

PRACE ORYGINALNE ORIGINAL PAPERS

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 64, 2014: 113–123
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 64, 2014)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 64, 2014: 113–123
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 64, 2014)

Mariusz BARSZCZ

Katedra Inżynierii Wodnej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Department of Water Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Ocena przydatności konceptualnego modelu Nasha do symulacji hydrogramu przepływów w zlewni zurbanizowanej z uwzględnieniem scenariuszy warstwy opadu

Evaluation of suitability of the conceptual Nash model for the simulation a flow hydrograph in a urbanized catchment considering rainfall depth scenarios

Słowa kluczowe: zlewnia zurbanizowana, proces opad-odpływ, przepływy maksymalne hydrogramów, model Nasha

Key words: urbanized catchment, rainfall-run-off process, maximum flows of hydrographs, the Nash model

Wprowadzenie

Do obliczania przepływów maksymalnych w celach praktycznych (np. przy projektowaniu sieci kanalizacyjnej lub zbiorników przeciwpowodziowych na obszarze miasta) konieczne jest opracowanie dokładnych modeli, umożliwiających wyznaczenie hydrogramu przepływów w reakcji na opady deszczu o przyjętych charakterystykach. Jednocześnie, modele stosowane do obliczeń

w zlewniach zurbanizowanych powinny charakteryzować się małą ilością wymaganych danych wejściowych i parametrów, których identyfikacja zależy od dostępności danych. Wykorzystanie złożonych matematycznie modeli do analizy procesu opad-odpływ w zlewniach zurbanizowanych, przykładowo takich jak model SWMM – Storm Water Management Model (Rossman, 2004), wymaga dużego nakładu pracy, identyfikacji wielu parametrów, dysponowania wielorakimi danymi fizycznymi, a jednak uzyskiwane wyniki nie są wystarczająco dokładne. Przykład zastosowania modelu SWMM dla zlewni Potoku Służewieckiego można znaleźć w pracach Barszcza (2009, 2010).

Przedstawione argumenty skłoniły autora do przeprowadzenia oceny

przydatności konceptualnego modelu opad-odpływ według Nasha do symulacji hydrogramów przepływów w zlewni zurbanizowanej – na przykładzie zlewni Potoku Służewieckiego w Warszawie do profilu „Rosoła”, w której są mierzone w ramach badań własnych opady i przepływy. Ocena przydatności modelu została przeprowadzona na podstawie analizy zgodności pomierzonych przepływów maksymalnych hydrogramów i obliczonych przy zastosowaniu modelu. Zakres analiz obejmował identyfikację parametrów modelu Nasha (N , K), które określono dla 13 zdarzeń opad-odpływ przy zastosowaniu metody momentów statystycznych. Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu autorskiego programu komputerowego, którego procedurę przedstawiono w pracy.

