

Anna SIKORSKA, Kazimierz BANASIK

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW w Warszawie
Department of Water Engineering and Environmental Restoration, Warsaw University
of Life Sciences – SGGW

Wyznaczenie czasu opóźnienia odpływu bezpośredniego w zlewni Potoku Służewieckiego na podstawie danych pomiarowych

Estimation of the lag time of direct runoff in a small urban catchment of Służew Creek based on the measured data

Słowa kluczowe: opad-odpływ, model Nasha, zlewnia zurbanizowana

Key words: rainfall-runoff, Nash model, urban catchment

Wprowadzenie

Czas opóźnienia odpływu definiowany jako średni czas upływający od wystąpienia opadu wywołującego odpływ bezpośredni w zlewni rzecznej do momentu, kiedy ten odpływ dotrze do profilu zamykającego zlewnię rzeczną, jest ważnym parametrem w modelowaniu wezbrań powodziowych w małych zlewniach. Wielkość ta wyznaczana jest jako odległość mierzona w skali czasu pomiędzy środkami ciężkości, hietogramu opadu efektywnego i hydrogramu odpływu bezpośredniego. Celem niniejszej pracy jest wyznaczenie czasu opóźnienia odpływu małej zlewni zurbanizo-

wanej – Potoku Służewieckiego po profil Staw Berensewicza, na podstawie analizy danych pomiarowych opad-odpływ. Ponadto z uwagi na związek między czasem opóźnienia odpływu i parametrami modelu Nasha w pracy wyznaczono i zanalizowano także wartości tych parametrów.

Analizie poddano dane pomiarowe z półrocza letniego 2007 roku stosując dwie metody rozdziału opadu całkowitego na efektywny i na straty, tj. na metodę CN-SCS oraz metodę funkcji wykładniczej.

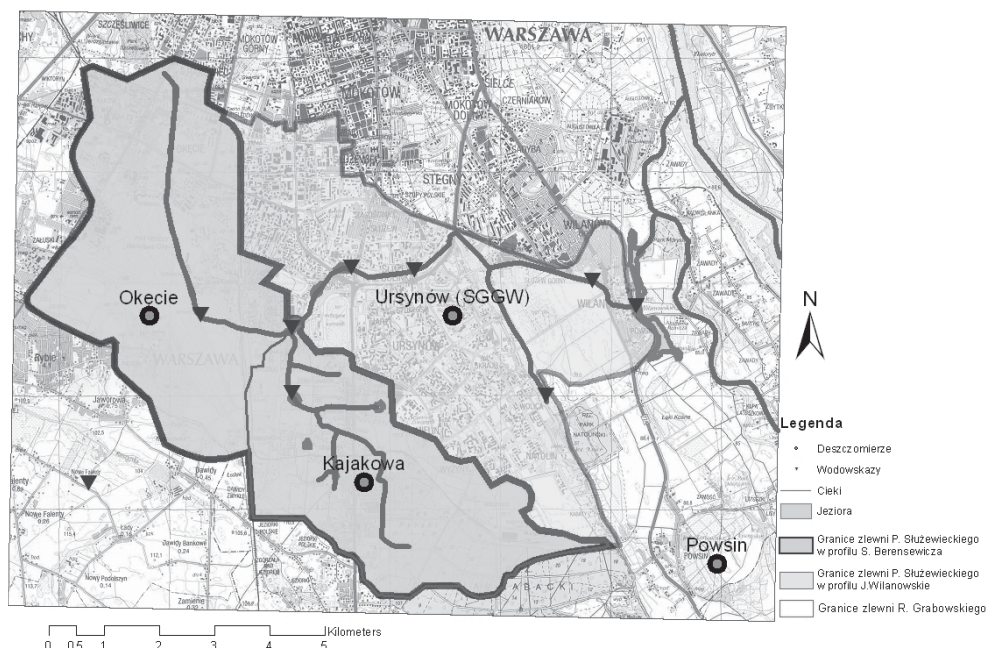
Przedstawiona w artykule problematyka podjęta została przez pierwszego współautora w magisterskiej pracy dyplomowej pt. „Analiza przepływów wezbraniowych w zlewni rzecznej Potoku Służewieckiego w profilu Staw Berensewicza” na kierunku ochrona środowiska (Sikorska 2008).

