

MACIEJ KOZAK

Institut Ochrony i Inżynierii Środowiska
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

NOWA METODYKA WYZNACZANIA HYDROGRAMU ODPLYWU POWIERZCHNIOWEGO NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI RZĘKI BIAŁEJ DO PRZEKROJU WODOWSKAZOWEGO MIKUSZOWICE

Streszczenie. Prawidłowe wykonanie modelu odpływu ze zlewni jest kluczowym elementem wszelkich analiz hydrologicznych. Z uwagi na złożoność warunków wpływających na formowanie się odpływu powierzchniowego w literaturze można znaleźć opis różnych modeli transformacji opadu w odpływ. W prezentowanym artykule porównano wyniki otrzymane z najczęściej używanych w hydrologii modeli transformacji opadu w odpływ na tle obserwowanych przepływów. W analizie wykorzystano pomiary z wezbrania zanotowanego między 6 a 8 września 2007 roku w przekroju wodowskazowym Mikuszowice na rzece Białej. Ponieważ otrzymane z modeli wyniki nie odzwierciedlały obserwowanej sytuacji hydrologicznej w przekroju wodowskazowym, przedstawiono również nową metodykę wyznaczania parametrów hydrogramu jednostkowego. Wyznaczony na podstawie tej metodyki hydrogram odpływu w przekroju wodowskazowym Mikuszowice był bardzo dobrze dopasowany do obserwowanych przepływów.

Słowa kluczowe: model transformacji opadu w odpływ, hydrogram jednostkowy

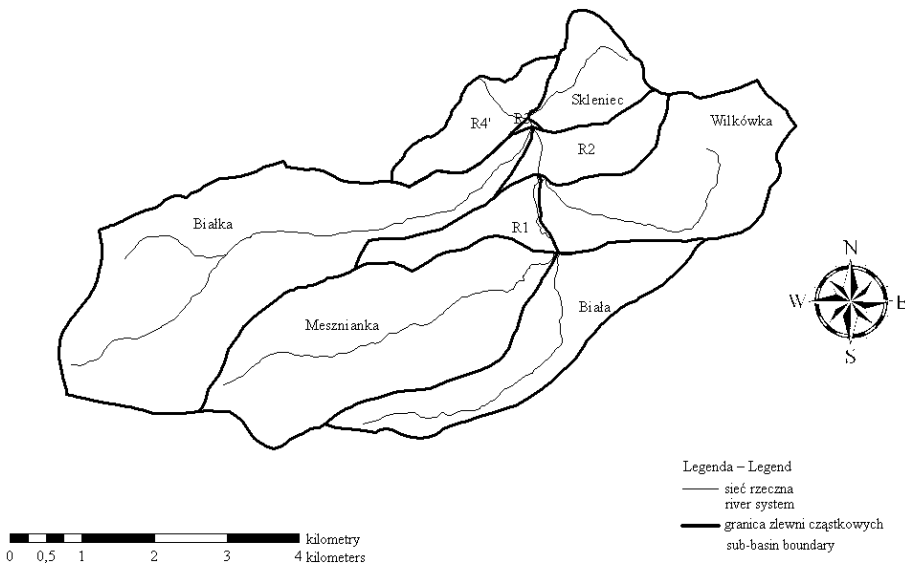
Wstęp

Podstawowym elementem modeli opad-odpływ jest model transformacji opadu efektywnego w hydrogram odpływu powierzchniowego. W praktycznym zastosowaniu szerokie znaczenie zyskały modele o parametrach skupionych. Modele te są budowane w warunkach, gdy poszczególne procesy i zależności występujące między nimi nie są w pełni znane lub gdy nie dysponuje się pomiarami o odpowiedniej jakości. Z uwagi na uśrednienie wartości zmiennych przestrzennych modele te dają prawidłowe wyniki obliczeń jedynie dla małych zlewni o jednorodnym pokryciu terenu i niezmiennych warunkach formowania odpływu. W dużych zlewniach to samo uśrednienie parametrów

przestrzennych może wywołać w przekroju zamykającym hydrogramy odpływu, różniące się znacznie wysokością i czasem wystąpienia przepływu kulminacyjnego. Alternatywnym rozwiązaniem staje się w tym wypadku budowa modeli o parametrach dyskretnie rozłożonych. Struktura tych modeli jest kombinacją modeli o parametrach skupionych, opracowanych dla małych zlewni quasi-jednorodnych, połączonych modelem transformacji fali w korycie rzeki głównej (WIĘZIK i MADZIA 2002, WIĘZIK i KOZAK 2007).