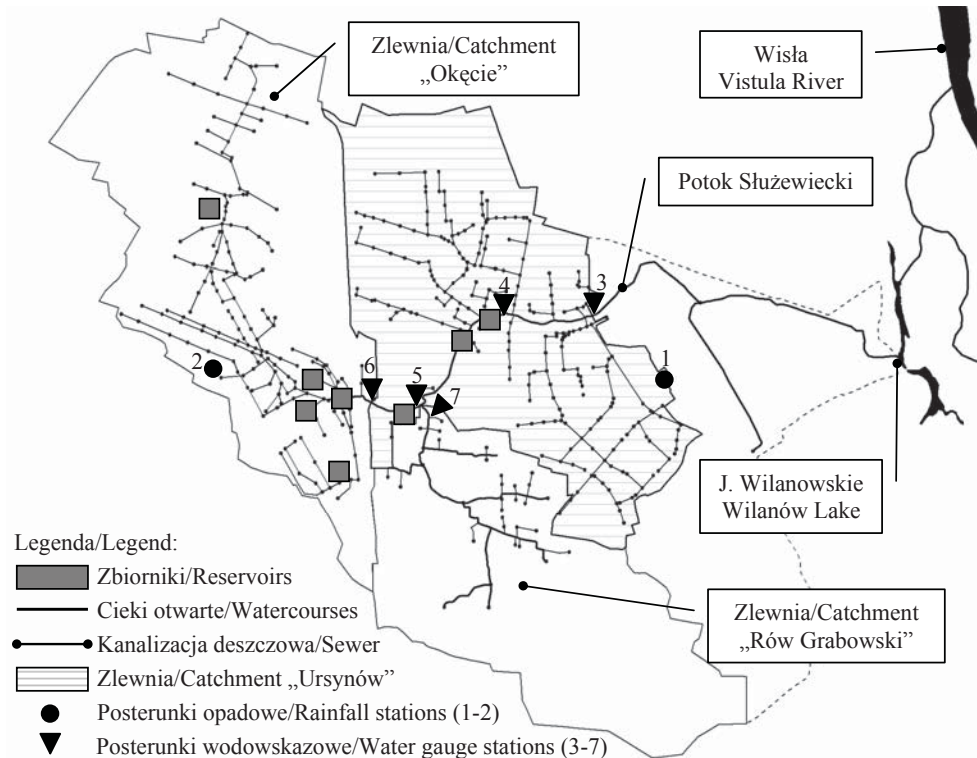
Opis obszaru badawczego

Analiza dotyczyła zurbanizowanej zlewni Potoku Służewieckiego do profilu „Rosoła” (rys. 1) zlokalizowanego na wysokości dawnej ulicy Rosoła, która jest położona w południowej części Warszawy (obejmującej fragmenty lub całość dzielnic: Okęcie, Wola, Mokotów, Kabaty, Ursynów i Wilanów). Potok Służewiecki jest częściowo kanałem otwartym lub zamkniętym, do którego siecią kanalizacyjną są odprowadzane wody opadowe z obszaru zlewni. Zlewnia charakteryzuje się występowaniem licznych przepustów i zbiorników, które mają wpływ na kształtowanie się przepływów w poszczególnych profilach Potoku.

Profil „Rosoła” zamyka zlewnię o powierzchni całkowitej 43,0 km² (stanowiącą łączny obszar zlewni natural-

nej i objętej zasięgiem sieci kanalizacji deszczowej). W wyniku analizy przepływów maksymalnych hydrogramów, pomierzonych w czterech profilach Potoku Służewieckiego i jednym profilu Rowu Grabowskiego (punkty 3–7 na rys. 1), przyjęto do przedmiotowej analizy zlewnię cząstkową „Ursynów” o powierzchni 14,7 km² (obszar zlewni aktywny hydrologicznie, charakteryzujący się ok. 40-procentowym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych i dużym skanalizowaniem). Ze względu na bardzo małe wartości przepływów maksymalnych w profilu ujściowym Rowu Grabowskiego (np. $Q_{\max} = 0,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w 2007 r.) uznano obszar tej zlewni cząstkowej (11,8 km²) jako nieaktywny hydrologicznie w kontekście badania przepływów w profilu „Rosoła”. Podobnie, ze względu na stosunkowo małe wartości przepływów maksymalnych hydrogramów w profilu „Kłobucka”, wynikające z detencji odpływu w zbiornikach podziemnych na obszarze lotniska Okęcie o łącznej pojemności 42 900 m³ (wg pozwolenia wodno-prawnego maksymalny przepływ poniżej lotniska nie może przekraczać $1,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – Barszcz, 2010), wyłączono z analiz w pracy również zlewnię cząstkową „Okęcie” (powierzchnia 16,5 km²).

Wykorzystane w analizie wysokości opadów zarejestrowano za pomocą elektronicznych deszczomierzy korytkowych na dwóch posterunkach opadowych, tj. „Ursynów-SGGW” i „Okęcie-Lotnisko”. Ten drugi posterunek uwzględniono tylko dla jednego scenariusza analiz. Były to jedyne posterunki w badanej zlewni, dla których dysponowano danymi opadowymi. Uwzględnione w analizie hydrogramy przepływów zmierzono



RYSUNEK. 1. Lokalizacja posterunków opadowych i wodowskazowych oraz granice zlewni cząstkowych
 FIGURE 1. Location of rainfall and water gauge stations as well boundary of subcatchments
 Objasnienia/Explanations: posterunki opadowe i wodowskazowe/rainfall and water gauge stations: 1 – SGGW, 2 – Lotnisko, 3 – Rosoła, 4 – Staw Służewiecki, 5 – Staw Berensewicza, 6 – Kłobucka, 7 – Rów Grabowski.

za pomocą elektronicznego czujnika typu „Diver” w profilu badawczym „Rosoła”. Posterunek opadowy „Ursynów-SGGW” oraz profile wodowskazowe (punkty 3–7) zainstalowano w ramach projektu badawczego COST/210/2006.