Charakterystyka zlewni i danych pomiarowych. Położenie zlewni

Zlewnia Potoku Służewieckiego położona jest na terenie Warszawy w obrębie dzielnic: Ochota, Włochy, Okęcie, Ursynów i Wilanów. Sam potok rozpoczyna swój bieg przy alei Krakowskiej (Wstępne... 1991). Początkowo płynie kanałem zamkniętym aż do zbiegu ulic Hynka i Radarowej, następnie korytem otwartym do obszaru lotniska Okęcie, na terenie którego poprowadzony jest kolektorem zamkniętym. Wylot kolektora znajduje się przy ulicy Wirażowej. Od opuszczenia terenu lotniska potok płynie korytem otwartym aż do ujścia do rzeki Wilanówki i dalej do Jeziora Wilanowskiego, a jedynie na niedużych odcinkach wody potoku zbierane są w kolektory zamknięte.

Potok Służewiecki jest odbiornikiem wód opadowych dla dzielnic Ochota – Ursynów – Wilanów. Na całym swoim biegu przyjmuje ponad 30 dopływów, z czego 4 stanowią rowy otwarte. Są to: Rów Grabowski, Rów Wyścigi, Kanał Wolica oraz rów uchodzący w końcowym odcinku Potoku (Banasik 2002). Pozostałe dopływy stanowią wyloty kolektorów kanalizacji deszczowych. Rów Grabowski jest największym dopływem potoku na obszarze analizowanej zlewni.

Całkowita powierzchnia zlewni Potoku Służewieckiego wynosi 53,74 km². Powierzchnia zlewni Potoku Służewieckiego po profil Staw Berensewicza wraz ze zlewnią Rowu Grabowskiego wynosi 26,9 km² (Gradowski 2007). Na rysunku 1 zamieszczono mapę zlewni Potoku Służewieckiego.



RYSUNEK 1. Mapa lokalizacyjna zlewni Potoku Służewieckiego po profil Staw Berensewicza
FIGURE 1. Locality map of the Służew Creek to the stream gauge Berensewicz Pond

Struktura użytkowania zlewni

Zlewnia potoku w analizowanym profilu nie jest jednorodna i można wyróżnić dwie jej części zróżnicowane pod względem stopnia zurbanizowania, tj. zlewnię Potoku Służewieckiego po profilu Staw Berensewicza (bez Rowu Grabowskiego), czyli zlewnię Okęcie, oraz zlewnię Rowu Grabowskiego. Zlewnia Okęcie jest bardziej zurbanizowana, natomiast zlewnia Rowu Grabowskiego wykazuje bardziej rolniczy charakter. Powierzchnia zlewni Okęcie wynosi 14,4 km² (Florczak 2007), a długość cieków głównego – 7,25 km. Natomiast powierzchnia zlewni Rowu Grabowskiego wynosi 12,5 km² (Sikorska 2007), a długość rowu – 8,48 km wraz z rowem C (Sikorska 2007).

Zlewnia Okęcie jest w dużym stopniu zurbanizowana. Ponad 63% całej jej powierzchni stanowią tereny zabudowane i osiedla mieszkaniowe, czyli obszary o ograniczonej bądź znikomej przepuszczalności. Największą część zlewni zajmują tereny lotniska Okęcie – około 5 km², co stanowi blisko 35% całkowitej powierzchni zlewni. Jednak pomimo dużego zurbanizowania zlewni znajdują się na jej obszarze także tereny niezabudowane, takie jak: ogródki działkowe, sady, łąki czy nieużytki.

