania jest w tej metodzie podstawowym zadaniem, które decyduje o parametrach i przebiegu wezbrania hipotetycznego. Jak wykazano we wcześniejszych publikacjach, proponowane kryteria w metodzie Hydroprojektu wyboru wezbrania jako wzorcowego nie sprawdzają się [11; 13]. „Formuła na objętość” umożliwia wskazanie odpowiedniego wezbrania.

3. Wyniki badań

Wyniki obliczeń dla poszczególnych wodowskazów uszeregowano według wielkości powierzchni zlewni - od najmniejszej do największej. Wartości objętości zredukowanej fal hipotetycznych (objętość powyżej poziomu odniesienia $Q_{\max 50\%}$) obliczono dla przyjętego przepływu maksymalnego w kulminacji fali $Q_{\max 1\%}$. i przedstawiono w tabeli 2. Wartości czasu bazowego wezbrań dla poziomu odniesienia $Q_{\max 50\%}$ zamieszczono w tabeli 3.

Na rysunku 2 zostały zamieszczone odchylenia względne obliczone dla objętości maksymalnej fali hipotetycznej B_v przy liczbie losowej 0,2 dla części wznoszącej i dla części opadającej. Na rysunku 3 przedstawiono odchylenie względne maksymalne dla czasu trwania B_t . Wartość odchylenia dla objętości obliczono:

$$B_v = \frac{V_{0,2} - V_0}{V_0} 100\% \quad (6)$$

gdzie: $V_{0,2}$ - objętość zredukowana (objętość powyżej poziomu odniesienia $Q_{\max 50\%}$) obliczona dla wezbrania przy wartości liczby losowej generatora $G = 0,2 [10^6 \text{ m}^3]$,

V_0 - objętość zredukowana (objętość powyżej poziomu odniesienia $Q_{\max 50\%}$) obliczona dla wezbrania przy wartości liczby losowej generatora $G = 0,0 [10^6 \text{ m}^3]$.

Na podobnych zasadach obliczono odchylenie dla czasu bazowego fali B_t :

$$B_t = \frac{t_{0,2} - t_0}{t_0} 100\% \quad (7)$$

gdzie: $t_{0,2}$ - czas bazowy fali hipotetycznej liczony na poziomie odniesienia $Q_{\max 50\%}$ dla wezbrania przy wartości liczby losowej generatora $G = 0,2 [\text{h}]$,

t_0 - czas bazowy fali hipotetycznej liczony na poziomie odniesienia $Q_{\max 50\%}$ dla wezbrania przy wartości liczby losowej generatora $G = 0,0 [\text{h}]$.

Tabela 2. Objętość fal hipotetycznych w metodzie Hydroprojektu przy wartościach: liczby losowej 0,0 dla całej fali, dla liczb losowych -0,1 dla części wznoszącej i dla opadającej wzebrania, dla liczb losowych 0,2 dla części wznoszącej i dla opadającej, dla liczb losowych -0,1 dla części wznoszącej a dla opadającej 0,2, dla liczb losowych 0,2 dla części wznoszącej i dla opadającej -0,1. Źródło: obliczenia własne

Table 2. The volume of the design floods in Hydroprojekt method at the following values: the random number 0,0 for the whole wave, for the random numbers -0,1 for the rising part and declining part of the flood, for the random numbers 0,2 for the rising part and declining part, for the random numbers -0,1 for the rising part, and for the declining part 0,2, for the random numbers 0,2 for the rising part and declining part -0,1. Source: own study