Procedura obliczania hydrogramu przepływów

Do analizy procesu opad-odpływ w badanej zlewni zastosowano model Nasha (1957), który zazwyczaj jest wy-

korzystywany do obliczeń w zlewniach naturalnych. Przedmiotem oceny była przydatność tego modelu do obliczeń w zlewniach zurbanizowanych. Koncepcja modelu zakłada działanie zlewni jako systemu złożonego z kaskady zbiorników liniowych o dwóch parametrach skupionych. Funkcja chwilowego hydrogramu jednostkowego w modelu Nasha ma postać (Szturc, 1987; Szymkiewicz i Gąsiorowski, 2010):

$$u(t) = \frac{1}{K \cdot \Gamma(N)} \cdot \left(\frac{t}{K}\right)^{N-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{K}\right)} \quad (1)$$

gdzie:

$u(t)$ – rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego w czasie t [h^{-1}],

K – współczynnik retencji zbiornika [h],

$\Gamma(N)$ – wartość funkcji gamma Eulera,

t – czas od początku układu współrzędnych [h],

N – liczba zbiorników liniowych w kaskadzie [-].

Parametry modelu Nasha (N , K) ustalono w pracy dla zlewni cząstkowej „Ursynów” na podstawie 13 wybranych zdarzeń opad-odpływ, przy wykorzystaniu metody momentów statystycznych opisanej w publikacji Szturca (1987). Parametry ustalono dla dwóch scenariuszy: 1 – przyjmując do obliczeń warstwy opadu pomierzone na posterunku opadowym „Ursynów-SGGW”; 2 – przyjmując średnie arytmetyczne ważone warstwy opadu, ustalone na podstawie danych dla posterunków opadowych „Ursynów-SGGW” i „Okęcie-Lotnisko” (wagami były udziały procentowe powierzchni zlewni przyporządkowanych do analizowanych posterunków opadowych, które wynosiły odpowiednio 68 i 32%). Wykorzystane do analizy hydrogramy przepływów pomierzono w profilu „Rosola”, który zamyka badaną zlewnię.

Parametry modelu oraz rzędne symulowanych hydrogramów przepływów w reakcji na pomierzone wysokości opadów deszczu obliczono za pomocą autorskiego programu komputerowego (napisanego w języku C++). Przyjęty krok czasowy danych wejściowych i obliczeń wynosił 10 minut. Procedura programu (obejmująca tylko opcje modelu zastosowane do analiz w pracy), umożliwiła symulację hydrogramów przepływów według kroków obliczeń:

- Czas trwania opadu deszczu: równy czasowi trwania dla pomierzonych 13 zdarzeń.
- Wysokość opadu całkowitego: wynikająca z podanych wysokości opadów w poszczególnych przedziałach czasowych dla dwóch scenariuszy obliczeń.
- Warstwa opadu efektywnego cząstkowego: obliczona metodą CN-SCS (Curve Number – Soil Conservation Service) przy wykorzystaniu parametrów CN (SCS, 1985) ustalonych dla analizowanych zdarzeń na podstawie opadu całkowitego i warstwy odpływu (obliczona na podstawie podanych w programie pomierzonych hydrogramów przepływów).
- Metoda obliczania hydrogramów przepływów: metoda chwilowego hydrogramu jednostkowego według Nasha (model Nasha).
- Parametry modelu (N , K): obliczone na podstawie danych pomiarowych opad-odpływ przy zastosowaniu metody momentów statystycznych.
- Rzędne chwilowego hydrogramu jednostkowego: obliczone na podstawie parametrów N i K za pomocą równania (1).
- Rzędne hydrogramu jednostkowego: obliczone metodą całkowania na podstawie rzędnych chwilowego hydrogramu jednostkowego.
- Rzędne hydrogramu przepływów bezpośrednich: obliczone na podstawie rzędnych hydrogramu jednostkowego oraz warstwy opadu efektywnego dla analizowanych zdarzeń.
- Rzędne hydrogramu przepływów gruntowych: na podstawie podanych wartości początkowej i końcowej

- pomierzonego hydrogramu przepływów bezpośrednich.
- Hydrogram przepływów całkowitych: suma przepływów gruntowych i bezpośrednich.