Na terenie zlewni znajduje się jeden większy zbiornik – Staw Berensewicza, położony przy profilu zamykającym zlewnię. Staw ten składa się z 2 połączonych zbiorników – większego dolnego i mniejszego górnego. Staw Berensewicza oddzielony jest od koryta Potoku Służewieckiego groblą ziemną.

Zlewnia Rowu Grabowskiego jest w dużo mniejszym stopniu zurbanizo-

wana niż zlewnia Okęcie. Tereny o ograniczonej przepuszczalności, jak osiedla mieszkaniowe, tereny handlowe czy utwardzone drogi, stanowią zaledwie około 17,8% całkowitej powierzchni zlewni. Najbardziej zurbanizowanym obszarem zlewni są tereny położone we wschodniej jej części (Imienin, Moczydło). Znajdują się tam przede wszystkim tereny zamieszkałe oraz usługowe, które stopniowo wdzierają się coraz głębiej na zachód w stronę ulicy Puławskiej. Jednak przeważająca część zlewni jest jeszcze niezurbanizowana. Największą powierzchnię zajmuje Las Kabacki – ponad 27%. Stosunkowo dużo jest także terenów otwartych, jak grunty orne, łąki czy parki. Tereny te zapewne w przyszłości staną się celem nowych inwestycji na terenie zlewni.

W obrębie zlewni Rowu Grabowskiego położonych jest 6 niewielkich zbiorników wodnych, tj. zlokalizowane wzdłuż głównego cieków wodnego Jezioro Grabowskie oraz położone wzdłuż dopływów rowu jeziora: Imielińskie, Zablockiego, Wingerta, stawy Kądziołeczka i Krosno, a także dwa oczka wodne (Moczydło).

Opad całkowity

Wysokości opadu całkowitego wykorzystane w pracy pochodzą z deszczomierza zainstalowanego na lotnisku Okęcie, który prowadzi pomiar w odstępie jednodominutowym, zgodnie z czasem UTC. W przypadku awarii urządzenia przy ulicy Kajakowej, jaka miała miejsce na początku lipca 2007 roku, zasięg oddziaływania deszczomierza Okęcie

dla analizowanej zlewni jest dominujący w stosunku do deszczomierza SGGW.

Analizie poddano jedynie te opady, których wysokość była równa co najmniej 3 mm, gdyż przyjmuje się, iż takie opady wywołują znaczne wezbranie w zlewni Potoku Służewieckiego. Dane

opadowe analizowane były w okresie od maja do końca października 2007 roku.

W tabeli 1 przedstawiono liczbę zdarzeń $P \geq 3$ mm zarejestrowanych na posterunku opadowym Okęcie.

Statystyka dotycząca zarejestrowanych opadów przedstawia się nastę-

TABELA 1. Charakterystyka zarejestrowanych zdarzeń na posterunku opadowym Okęcie
TABLE 1. Characteristics of rainfall events measured at the Okęcie rain gauging station

Data zdarzenia Date of occurrence	Opad Rainfall P [mm]	Czas trwania Duration D [min]	Natężenie opadu Rainfall intensity I [mm·h ⁻¹]
16.05.2007	4,0	162	1,5
	3,2	181	1,1
6.06.2007	9,2	20	27,6
9.06.2007	28,8	203	8,5
10.06.2007	12,4	132	5,6
13.06.2007	16,6	87	11,4
19.06.2007	14,0	101	8,3
21.06.2007	10,0	250	2,4
23.06.2007	5,4	146	2,2
26.06.2007	8,6	182	2,8
	3,2	136	1,4
2.07.2007	9,0	268	2,0
4.07.2007	4,4	354	0,8
6.07.2007	3,6	396	0,5
	4,6	262	1,1
20.07.2007	5,8	47	7,4
22.07.2007	9,4	26	21,7
25.07.2007	3,0	128	1,4
27.07.2007	11,4	148	4,6
10.08.2007	12,6	228	3,3
	3,0	26	6,9
12.08.2007	21,0	152	8,3
21.08.2007	8,4	15	33,6
5.09.2007	15,2	728	1,3
	3,0	110	1,6
8.09.2007	6,0	360	1,0
9.09.2007	3,4	57	3,6
10.09.2007	6,2	260	1,4
18.09.2007	8,8	388	1,4
6.10.2007	4,6	156	1,8
19.10.2007	19,4	884	1,3

pująco: dla $P \geq 3$ mm było 31 zdarzeń, w tym:

- dla $3 \leq P < 5$ mm: 11 zdarzeń,
- dla $5 \leq P < 10$ mm: 10 zdarzeń,
- dla $10 \leq P < 20$ mm: 8 zdarzeń,
- dla $P \geq 20$ mm: 2 zdarzenia.

Stany wody

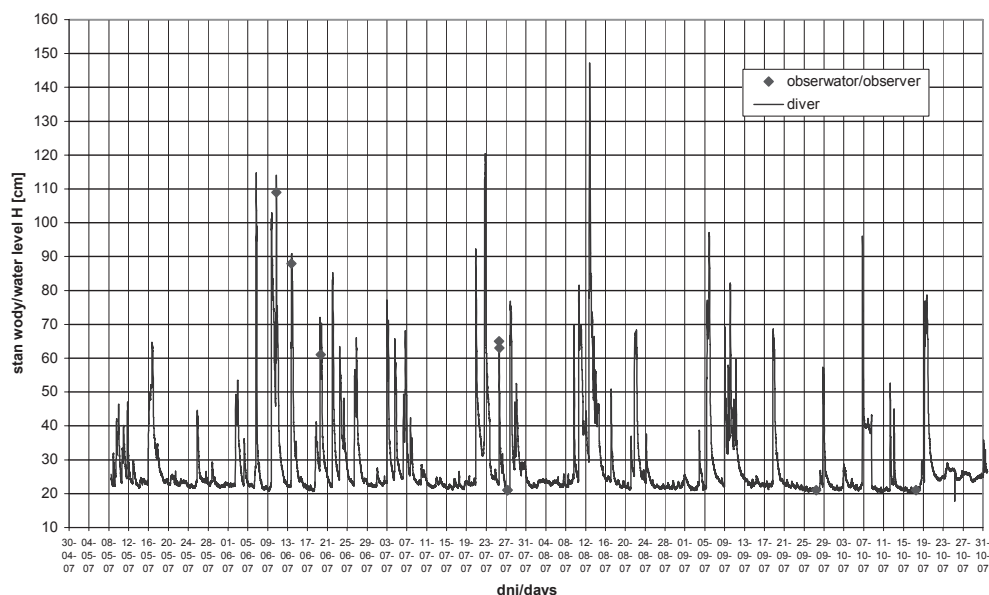
W pracy wykorzystano stany wód pochodzące z limnigrafu (urządzenia samopiszącego) zainstalowanego na Potoku Służewickim w profilu Staw Berensewicza, który prowadzi ciągłą rejestrację stanów wody w odstępach 10-minutowym, zgodnie z czasem zimowym (wszystkie obliczenia przeprowadzone były zgodnie z czasem zimowym).

Ciągły rejestr stanów wód prowadzony jest w tym profilu od 8 maja 2007 roku, toteż do analizy wykorzystano dane pochodzące z półrocza letnie-

go 2007 roku (od początku rejestru do końca roku hydrologicznego), czyli od maja do końca października 2007 roku (wykres stanów pokazano na rys. 2). Wykorzystanie danych z takiego okresu znajduje uzasadnienie, gdyż występują wtedy wezbrania w zlewni Potoku Służewickiego. Okresowo dokonywane są również pomiary stanów wód przez obserwatora w celu weryfikacji urządzenia rejestrującego.