Lp	Rzeka – wodowskaz	Objętość zredukowana wzebrania [10^6 m^3] przy zastosowanych wartościach liczb losowych [wznosząca; opadająca]				
		[0,0; 0,0]	[-0,1; -0,1]	[0,2; 0,2]	[-0,1; 0,2]	[0,2; -0,1]
1	Lubieńka - Lubień	4,55	3,55	6,54	4,58	5,51
2	Żylica – Łodygowice	5,18	3,92	7,68	6,03	5,57
3	Bystra - Kamesznica	3,48	3,02	4,38	3,69	3,71
4	Grajcarek - Szczawnica	3,37	2,86	4,39	3,27	3,98
5	Wiśłok – Puławy Dolne	13,65	10,00	20,96	16,12	14,83
6	Wieprzówka –Rudze	8,49	7,26	10,95	9,43	8,78
7	Jasiołka - Jasło	19,66	16,79	25,41	19,91	22,28
8	Uszwica –Borzęcin	30,20	25,28	40,03	34,04	31,27
9	Wiśła - Skoczów	26,59	23,44	32,89	29,08	27,25
10	Ośława - Szczawne	12,43	11,03	15,21	13,09	13,16
11	Raba - Kasinka	25,51	21,29	33,97	26,41	28,85
12	Skawa - Sucha Beskidzka	31,00	28,51	35,96	30,90	33,57
13	Koprzywianka – Koprzywnica	4,12	3,66	5,04	4,48	4,21
14	Czarna - Staszów	15,03	12,37	20,35	18,88	13,84
15	Raba - Stróża	42,25	35,11	56,53	47,35	44,30
16	Dunajec – Nowy Targ - Kowaniec	32,55	29,38	38,87	35,00	33,25
17	Czarna Nida - Morawica	23,36	20,90	28,30	26,34	22,85
18	Skawa - Wadowice	55,81	47,60	72,25	59,29	60,55
19	Biała – Koszyce Wielkie	73,73	56,23	108,73	75,95	89,00
20	Raba - Proszówki	108,2	76,67	171,1	112,5	135,3
21	Przemsza - Jeleń	11,54	10,05	14,52	12,18	12,39
22	Poprad - Stary Sącz	63,38	47,90	94,34	73,68	68,57
23	Nida – Brzegi	47,29	37,86	66,16	56,71	47,31
24	San - Przemyśl	135,9	121,8	164,0	140,1	145,7
25	Wiśłoka – Mielec	106,1	91,3	135,7	117,5	111,9
26	Dunajec - Nowy Sącz	298,1	238,3	417,7	343,7	312,3
27	Dunajec - Żabno	545,3	465,3	705,4	574,4	596,3
28	San - Radomyśl	242,9	202,3	324,3	236,4	290,1
29	Wiśła - Sandomierz	944,6	718,8	1396,0	1139,0	976,4
30	Wiśła – Zawichost	1026,0	816,4	1445,0	1287,0	974,8

Tabela 3. Czas trwania fal hipotetycznych w metodzie Hydroprojektu przy wartościach liczby losowej: 0,0 dla całej fali, dla liczb losowych -0,1 dla części wznoszącej i dla opadającej wznbrania, dla liczb losowych 0,2 dla części wznoszącej i dla opadającej, dla liczb losowych -0,1 dla części wznoszącej a dla opadającej 0,2, dla liczb losowych 0,2 dla części wznoszącej i dla opadającej -0,1. Źródło: obliczenia własne

Table 3. Duration time of the design waves in Hydroprojekt method at the following values: the random number 0,0 for the whole wave, for the random numbers -0,1 for the rising part and declining part of the flood, for the random numbers 0,2 for the rising part and declining part, for the random numbers -0,1 for the rising part and for the declining part 0,2, for the random numbers 0,2 for the rising part and declining part -0,1. Source: own study

Lp	Rzeka – wodowskaz	Czas trwania fali hipotetycznej [h] przy zastosowanych wartościach liczb losowych [wznosząca; opadająca]				
		[0,0; 0,0]	[-0,1; -0,1]	[0,2; 0,2]	[-0,1; 0,2]	[0,2; -0,1]
1	Lubieńka - Lubień	64	50	92	65	77
2	Żylica – Łodygowice	56	42	83	68	58
3	Bystra - Kamesznica	61	53	77	67	63
4	Grajcarek - Szczawnica	57	48	74	57	66
5	Wiśłok – Puławy Dolne	37	27	57	42	42
6	Wieprzówka –Rudze	47	40	61	51	50
7	Jasiołka - Jasło	43	37	56	44	48
8	Uszwica –Borzęcin	43	36	57	48	45
9	Wiśła - Skoczów	40	35	49	46	39
10	Ośława - Szczawne	38	34	47	39	41
11	Raba - Kasinka	51	43	68	54	56
12	Skawa - Sucha Beskidzka	72	66	84	71	78
13	Koprzywianka – Koprzywnica	40	36	49	42	43
14	Czarna - Staszów	78	64	106	101	69
15	Raba - Stróża	54	45	72	62	56
16	Dunajec – Nowy Targ - Kowaniec	39	35	47	43	38
17	Czarna Nida - Morawica	112	100	136	128	107
18	Skawa - Wadowice	41	35	53	45	43
19	Biała – Koszyce Wielkie	69	53	102	65	89
20	Raba - Proszówki	45	32	71	47	56
21	Przemsza - Jeleń	108	94	136	119	111
22	Poprad - Stary Sącz	55	42	82	67	56
23	Nida – Brzegi	106	85	148	132	101
24	San - Przemyśl	61	55	74	63	65
25	Wiśłoka – Mielec	65	56	83	120	81
26	Dunajec - Nowy Sącz	64	51	90	76	65
27	Dunajec - Żabno	112	96	145	124	117
28	San - Radomyśl	91	76	121	92	105
29	Wiśła - Sandomierz	110	84	163	132	115
30	Wiśła – Zawichost	105	84	148	131	101