Charakterystyki pomierzonych zdarzeń opad-odpływ

W analizie wykorzystano wysokości opadów deszczy i wywołane nimi hydrogramy przepływów (wartości prze-

pływów obliczono na podstawie pomierzonych stanów wody i opracowanej krzywej przepływu) zarejestrowane w badanej zlewni dla 13 zdarzeń w okresie 2006–2008 (tab. 1) w przyjętych 10-minutowych przedziałach. Do analizy wybrano zdarzenia, dla których dysponowano wysokościami opadu zarejestrowanymi jednocześnie na posterunkach opadowych „Okęcie-Lotnisko” i „Ursynów-SGGW” oraz spełniające dwa inne kryteria: warstwa opadu dla deszczy zarejestrowanych na posterunku

TABELA 1. Charakterystyki analizowanych zdarzeń opad-odpływ
TABLE 1. Characteristics of analyzed rainfall-runoff events

Lp. No.	Data wystąpienia zdarzenia Date of the event	Warstwa opadu Rainfall depth P [mm]		Średnia ważona warstwa opadu Weighted average rainfall depth P_w [mm]	Przepływ maksymalny Maximum flow Q_{max} [m ³ ·s ⁻¹]
		O	U		
1	12.07.2006	11,8	20,8	17,9	8,861
2	20.09.2006	11,2	16,2	14,6	10,909
3	15.05.2007	4,0	13,9	10,7	12,914
4	09.06.2007	28,6	8,1	14,7	6,207
5	19.06.2007	14,0	5,8	8,4	6,017
6	21.06.2007	9,8	12,3	11,6	5,265
7	02.07.2007	8,6	11,0	10,2	6,311
8	04.07.2007	2,6	5,6	4,6	8,273
9	22.07.2007	9,4	14,5	12,9	13,802
10	27.07.2007	11,2	5,7	7,5	6,119
11	02.08.2008	8,8	6,2	7,0	5,916
12	15.08.2008	24,2	43,6	37,7	22,035
13	16.08.2008	5,6	15,2	12,1	15,378
Minimum/Minimum		2,6	5,6	4,6	5,265
Maksimum/Maximum		28,6	43,6	37,7	22,035
Średnia/Average		11,5	13,8	13,1	9,847
Odchylenie standardowe/ /Standard deviation		7,4	10,2	8,2	4,996

Objaśnienia/Explanations: posterunki opadowe/rainfall stations: O – „Okęcie-Lotnisko”, U – „Ursynów-SGGW”.

„Ursynów-SGGW” była wyższa od 5,0 mm; przepływy maksymalne hydrogramów pomierzonych w profilu „Rosola” były większe od $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Wysokości opadu oraz przepływy uwzględnione w analizie były zróżnicowane. Warstwy opadu całkowitego wynosiły od 2,6 do 28,6 mm (średnio 11,5 mm) na Okęciu oraz od 5,6 do 43,6 mm (średnio 13,8 mm) na Ursynowie. Średnie arytmetyczne ważone warstwy opadu, które obliczono na podstawie warstw opadów dla dwóch analizowanych posterunków opadowych, wynosiły od 4,6 do 37,7 mm (średnio 13,1 mm). Przepływy maksymalne hydrogramów, pomierzone w profilu „Rosola”, wynosiły od 5,265 do $22,035 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (średnio $9,847 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Analiza parametrów modelu i symulowanych przepływów

Do analizy procesu opad-odpływ w badanej zlewni zastosowano model Nasha. Przy wykorzystaniu opracowanego programu komputerowego obliczono parametry modelu (N , K) i symulowano przepływy w reakcji na opady pomierzone dla 13 zdarzeń (tab. 2). Obliczenia przeprowadzono dla dwóch scenariuszy, przyjmując do analizy warstwy opadu pomierzone na posterunku opadowym „Ursynów-SGGW” (wartości charakterystyk, które obliczono dla scenariusza 1, oznaczono symbolem obl.1) oraz średnie arytmetyczne ważone warstwy opadu obliczone dla dwóch posterunków opadowych (obl.2). Celem tej analizy było określenie wpływu przyjęcia do obliczeń różnych wysokości opadów dla danego zdarzenia (ustalonych na pod-

stawie jednego lub dwóch posterunków opadowych) na parametry modelu oraz zgodność pomierzonych i symulowanych przepływów.