Ze względu na przepustowość przepustu pod ulicą Łączyny przyjmuje się, iż dla Potoku Służewickiego w profilu Staw Berensewicza stany wody powyżej 60 cm stanowią znaczne wezbranie wody. W analizowanym okresie zdarzeń o stanie wody $H \geq 60$ cm było 27, w tym:

- dla $60 \leq H < 80$ cm: 15 zdarzeń,
- dla $80 \leq H < 100$ cm: 7 zdarzeń,
- dla $100 \leq H < 120$ cm: 3 zdarzenia,
- dla $H \geq 120$ cm: 2 zdarzenia.



RYSUNEK 2. Stany wód na Potoku Służewickim w profilu Staw Berensewicza – półrocze letnie
 FIGURE 2. Recorded water levels of the Służew Creek at the gauge of Berensewicz Pond

Maksymalne zaobserwowane wezbranie wystąpiło 12 sierpnia 2007 roku, a maksymalny stan wody zarejestrowany na Potoku Służewieckim w profilu Staw Berensewicza wynosił 147,2 cm.

Metodyka wyznaczenia czasu opóźnienia odpływu i parametrów modelu Nasha

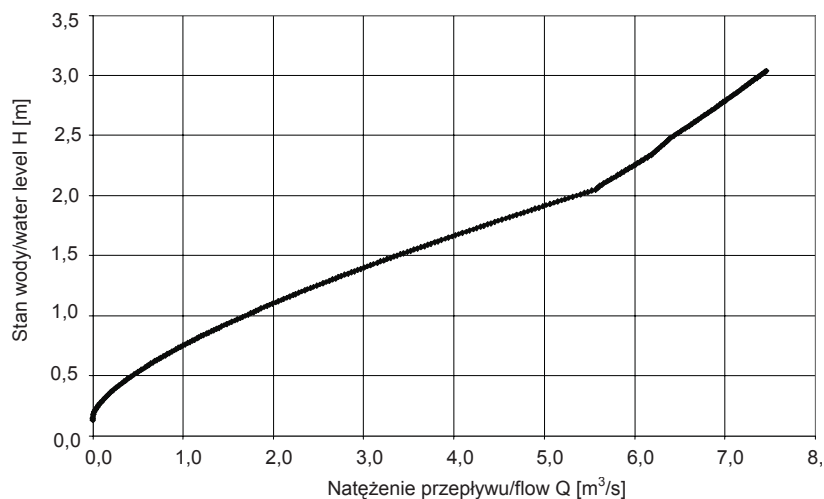
Czas opóźnienia odpływu i parametry modelu Nasha wyznaczone zostały na podstawie danych pomiarowych – wysokości opadu całkowitego i stanów wody.

Wysokości opadu całkowitego wykorzystane zostały do rozdziału opadu na opad efektywny i tzw. straty. W hydrologii stosowane są cztery główne metody rozdziału opadu całkowitego: CN-SCS, funkcji wykładniczej, stałej wysokości strat oraz stałego współczynnika strat. Wybór metody wyznaczania opadu efektywnego wpływa na położenie środka ciężkości histogramu opadu

efektywnego, a tym samym na wartość czasu opóźnienia odpływu. W pracy zastosowano metody CN-SCS oraz funkcji wykładniczej.

Stany wody wykorzystano do wyznaczenia przepływów na podstawie krzywej przepływów, a następnie do wyznaczenia hydrogramu odpływu bezpośredniego. Wartości przepływów dla Potoku Służewieckiego dla analizowanego roku ustalone zostały na podstawie krzywej przepływów dla Potoku Służewieckiego pod ulicą Łączyny, opracowanej w Katedrze Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska (Bajkowski 2007). Na rysunku 3 przedstawiono daną krzywą przepływów.