Material i metody

Obszar badań obejmował zlewnię rzeki Białej do przekroju wodowskazowego Mikuszowice o powierzchni 32,83 km², położoną u podnóża Beskidu Śląskiego i Małego (rys. 1).



Rys. 1. Zlewnia rzeki Białej do przekroju wodowskazowego Mikuszowice z wyodrębnionymi zlewniami cząstkowymi

Fig. 1. Biała River watershed to cross-section Mikuszowice with separate sub-basins

W prezentowanym artykule przeanalizowano wpływ uśrednienia parametrów przestrzennych na jakość otrzymanych wyników odpływu, budując modele o parametrach skupionych i dyskretnie rozłożonych. Dodatkowo, uwzględniając fakt istnienia postępu wodowskazowego w przekroju zamykającym omawianą zlewnię, w ramach modeli o parametrach skupionych wykonano modele dla zlewni kontrolowanej i niekontrolowanej. W pracy wykorzystano następujące modele:

- a) model Syndera,
- b) zmodyfikowany model Syndera-CNLag,

- c) geomorfologiczny model odpływu,
- d) liniowy model Nasha,
- e) logarytmiczny model Lamberta.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że żaden z modeli transformacji opadu w odpływ o parametrach dyskretnie rozłożonych nie dał zadawalających wyników. W związku z tym opracowano własną metodykę wyznaczania parametrów hydrogramu jednostkowego, która będzie lepiej odzwierciedlała warunki panujące w zlewniach dopływów rzeki Białej.

W opracowanym modelu hydrogramu jednostkowego założono, że jeżeli poprawnie obliczone są dwa podstawowe parametry hydrogramu jednostkowego, tj. wysokość kulminacji Q_p i czas jej wystąpienia t_p , a czas trwania hydrogramu zostanie wyznaczony z bilansu masy, to dla wielu zastosowań praktycznych dokładne odwzorowanie kształtu nie jest istotne (WIEZIK 1988).

Estymację parametrów hydrogramu jednostkowego rozpoczęto od wyznaczenia ich wartości w procesie optymalizacyjnym dla pięciu zlewni cząstkowych wchodzących w skład zlewni rzeki Białej do przekroju wodowskazowego Mikuszowice. W procesie optymalizacji przyjęto funkcję celu opisaną równaniem 1.

$$\text{MIN} \sum_{i=1}^n (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{obl}})^2 \quad (1)$$

gdzie:

Q_{obs} – wartość obserwowanego przepływu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
 Q_{obl} – wartość obliczonego przepływu ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Otrzymane w procesie optymalizacji parametry hydrogramów jednostkowych dla poszczególnych zlewni zestawiono w tabeli 1. Obliczona funkcja celu wynosiła $1264 (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})^2$, natomiast obliczony współczynnik korelacji R między wartościami obserwowanymi w przekroju wodowskazowym Mikuszowice a wyznaczonymi z modelu wyniósł 0,965.

Tabela 1. Wyznaczone parametry hydrogramów jednostkowych
 Table 1. Parameters designated unit hydrographs

Zlewnia Basin	Czas wystąpienia kulminacji hydrogramu jednostkowego Time of culmination of unit hydrograph t_p (h)	Wartość kulminacji hydrogramu jednostkowego Value of the unit hydrograph culmination Q_p ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
Biała	3,5	0,32
Mesznianka	2,5	0,41
Wilkówka	1,0	0,27
Białka	3,0	0,55
Skleniec	0,5	0,10

W celu opracowania wzorów opisujących parametry hydrogramu jednostkowego wyznaczono zespół potencjalnych parametrów fizjograficznych, mogących mieć wpływ na parametry hydrogramu jednostkowego (OZGA-ZIELIŃSKA i BRZEZIŃSKI 1997). Zespół potencjalnych parametrów geomorfologicznych dla zlewni potoków: Biała, Miesznianka, Wilkówka, Białka, Skleniec zestawiono w tabeli 2. Dla zamieszonego w tabeli 2 potencjalnego zespołu zmiennych opisujących obliczono współczynniki korelacji. Dla każdej pary zmiennych zostały one zestawione w tabeli 3.