Rys. 2. Odchylenie względne objętości zredukowanej przy zastosowanej liczbie losowej generatora $G = 0,2$ dla wodowskazów z obszaru górnej Wisły usystematyzowanych według wielkości zlewni. Nr – numer porządkowy zlewni według tabeli 2. Źródło: obliczenia własne.

Fig. 2. Relative deviation of the reduced volume at the applied random number of the generator $G = 0,2$ for the water-gauges from the region of the Upper Vistula systematised according to the catchment size. Nr – the catchment ordinal number according to the table 2. Source: own calculations

Rys. 3. Odchylenie względne czasu trwania wezbrania hipotetycznego na wysokości poziomu porównawczego $Q_{\max 50\%}$ przy zastosowanej liczbie losowej generatora $G = 0,2$ dla wodowskazów usystematyzowanych według wielkości zlewni. Nr – numer porządkowy według tabeli 3. Źródło: obliczenia własne.

Fig. 3. Relative deviation of the design flood duration time at the height of the comparative level $Q_{\max 50\%}$ at the applied random number of the generator $G = 0,2$ for the water-gauges systematised according to the catchment size. Nr – the ordinal number according to the table 3. : Source: own calculations

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że odchylenia dla objętości i czasu bazowego kształtują się na bardzo zbliżonym do siebie poziomie. Ich wartości wahają się od 8% do 29 dla liczby losowej generatora 0,1 dla części wznoszącej i opadającej i od 16% do 58% dla liczby losowej 0,2. Wprowadzona korekta przebiegu w czasie wezbrania poprzez generator liczb losowych ma istotny wpływ na zmianę parametrów wezbrania. Przeprowadzone próby uzależnienia wartości odchylenia względnego od powierzchni zlewni oraz od przepływu maksymalnego nie wykazały współzależności. Na rysunku 4 przedstawiono wzajemne relację pomiędzy odchyleniem względnym dla czasu bazowego B_t a powierzchnią zlewni.

Rys. 4. Zależność odchylenia względnego dla czasu bazowego B_t fal hipotetycznych wyznaczonych metodą Hydroprojektu przy liczbie losowej generatora 0,2 dla części wznoszącej i opadającej od powierzchni zlewni dla przekroji wodowskazowych na obszarze górnej Wisły.

Fig. 4. The relation of the relative deviation for the basic time B_t of the design floods determined with the Hydroprojekt method at the random number of the generator 0,2 for the rising part and declining part for the catchment surface area for the water-gauged cross-sections in the region of the Upper Vistula. Source: own calculations

4. Podsumowanie i wnioski

Metoda Hydroprojektu ponad ćwierć wieku temu wprowadziła uzmiennienie parametrów wezbrania hipotetycznego przy zadanej stałej wartości przepływu maksymalnego. Charakteryzuje się ona nadal w warunkach krajowych odmiennym podejściem do problemu wyznaczania fal hipotetycznych. Metoda ta jednak wymaga wprowadzenia pewnych modyfikacji z uwagi na poszerzenie zakresu stosowania fal hipotetycznych. We wcześniejszej publikacji zapropo-

nowano by wybór wezbrania wzorcowego był dokonywany przez największą zgodność z „formułą na objętość” [11].