Ze względu na dużą liczbę zarejestrowanych wezbrań do dalszej analizy wykorzystano te wezbrania, dla których stan wód $H \geq 75$ cm, co odpowiada przepływowi około $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Maksymalnemu zaobserwowanemu stanowi wody (wezbranie z dnia 12.08.2007 roku) odpowiada przepływ równy $3,26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Mając



RYSUNEK 3. Krzywa przepustowości dla Potoku Służewieckiego pod ulicą Łączyny – profil Staw Berensewicza (Bajkowski 2007)

FIGURE 3. Throughput curve of Służew Creek at the Berensewicz Pond water gauge

dane natężenia przepływu dla analizowanych zdarzeń, a tym samym hydrogramy odpływu całkowitego, dokonano rozdziału hydrogramów wezbrania na hydrogram odpływu bezpośredniego i hydrogram odpływu gruntowego, stosując metodę odcinka linii prostej. Dla dużych wezbrań metoda ta jest wystarczająco dokładna (Ignar 1993). Na podstawie wyznaczonego hydrogramu odpływu bezpośredniego wyznaczono objętość wezbrania (pole hydrogramu).

W pracy do wyznaczenia wartości czasu opóźnienia odpływu i parametrów modelu Nasha dla poszczególnych zdarzeń zastosowano program komputerowy SNE, opracowany w katedrze IWRŚ SGGW. Program ten umożliwia przeprowadzenie analizy na bazie 4 metod wyznaczenia rozdziału opadu efektywnego, o których wspomniano wcześniej.

Przyjęte metody rozdziału opadu całkowitego na opad efektywny i straty

W pracy magisterskiej (Sikorska 2008) zastosowano 2 metody rozdziału opadu całkowitego na opad efektywny i straty – metodę SCS oraz metodę funkcji wykładniczej. Przyjęto, iż objętość opadu efektywnego odpowiada objętości hydrogramu odpływu bezpośredniego.

W metodzie formuły wykładniczej funkcja strat opisywana jest równaniem Guillota i Dubanda (1979):

$$H_{ti} = P_{ti} - b \left[1 - \exp\left(-\frac{P_{ti}}{b}\right) \right] \quad (1)$$

gdzie:

P_{ti} – suma opadu całkowitego do czasu t_i [mm],

H_{ti} – suma opadu efektywnego do czasu t_i [mm],

b – parametr równania [mm], optymalizowany dla poszczególnych fal, a dla celów prognostycznych wyznaczany za pomocą wskaźnika opadów poprzednich.

W metodzie SCS opad efektywny po upływie czasu t_j ($t_j = j\Delta t$, Δt – przyjęty przedział czasowy) obliczany jest za pomocą następującego wzoru:

$$H_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^j \Delta H_i = 0, & \text{gd } P_j - 0,2S \leq 0 \\ \sum_{i=1}^j \Delta H_i = \frac{(P_j - 0,2 \cdot S)^2}{P_j + 0,8 \cdot S}, & \text{gd } P_j - 0,2S > 0 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

H_j – opad efektywny w czasie od t_0 do t_j [mm], wyrażony wzorem

$$H_j = \sum_{i=1}^j \Delta H_i$$

P_j – opad w czasie od t_0 do t_j [mm], wyrażony wzorem

$$P_j = \sum_{i=1}^j \Delta P_i$$

ΔH_i – cząstkowy opad efektywny w przedziale czasowym i [mm],

ΔP_i – cząstkowy opad w przedziale czasowym i [mm],

S – maksymalna potencjalna retencja zlewni [mm], obliczana ze wzoru

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

gdzie CN – parametr metody [-].

Wyniki i analiza obliczeń

Czas opóźnienia i parametry modelu Nasha wyznaczone zostały dla 15 analizowanych zdarzeń dla 2 metod rozdziału opadu całkowitego przy zastosowaniu programu SNE. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Na podstawie obliczeń przedstawionych w tabeli można zaobserwować, iż w przypadku czasu opóźnienia występują różnice zarówno pomiędzy wartościami

wyznaczonymi dla obydwu metod, jak i dla poszczególnych zdarzeń. Dla metody CN-SCS wartości czasu opóźnienia odpływu zmieniały się w zakresie 0,97–6,73 h, natomiast dla metody funkcji wykładniczej – w zakresie 1,49–7,09 h. Średni czas opóźnienia odpływu dla metody funkcji wykładniczej jest dłuższy o 10% (0,32 h) od średniego czasu opóźnienia, wyznaczonego dla metody CN-SCS.