Tabela 2. Zestawienie parametrów fizjograficznych zlewni cząstkowych
Table 2. List of sub-basin physiographic parameters

Nazwa ciek Name of stream	Spadek wzdłuż ciek Decrease along the stream I (%)	Spadek stoków Decrease slopes I _s (%)	Spadek zlewni obliczony na podstawie NMT Decrease basin calculated on NMT S (%)	Powierzchnia zlewni Surface of basin A (km ²)	Długość zlewni Length of basin L (km)	Długość cieków z suchymi dolinami The length of the dry valleys streams L+1 (km)	Gęstość sieci rzecznej The density of river system ρ (km ⁻¹)	Wskaźnik formy Indicator form CF (km)	Obwód zlewni Circuit basin O _z (km)	Wskaźnik kolistości Circularity indicator CK (km)
Biała	1,50	2,34	9,04	4,027	5,987	10,753	2,670	1,487	12,938	0,311
Miesznianka	4,62	16,78	19,86	7,561	5,701	24,969	3,302	0,754	12,500	0,605
Wilkówka	5,90	21,30	22,04	4,79	3,879	9,348	1,952	0,810	10,254	0,467
Białka	3,94	27,31	36,65	10,313	7,611	12,812	1,242	0,738	17,479	0,590
Skleniec	5,35	27,41	34,68	1,664	1,878	3,895	2,340	1,129	5,350	0,311

Spośród omawianych parametrów fizjograficznych największy związek z empirycznie wyznaczoną wartością czasu wystąpienia kulminacji hydrogramu jednostkowego tp posiadały: długość zlewni L i spadek stoków I_s . Parametry te zostały więc wykorzystane do wyznaczenia wzoru na wartość tp o następującej postaci:

$$tp = \alpha \cdot L^\beta \cdot I_s^\gamma \quad (2)$$

gdzie:

- L – długość zlewni (km),
- I_s – średni spadek stoków (%),
- α, β, γ – parametry równania.

Korzystając z regresji wielokrotnej, metodą najmniejszych kwadratów wyznaczono parametry równania (2). Obliczona statystyka F-Snedecora dla wyznaczonej krzywej regresji wynosiła 181,25 i była większa od wartości krytycznej przy założonym poziomie

Tabela 3. Wyznaczone współczynniki korelacji między parametrami fizjograficznymi zlewni
 Table 3. Designated correlation coefficients between sub-basin physiographic parameters

Parametr Parameter	Parametr Parameter	Współczynnik korelacji Correlation coefficient R	Parametr Parameter	Parametr Parameter	Współczynnik korelacji Correlation coefficient R
I	I_s	0,7834	L	ρ	-0,2100
	S	0,5672		CF	-0,1986
	A	-0,0912		CK	0,5968
	L	-0,5688	ρ	CF	0,2830
	ρ	-0,1608		CK	-0,1262
	CF	-0,6865	CF	CK	-0,8792
	CK	0,2749	Qp	I	-0,3181
I_s	S	0,9538		I_s	-0,0371
	A	0,1883		S	0,03457
	L	-0,2769		A	0,96995
	ρ	-0,5525		L	0,95920
	CF	-0,6806		ρ	-0,2808
	CK	0,3373		CF	-0,4650
S	A	0,2263	CK	0,7891	
	L	-0,158	tp	I	-0,8172
	ρ	-0,6248		I_s	-0,6343
	CF	-0,5300		S	-0,4991
CK	0,2563	A		0,5948	
A	L	0,8627	L	0,9147	
	ρ	-0,3373	ρ	0,0297	
	CF	-0,6552	CF	0,1696	
	CK	0,8937	CK	0,2931	

Uwaga: symbole parametrów zostały opisane w tabeli 2.