Zastosowany w metodzie Hydroprojektu generator liczb losowych w sposób istotny wpływa na końcowe parametry wyznaczanych fal hipotetycznych. Duża rozpiętość odchylenia względnego dla objętości fali hipotetycznej i czasu bazowego wezbrania, wskazują na niekontrolowany sposób wyznaczania przebiegu fal teoretycznych. Może mieć to negatywne konsekwencje przy wyznaczaniu stref zalewu lub przy ocenie ryzyka. Proponuje się aby górne ograniczenie wartości liczby losowej było obniżone z poziomu 0,2 do 0,1. Przy takim ograniczeniu uzyskuje się maksymalne wartości odchylenia względnego poniżej 30%. Niekontrolowany wpływ generatora liczb losowych na parametry wezbrania hipotetycznego mogą być również ograniczone poprzez kontrolę ich zmian w stosunku do wartości parametrów przy wyłączonym generatorze. Takie podejście ma zasadniczą zaletę, wartość górnego i dolnego ograniczenia losowego może być dobierana w zależności od rozwiązywanego problemu i przyjętych a priori dopuszczalnych zmian wartości parametrów. W czasie prowadzonych analiz stwierdzono, że przy stosowanych formułach na wyznaczenie wartości przepływu ma istotny wpływ poziom odcięcia dla części wznoszącej i części opadającej. To zagadnienie wymaga dodatkowych analiz.

Literatura

- [1] Apel H., Thieken A. H., Merz B., Blöschl G.: A probabilistic modelling system for assessing flood risks. *Natural Hazards*. Vol. 38 2006, s. 295-308.
- [2] Banasik K.: Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych, Wydawnictwo SGGW 2009, ss. 27.
- [3] Ernst J., Dewals B., Detremleux S., Archambeau P.: Micro-scale flood risk analysis based on detailed 2D hydraulic modelling and high resolution geographic data *Natural hazards*. *Natural Hazards*. Vol. 55, 2010 s. 181-209.
- [4] Gądek W., Książczyński K., Nachlik E., Szczepanek R., Ozga-Zielińska M.: Matematyczny model transformacji opadu w odpływ WISTOO. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. - Z. 18 2001 ss. 118.
- [5] Gądek W.: Matematyczny model odpływu ze zlewni z zastosowaniem zdekomponowanej przestrzeni siatki obliczeniowej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej* 49 2002 ss. 134.
- [6] Gądek W.: Fale hipotetyczne o zadanym prawdopodobieństwie przepływu w kulminacji. *Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. wodnej T. 1*. Warszawa. Komitet Inżynierii Środowiska PAN. Monografia. Nr 68. 2010, s. 177-186.
- [7] Gądek W.: Wyznaczanie wezbrań hipotetycznych metodą Politechniki Warszawskiej i metodą Politechniki Krakowskiej w zlewniach kontrolowanych. Cz. I. Opis metod. *Czasopismo Techniczne*. 2-Ś/2012 z.23. 2012 b, s. 95-104.
- [8] Gądek W., Banach Wł., Fiołka I.: Zastosowanie modelu geomorfologicznego do wyznaczania wezbrań hipotetycznych w zlewniach niekontrolowanych. *Czasopismo Techniczne* z. 1-Ś/2012 z. 4, 2012, s.59-67.