Obliczone przepływy maksymalne hydrogramów w modelu Nasha wynosiły od $3,850$ do $20,123 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (średnio $9,063 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dla pierwszego scenariusza obliczeń oraz od $3,815$ do $19,952 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (średnio $8,939 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dla drugiego scenariusza. Wartości średnie arytmetyczne symulowanych przepływów dla obu scenariuszy były zbliżone do wartości średniej pomierzonych przepływów maksymalnych ($9,847 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Wartości błędu względnego procentowego, ustalone na podstawie pomierzonych i obliczonych przepływów dla pierwszego scenariusza obliczeń (błąd obl.1), wynosiły od 14,6 do $-29,1\%$ (średnio $-10,1\%$; mediana $-9,0$). Wartości błędu względnego procentowego, ustalone na podstawie pomierzonych i obliczonych przepływów dla drugiego scenariusza obliczeń (błąd obl.2), wynosiły od 14,5 do $-29,9\%$ (średnio $-11,4\%$; mediana $-9,5$).

Obliczone wartości błędów były zróżnicowane dla poszczególnych zdarzeń, ale średnie wartości dla dwóch scenariuszy obliczeń były zbliżone. Lepszą zgodność uzyskano dla scenariusza, który uwzględniał w obliczeniach warstwy opadu pomierzone tylko na jednym posterunku opadowym – „Ursynów-SGGW” (scenariusz 1). Jest to posterunek opadowy zlokalizowany na wysokości profilu wodowskazowego „Rosola”, który zamyka badaną zlewnię. W celu wizualnej oceny zgodności pomierzonego i obliczonego hydrogramu (wg scenariusza 1) dla przykładowego zdarzenia 22.07.2007 r., przedstawiono

TABELA 2. Wartości parametrów modelu i symulowanych przepływów dla dwóch scenariuszy obliczeń