istotności $\alpha = 0,05$ wynoszącej 19,13. Oznacza to, że uzyskane równanie trendu jest statystycznie istotne. Ostatecznie wzór na czas wystąpienia kulminacji tp hydrogramu jednostkowego przyjął następującą postać:

$$tp = 0,40654 \cdot L^{1,2935} \cdot I_s^{-0,1708} \quad (3)$$

Spośród omawianych parametrów fizjograficznych największy związek z empirycznie wyznaczoną wartością kulminacji hydrogramu jednostkowego Q_p posiadały powierzchnia zlewni A i spadek cieków głównego I . Parametry te zostały więc wykorzystane do wyznaczenia wzoru na wartość Q_p o następującej postaci:

$$Q_p = \alpha \cdot A^\beta \cdot I^\gamma \quad (4)$$

gdzie:

- A – powierzchnia zlewni (km²),
- I – spadek cieków głównego (%),
- α, β, γ – parametry równania.

Korzystając z regresji wielokrotnej, metodą najmniejszych kwadratów wyznaczono parametry równania (4). Obliczona statystyka F-Snedecora dla wyznaczonej krzywej regresji wynosiła 397,87 i była większa od wartości krytycznej przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wynoszącej 19,13. Świadczy to o uzyskaniu równania trendu statystycznie istotnego. Ostatecznie wzór na wielkość kulminacji Q_p hydrogramu jednostkowego przyjął następującą postać:

$$Q_p = 0,1017 \cdot A^{0,8924} \cdot I^{-0,2653} \quad (5)$$

Na podstawie opracowanych wzorów obliczono parametry hydrogramów jednostkowych dla analizowanych zlewni (tab. 4).

Tabela 4. Obliczone parametry hydrogramów jednostkowych
Table 4. Calculated parameters of the unit hydrographs

Zlewnia Basin	Czas wystąpienia kulminacji hydrogramu jednostkowego Time of culmination of unit hydrograph t_p (h)	Wartość kulminacji hydrogramu jednostkowego Value of the unit hydrograph culmination Q_p (m ³ ·s ⁻¹)
Biała	3,5	0,316
Mesznianka	2,5	0,412
Wilkówka	1,5	0,257
Białka	3,0	0,567
Skleniec	0,5	0,103

W celu sprawdzenia, czy wyznaczone parametry zmodyfikowanego modelu Snydera rzeczywiście opisują zjawisko, a nie są jedynie dopasowane do serii pomiarowej, wykonano weryfikację modeli (OZGA-ZIELIŃSKA i BRZEZIŃSKI 1997). Prezentowane modele podano procesowi weryfikacji, który wykonano na danych niezależnych z okresu wezbrania w lipcu 1997 roku. Do weryfikacji wykorzystano dane opadowe z okresu od 4 lipca 1997 roku do 10 lipca 1997 roku z interwałem czasowym 1 h oraz wyniki z prowadzonych obserwacji nadzwyczajnych w przekroju wodowskazowym Mikuszowice.

Wyniki i dyskusja

Na podstawie omówionych modeli opad-odpływ o parametrach skupionych i dyskretnie rozłożonych wyznaczono hydrogramy odpływu w przekroju wodowskazowym Mikuszowice na rzece Białej. W celu dokonania obiektywnej oceny wykonanych modeli obliczono dla każdego z modeli wartości współczynników korelacji liniowej na podstawie danych obserwowanych i obliczonych. Wartości obliczonych współczynników zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Obliczone wartości korelacji dla hydrogramów odpływu
Table 5. Calculated values of the correlation for the outflow hydrographs

Typ modelu Model type	Nazwa modelu Model name	Współczynnik korelacji liniowej R Linear correlation coefficient R	
		wezbranie 1997 1997 flood	wezbranie 2007 2007 flood
Model o parametrach skupionych Model with concentrated parameters	model Snydera Snyder model	0,843	0,828
	model Syndera CNLag Snyder CNLag model	0,885	0,892
	geomorfologiczny model hydrogramu jednostkowego geomorphological until hydrograph model	0,928	0,975
	model Nasha Nash model	0,930	0,965
	model Lamberta Lambert model	0,920	0,980
	zmodyfikowany model Snydera modified model of Snyder	0,887	0,898
Model o parametrach dyskretnie rozłożonych Model with discretely distributed parameters	model Snydera Snyder model	0,911	0,910
	model Syndera CNLag Snyder CNLag model	0,923	0,875
	geomorfologiczny model hydrogramu jednostkowego geomorphological until hydrograph model	0,931	0,933
	zmodyfikowany model Snydera modified model of Snyder	0,932	0,969