- [9] Gądek W.: Assessment of limnigraph data usefulness for determining the hypothetical flood waves with the Cracow method. *Journal of Water and Land Development*. No. 21 2014a, s. 71-78.
- [10] Gądek W.: Fale hipotetyczne dla zlewni niekontrolowanej. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN* z. 20, 2014b, s. 139-149.
- [11] Gądek W.: Typowy hydrogram przepływu dla potrzeb wyznaczania wezbrań hipotetycznych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. Praca w druku 2015.
- [12] Gądek W., Śródula A.: Ocena parametrów wezbrań hipotetycznych wyznaczonych metodą Reitza i Krepsa w zlewniach kontrolowanych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. t. 14. z. 3 (47) 2014a s. 29-47.
- [13] Gądek W., Śródula A.: The evaluation of the design flood hydrographs determined with the Hydroproject method in the gauged catchments. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. 4/3 2014b, s. 1355-1366.
- [14] Jonkman S. N., Vrijling J. K., Vrouwenvelder A. C. W.: Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method. *Natural Hazards*. Vol. 46, 2008, s. 353-358.
- [15] 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 1992, s. 719-724.
- [16] Ozga-Zielińska M., Gądek W., Książczyński K., Nachlik E., Szczepanek R.: Mathematical model of rainfall-runoff transformation – WISTOO. *Mathematical Models of Large Watershed Hydrology*, Ed. Singh V. P., Frevert D.K. Water Resources Publications, LLC, Littleton, Colorado 2002, s. 811-860.
- [17] Pietrusiewicz I., Cupak A., Wałęga A., Michalec B. 2014. The use of NRCS synthetic unit hydrograph and Wackermann conceptual model in the simulation of a flood wave in an uncontrolled catchment. *Journal of Water and Land Development*. No. 23 2014 s. 53-59.
- [18] Strupczewski W.: Równanie fali powodziowej. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*. 2(57) 1964, s. 35-58.
- [19] Szalińska W., Otop I.: Ocena struktury czasowo-przestrzennej opadów z wykorzystaniem wybranych wskaźników do identyfikacji zdarzeń ekstremalnych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 2 (38) 2012 s. 269-282.
- [20] Twaróg B. Optymalna ochrona przed powodzią z uwzględnieniem ryzyka – *Gospodarka Wodna* nr 4 2005 s. 137-142.
- [21] Twaróg B.: Zastosowanie funkcji Copula do budowy rozkładów prawdopodobieństwa wielowymiarowej zmiennej losowej określanej dla zbioru parametrów fali powodziowej. *Czasopismo Techniczne* 10-Ś/2006, 2006, s. 177-198.
- [22] Twaróg B.: Elementy ryzyka i zarządzania bezpieczeństwem obiektów przeciwpowodziowych - *Czasopismo Techniczne* z. 3-Ś/2008, 2008 s. 143-159.
- [23] Vrijling J. k., Van Hengel W., Houben R. J.: Acceptable risk as a basis for design. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 59 1998 s. 141-150.
- [24] Tokarczyk T. Szalińska W.: The operational drought hazard assessment scheme – performance and preliminary results . *Archives of Environmental Protection* Vol 39 no. 3, 2013 s. 61-77.

- [25] Wałęga A.: Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin. Journal of Water and Land Development. No 18 2013 s. 13-20.
- [26] Wypych A., Ustrnul Z., Henek E.: Meteorological Hazards – Visualization System for National Protection Against Extreme Hazards for Poland. Meteorology Hydrology and Water Management. Vol 2; no 1/2014, s. 37-42.

ASSESSMENT OF VALUES OF THE RANDOM NUMBER INFLUENCE IN HYDROPROJEKT METHOD ON THE DESIGN WAVE PARAMETERS

Summary

Hydroprojekt method applied for determining the design waves uses the values of random number within the range from -0,1 to 0,2 from random number generator for showing the time route variation of the flood. The aim of this publication is to verify to what extent the flood parameters such as: volume and duration time, are subject to change as a result of the application of this random number generator. The analysis was conducted for the data registered on 30 water gauges located within the boundaries of the upper Vistula catchment. The selected posts represent the catchments with different surface areas and of different nature. They represent mountainous, mountain-foot, upland and lowland catchments. The smallest catchment Lubieńki has the surface area of 46,9 km², and the biggest catchment is Vistula catchment up to Zawichost with the area of 50 732 km². While choosing so-called standard design hydrograph for the method, the developed by the author 'formula for volume' was used, and this formula designates satisfactory the value of volume for a set surface area of the catchment. This formula may be used for both Vistula and Odra catchment areas. Due to the fact that in Hydroprojekt method the flood cut-off level is not determined explicitly, for comparative purposes it was assumed that the calculations are to be done for the discharges not smaller than $Q_{\max 50\%}$. As the conducted calculations indicate, both the volume value and flood duration show great diversity in relation to the flood at the disabled random number generator. The deviation at the number value from the generator 0,2 in the range of rising and declining time in relation to the disabled number generator varies from 16% to 58%. The similar deviation values were calculated for the values of the flood duration time. The causes for such big range of the results could not be established.

Keywords: Hydroprojekt method, design wave, „formula for volume”, Cracow method, flood parameters, standard design flood, random number generator

Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.

Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.98