TABLE 2. Values of model's parameters and simulated flows for two scenarios

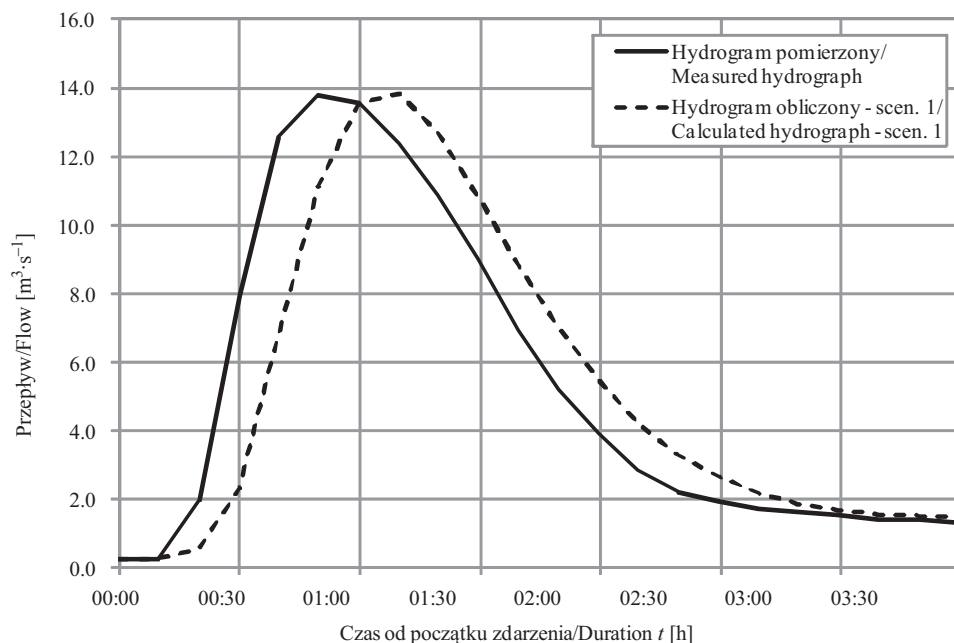
Lp. No.	Data wystąpienia zdarzenia Date of the event	Q_{\max} pom. Flow [m ³ ·s ⁻¹]	Q_{\max} obl.1 Flow [m ³ ·s ⁻¹]	Q_{\max} obl.2 Flow [m ³ ·s ⁻¹]	Błąd obl.1 Error [%]	Błąd obl.2 Error [%]	Parametry modelu/Parameters			
							<i>N</i> obl.1 [-]	<i>K</i> obl.1 [h]	<i>N</i> obl.2 [-]	<i>K</i> obl.2 [h]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	12.07.2006	8,861	8,928	9,176	0,8	3,6	1,639	0,290	2,472	0,229
2	20.09.2006	10,909	11,364	10,484	4,2	-3,9	3,168	0,247	3,388	0,239
3	15.05.2007	12,914	14,803	14,792	14,6	14,5	0,679	1,009	0,810	0,908
4	09.06.2007	6,207	4,508	4,352	-27,4	-29,9	1,875	1,136	2,443	0,945
5	19.06.2007	6,017	4,267	4,289	-29,1	-28,7	2,791	0,329	6,512	0,188
6	21.06.2007	5,265	3,850	3,815	-26,9	-27,5	2,718	1,248	2,889	1,232
7	02.07.2007	6,311	5,679	5,865	-10,0	-7,1	1,601	0,448	2,061	0,392
8	04.07.2007	8,273	7,498	7,251	-9,4	-12,4	4,631	0,188	5,031	0,180
9	22.07.2007	13,802	13,808	13,703	0,0	-0,7	3,339	0,286	3,765	0,266
10	27.07.2007	6,119	5,598	5,537	-8,5	-9,5	3,436	0,321	5,374	0,230
11	02.08.2008	5,916	5,382	5,055	-9,0	-14,6	2,788	0,326	4,034	0,256
12	15.08.2008	22,035	20,123	19,952	-8,7	-9,5	2,640	0,713	1,946	0,921
13	16.08.2008	15,378	12,009	11,934	-21,9	-22,4	2,225	0,588	2,361	0,570
Minimum/ /Minimum		5,265	3,850	3,815	14,6	14,5	0,679	0,188	0,810	0,180
Maksimum/ /Maximum		22,035	20,123	19,952	-29,1	-29,9	4,631	1,248	6,512	1,232
Średnia/Average		9,847	9,063	8,939	-10,1	-11,4	2,579	0,548	3,314	0,504
SD		4,996	5,018	4,979	13,3	13,3	1,002	0,364	1,592	0,368

Objaśnienia/Explanations: Q_{\max} pom. – pomierzone przepływy maksymalne/measured maximum flows; Q_{\max} obl.1, Q_{\max} obl.2 – przepływy maksymalne obliczone odpowiednio dla scenariuszy 1 i 2/maximum flows calculated for scenarios 1 and 2; SD – odchylenie standardowe/standard deviation.

te hydrogramy przepływów na wspólnym wykresie (rys. 2).

Wartości średnie błędu względnego symulacji przepływów maksymalnych (-10,1 oraz -11,4%), obliczone za pomocą konceptualnego modelu Nasha, są zbliżone do wartości średniej błędu ustalonej w innych analizach autora dla zlewni Potoku Służewieckiego przy wykorzystaniu modelu SWMM, wynoszącej

11,3% (Barszcz, 2009). Zakres zmienności błędów względnych obliczonych w modelu SWMM (od -19,6 do 44,9%) był większy od zakresu błędów w modelu Nasha (od -29,9 do 14,6%). Oznacza to, że przy zastosowaniu prostego modelu konceptualnego Nasha (model o parametrach skupionych) uzyskano mniejszy zakres błędów symulacji przepływów niż przy zastosowaniu złożonego



RYSUNEK 2. Hydrogramy pomierzony i obliczony w modelu Nasha
 FIGURE 2. Hydrographs measured and calculated in the Nash model

matematycznie i charakteryzującego się dużą liczbą parametrów modelu SWMM (model o parametrach rozłożonych).