TABELA 2. Czas opóźnienia i parametry modelu Nasha dla Potoku Służewieckiego w profilu Staw Berensewiczka wyznaczone za pomocą programu SNE

TABLE 2. Lag time and Nash model parameters for Służew Creek catchment estimated by SNE programme

Lp. No	Data wezbrania Date of occurrence	Metoda rozdziału opadu Method of effective rainfall estimation					
		Funkcja wykładnicza Exponential formula			CN-SCS		
		<i>N</i> [-]	<i>k</i> [h]	Lag [h]	<i>N</i> [-]	<i>k</i> [h]	Lag [h]
1	6.06.2007	4,56	0,65	2,99	4,06	0,70	2,84
2	9.06.2007	2,49	2,79	6,97	2,33	2,88	6,73
3	10.06.2007	2,01	1,76	3,53	1,66	1,93	3,20
4	13.06.2007	4,24	1,28	5,41	3,92	1,33	5,22
5	21.06.2007	2,76	1,04	2,88	1,70	1,37	2,33
6	2.07.2007	2,89	1,65	4,77	2,56	1,73	4,45
7	20.07.2007	4,16	0,79	3,28	4,15	0,79	3,28
8	22.07.2007	4,51	0,87	3,93	4,22	0,90	3,82
9	27.07.2007	3,90	1,37	5,36	3,68	1,42	5,21
10	10.08.2007	1,83	3,89	7,09	1,34	4,66	6,24
11	12.08.2007	2,37	2,77	6,58	2,32	2,80	6,49
12	5.09.2007	1,00	2,41	2,41	1,00	0,97	0,97
13	10.09.2007	7,23	0,29	2,11	3,11	0,48	1,49
14	6.10.2007	5,67	0,44	2,51	3,70	0,62	2,30
15	19.10.2007	1,00	1,49	1,49	1,00	1,97	1,97
	Zakres zmienności Variability range	1,00–7,23	0,29–3,89	1,49–7,09	1,00–4,22	0,49–4,66	0,97–6,73
	Średnia arytmetyczna Mean	3,37	1,57	4,09	2,72	1,64	3,77
	Odchylenie standardowe Standard deviation	1,74	1,01	1,83	1,19	1,12	1,87

W przypadku parametrów modelu Nasha występuje duża rozbieżność pomiędzy wartościami N i k , zarówno pod względem zastosowanej metody, jak i pomiędzy poszczególnymi zdarzeniami. Wartość parametru N dla metody CN-SCS waha się w zakresie od 1,00 do 4,22, a dla metody funkcji wykładniczej od 1,00 do 7,23. Natomiast dla parametru k w metodzie CN-SCS zakres zmienności wartości zawiera się w przedziale od 0,49 do 4,66 h, a dla metody funkcji wykładniczej od 0,29 do 3,89 h. Uzyskane średnie arytmetyczne wartości parametrów modelu Nasha wynoszą: dla metody CN-SCS $N = 2,72$ i $k = 1,64$ h, a dla metody funkcji wykładniczej $N = 3,37$ i $k = 1,57$ h.

Wyznaczone w ten sposób wartości parametru N i k (jako średnie arytmetyczne dla wszystkich 15 wezbrań) nie mogą być traktowane jako wartości średnie dla półrocza letniego dla danej zlewni, a jedynie mogą posłużyć do ustalenia średnich wartości parametrów według metody inżynierskiej.

W pracy magisterskiej (Sikorska 2008) wykorzystano wyznaczone wartości parametrów N i k dla poszczególnych zdarzeń do wyznaczenia średnich wartości parametrów \bar{N} i \bar{k} dla analizowanej zlewni przy zastosowaniu metody Serbana (Ignar i Banasik 1986). Wyznaczone w ten sposób wartości N i k posłużyły do symulowania hydrogramów wezbrań wywołanych opadem o różnym czasie trwania.