Jak wynika z przeprowadzonej oceny modeli (OZGA-ZIELIŃSKA i BRZEZIŃSKI 1997), bardzo dobrym dopasowaniem do obserwowanego wezbrania we wrześniu 2007 roku cechowały się modele o parametrach skupionych: Nasha, Lamberta (parametry tych

modeli były optymalizowane na podstawie omawianej fali) i geomorfologiczny model hydrogramu jednostkowego. Spośród modeli o parametrach dyskretnie rozłożonych najlepsze dopasowanie uzyskano w wykonanym przez autora zmodyfikowanym modelu Snydera.

Wykonana ocena na podstawie obserwowanych wezbrań z lipca 1997 roku wykazała, że wymienione wcześniej modele cechowały się już tylko dobrym dopasowaniem do obserwowanej fali, natomiast wszystkie modele poza zmodyfikowanym modelem Snydera posiadały o 30-45% przekroczoną wartość obserwowanej kulminacji.

Wnioski

1. W przypadku zlewni górskich, w których sposób formowania się fali wezbraniowej jest silnie uzależniony od warunków fizjograficznych, przyjęcie modelu do transformacji opadu efektywnego w odpływ powinno być poprzedzone analizą wezbrań historycznych.

2. W przypadku zlewni cząstkowych rzeki Białej do przekroju wodowskazowego Mikuszowice decydujący wpływ na kształt hydrogramów odpływu miały następujące parametry fizjograficzne: powierzchnia zlewni, długość zlewni, spadek wzdłuż cieków głównego i spadek stoków. Parametry te zostały uwzględnione w opracowanej przez autora nowej metodyce wyznaczania parametrów hydrogramu jednostkowego.

Literatura

- OZGA-ZIELIŃSKA M., BRZEZIŃSKI J., 1997. Hydrologia stosowana. PWN, Warszawa.
- WIĘZIK B., 1988. Prognostyczny model odpływu ze zlewni. Monogr. P. Krak. 67.
- WIĘZIK B., KOZAK M., 2007. Rola suchych zbiorników retencyjnych w ochronie powodziowej Bielska-Białej. W: XII Międzynarodowa Konferencja Technicznej Kontroli Zapór. Red. A. Wit. IMiGW, Warszawa: 336-349.
- WIĘZIK B., MADZIA M., 2002. Zagrożenia powodziowe Bielska-Białej w dolinie rzeki Białej. W: Zapobieganie zanieczyszczeniu środowiska. Red. J. Suschka. Wyd. AT-H, Bielsko-Biała: 76-90.

A NEW METHODOLOGY FOR DETERMINING THE SURFACE RUNOFF HYDROGRAPH ON THE EXAMPLE OF THE BIAŁA RIVER BASIN TO THE CROSS MIKUSZOWICE

Summary. Proper execution of the model outflow from the basin is a key element of any hydrological analysis. Given the complexity of the conditions affecting the formation of surface runoff description of different models of transformation of precipitation in the drainage can be found in the literature. The present article compares the results from the most commonly used models in the transformation of rainfall runoff, compared to observed flows. The study used measurements from the floods recorded between 06.09.2007 and 08.09.2007 on the cross-section of Mikuszowi-

Kozak M., 2011. Nowa metodyka wyznaczania hydrogramu odpływu powierzchniowego na przykładzie zlewni rzeki Białej do przekroju wodowskazowego Mikuszowice. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #58.

ce on the River Biała. Since the results obtained from the models did not reflect the hydrological situation observed in the cross-section, later in this article a new methodology for determining the parameters of the unit hydrograph is presented. The outflow hydrogram constructed on the basis of the new methodology concerning the Mikuszowice cross-section proved to be very well suited to the observed flow.

Key words: Rainfall-Runoff event simulation, unit hydrograph

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Maciej Kozak, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Poland, e-mail: mkozak@ath.bielsko.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

6.07.2011

Do cytowania – For citation:

*Kozak M., 2011. Nowa metodyka wyznaczania hydrogramu odpływu powierzchniowego na przykładzie zlewni rzeki Białej do przekroju wodowskazowego Mikuszowice. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #58.*