Wartości parametru N w modelu Nasha dla analizowanych scenariuszy (1 i 2) wynosiły odpowiednio od 0,679 do 4,631 (średnio 2,579) oraz od 0,810 do 6,512 (średnio 3,314), a wartości parametru K wynosiły od 0,188 do 1,248 h (średnio 0,548 h) i od 0,180 do 1,232 h (średnio 0,504 h). Porównanie obliczonych parametrów modelu wykazało, że wartości średnie parametru K były zbliżone dla obu scenariuszy obliczeń, ale znacząco różne dla parametru N . Wartość średnia parametru N była mniejsza w przypadku scenariusza, który uwzględniał w obliczeniach warstwy opadu pomierzone tylko na jednym posterunku opadowym – „Ursynów-SGGW”.

Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono procedurę wykorzystania autorskiego programu komputerowego do symulacji hydrogramów przepływów w zurbanizowanej zlewni cząstkowej Potoku Służewieckiego w Warszawie o powierzchni 14,7 km² po profil „Rosola”. Przyjęta do analizy procesu opad-odpływ procedura opierała się na konceptualnym modelu Nasha. Zakres pracy obejmował analizę parametrów modelu (N – liczba zbiorników w kaskadzie, K – współczynnik retencji zbiornika), które ustalono na podstawie danych opad-odpływ dla 13 wybranych zdarzeń. Parametry modelu obliczono dla dwóch scenariuszy: 1 – przyjmując do obliczeń warstwy opadu pomierzone na posterunku „Ursynów-SGGW”,

2 – przyjmując warstwy opadu ważonego ustalone na podstawie danych dla posterunków opadowych „Ursynów-SGGW” i „Okęcie-Lotnisko”. Na podstawie analizy zgodności pomierzonych i obliczonych przepływów maksymalnych hydrogramów przeprowadzono ocenę przydatności modelu Nasha do symulacji przepływów w zlewniach zurbanizowanych. Wskaźnikiem oceny zgodności tych przepływów były wartości błędów względnych.

Przeprowadzone analizy umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

- Uwzględnione w analizach warstwy opadu oraz wartości przepływów maksymalnych były zróżnicowane. Warstwy opadu dla 13 zdarzeń, pomierzone na posterunku opadowym „Ursynów-SGGW” (scenariusz 1) i obliczone jako średnie arytmetyczne ważne warstwy opadu dla dwóch posterunków opadowych (scenariusz 2), wynosiły odpowiednio od 5,6 do 43,6 mm (średnio 13,8 mm) oraz od 4,6 do 37,7 mm (średnio 13,1 mm). Przepływy maksymalne hydrogramów, pomierzone w profilu „Rosola”, wynosiły 5,265–22,035 m³·s⁻¹ (średnio 9,847 m³·s⁻¹).
- Wartości parametru N w modelu Nasha dla dwóch analizowanych scenariuszy (1 i 2) wynosiły odpowiednio od 0,679 do 4,631 (średnio 2,579) oraz od 0,810 do 6,512 (średnio 3,314), natomiast wartości parametru K wynosiły od 0,188 do 1,248 h (średnio 0,548 h) oraz od 0,180 do 1,232 h (średnio 0,504 h). Porównanie obliczonych parametrów modelu wykazało, że wartości średnie parametru K były zbliżone dla obu scenariuszy obliczeń, ale znacząco różne dla parametru N . Wartość średnia parametru N była mniejsza w przypadku pierwszego scenariusza.
- Obliczone przepływy maksymalne hydrogramów w modelu Nasha wynosiły od 3,850 do 20,123 m³·s⁻¹ (średnio 9,063 m³·s⁻¹) dla pierwszego scenariusza obliczeń oraz od 3,815 do 19,952 m³·s⁻¹ (średnio 8,939 m³·s⁻¹) dla drugiego scenariusza. Wartości średnie arytmetyczne obliczonych przepływów dla obu scenariuszy były zbliżone do wartości średniej pomierzonych przepływów maksymalnych (9,847 m³·s⁻¹).
- Wartości błędu względnego procentowego, ustalone na podstawie pomierzonych i symulowanych przepływów, wynosiły dla analizowanych scenariuszy (1 i 2) odpowiednio od 14,6 do -29,1% (średnio -10,1%) oraz od 14,5 do -29,9% (średnio -11,4%). Obliczone wartości błędów były zróżnicowane dla poszczególnych zdarzeń, ale średnie arytmetyczne wartości dla dwóch scenariuszy obliczeń były zbliżone. Lepszą zgodność uzyskano dla scenariusza, który uwzględniał w obliczeniach warstwy opadu pomierzone tylko na jednym posterunku opadowym – „Ursynów-SGGW” (scenariusz 1).
- Wartości średnie błędu względnego procentowego symulacji przepływów maksymalnych dla dwóch scenariuszy (-10,1 i -11,4%), obliczone za pomocą modelu Nasha, były zbliżone do wartości średniej błędu (11,3%), ustalonej w innych analizach autora dla zlewni Potoku Służewieckiego przy wykorzystaniu

modelu SWMM. Zakres zmienności błędów względnych obliczonych przy zastosowaniu złożonego matematycznie i charakteryzującego się dużą liczbą parametrów modelu SWMM (model o parametrach rozłożonych) był większy od zakresu błędów uzyskanych w prostym modelu konceptualnym Nasha.

- Uzyskane wyniki analiz wstępnie potwierdzają przydatność konceptualnego modelu Nasha do symulacji hydrogramu przepływów w zlewniach zurbanizowanych. Zastosowanie modelu do obliczeń wymaga identyfikacji tylko dwóch parametrów.

Literatura

- BARSZCZ, M. (2009). Prognoza maksymalnych przepływów prawdopodobnych wywołanych ulewami w zurbanizowanej zlewni Potoku Służewieckiego. *Przeł. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 4 (46), 3-21.
- BARSZCZ, M. (2010). Ocena zagrożenia powodziowego i możliwości jego ograniczenia w zurbanizowanej zlewni Potoku Służewieckiego. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 68, 219-230.
- NASH, J.E. (1957). The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph. *AIHS*, 45, Vol. III, 114-121.
- ROSSMAN, L.A. (2004). *Storm Water Management Model – User's Manual Version 5.0*. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency (EPA).
- SCS (1985). *National Engineering Handbook. Hydrology, Sec. 4*. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture.
- SZTURC, J. (1987). Próby estymacji parametrów modelu Nasha dla małej zlewni górskiej. *Wiadomości IMGW, T. X (XXXI), Z*, 2-3.
- Szymkiewicz, R. i Gąsiorowski, D. (2010). *Podstawy hydrologii dynamicznej*. Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne.

Streszczenie

Ocena przydatności konceptualnego modelu Nasha do symulacji hydrogramu przepływów w zlewni zurbanizowanej z uwzględnieniem scenariuszy warstwy opadu. Celem pracy była ocena przydatności konceptualnego modelu Nasha do symulacji hydrogramu przepływów w zlewni zurbanizowanej – na przykładzie zlewni Potoku Służewieckiego w Warszawie. Ocena przydatności modelu została przeprowadzona na podstawie analizy zgodności pomierzonych i symulowanych przepływów maksymalnych hydrogramów. W artykule przedstawiono procedurę autorskiego programu komputerowego wykorzystanego do symulacji przepływów. Zakres pracy obejmował analizę parametrów modelu Nasha (N, K), ustalonych na podstawie danych opad-odpływ dla 13 wybranych zdarzeń. Parametry modelu obliczono przy zastosowaniu metody momentów statystycznych dla dwóch scenariuszy: przyjmując warstwy opadu ustalone na podstawie jednego lub dwóch posterunków opadowych.

Summary

Evaluation of suitability of the conceptual Nash model for the simulation a flow hydrograph in a urbanized catchment considering rainfall depth scenarios. The aim of this study was an evaluation of suitability of the conceptual Nash model for the simulation a flow hydrograph in a urbanized catchment – in the example of the Potok Służewiecki catchment in Warsaw. The evaluation of suitability of the model has been carried out on the basis of the analysis of the compatibility between measured and simulated maximum flows of hydrographs. This paper presents a procedure of the computer model developed by the author, which was used for simulation flows. The range of the work included the analysis of parameters of the Nash model (N, K), which were de-

terminated based on rainfall-runoff data for 13 selected events. The parameters in the Nash model were calculated using the method of statistical moments for two scenarios: assuming rainfall depths determined on the basis of one or two rainfall stations.

Author's address:

Mariusz Barszcz
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Katedra Inżynierii Wodnej
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: mariusz_barszcz@sggw.pl