Podsumowanie

Celem pracy było wyznaczenie czasu opóźnienia odpływu i parametrów modelu Nasha dla zlewni rzecznej

Potoku Służewieckiego na podstawie danych pomiarowych – stanów wody i wysokości opadu całkowitego. Jako profil zamykający zlewnię wybrano Staw Berensewicza. Poszukiwane wielkości wyznaczono za pomocą programu SNE opracowanego w Katedrze IWRŚ SGGW dla 15 zdarzeń z półrocza letniego 2007 roku.

Zagadnienie to poruszone zostało przez Banasika i Barszcza w pracy pt. „Wpływ metody wyznaczania opadu efektywnego na czas opóźnienia odpływu i parametry modelu opad-odpływ” (Banasik i Barszcz 2001). Na podstawie obydwu prac można stwierdzić, iż występują różnice pomiędzy wielkościami wyznaczonymi dla poszczególnych zdarzeń. Zastosowanie urządzeń rejestrujących stany wody w sposób ciągły w miejsce tradycyjnych wodowskazów pozwala na zwiększenie dostępnej liczby zdarzeń, a tym samym na przeprowadzenie na ich podstawie statystycznej analizy i uzyskanie bardziej wiarygodnych wielkości.

Ponadto przeprowadzona analiza dowodzi, iż wybór metody rozdziału opadu całkowitego wpływa na uzyskiwane wartości parametrów modelu Nasha oraz czasu opóźnienia odpływu. Wynika to z położenia środka ciężkości hietogramu opadu efektywnego, które uzależnione jest od wybranej metody wydzielenia opadu efektywnego.

Dla metody CN-SCS uzyskano średnie wartości arytmetyczne parametrów równe $N = 2,72$ i $k = 1,64$ h, a dla metody funkcji wykładniczej $N = 3,37$ i $k = 1,57$ h. Banasik i Barszcz (2001) uzyskali w swojej pracy wartości tych parametrów równe odpowiednio: dla metody CN-SCS $N = 2,08$ i $k = 5,72$ h, a dla

metody funkcji wykładniczej $N = 4,39$ i $k = 3,57$ h. Można zauważyć, iż w obu pracach w metodzie CN-SCS uzyskano mniejszą liczbę zbiorników liniowych i dłuższy czas retencji w porównaniu do metody funkcji wykładniczej.

Wyznaczone średnie arytmetyczne wartości parametrów N i k nie mogą być jednak traktowane jako średnie wielkości dla zlewni, a jedynie jako wartości poglądowe. W związku z tym w celu wyznaczenia hydrogramów wezbraniowych należy wyznaczyć średnie wartości parametrów N i k , co zostało przeprowadzone w pracy magisterskiej (Sikorska 2008) i co zostanie omówione w następnej pracy autorów. Do wyznaczenia wielkości N i k wykorzystane zostały wartości parametrów N i k wyznaczone dla poszczególnych zdarzeń.

Średni czas opóźnienia odpływu uzyskany dla metody CN-SCS jest dłuższy o 10% od średniego czasu opóźnienia uzyskanego dla metody funkcji wykładniczej. Wielkości te wynoszą odpowiednio: 3,77 h dla metody CN-SCS i 3,37 h dla metody funkcji wykładniczej. Banasik i Barszcz (2001) uzyskali te same wartości równe 11,7 h dla metody CN-SCS i 14,6 h dla metody funkcji wykładniczej, a różnicę między poszczególnymi metodami równą 25% (2,9 h) na korzyść metody CN-SCS. Jak wynika z obydwu prac, czas opóźnienia odpływu wyznaczony według metody CN-SCS jest dłuższy niż wyznaczony według metody funkcji wykładniczej.

Literatura

- BAJKOWSKI S. 2007: Analiza warunków działania przepustu na Potoku Służewickim pod ulicą Łączyny. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.
- BANASIK K. 2002: Operat hydrologiczny Potoku Służewickiego w przekroju ul. Przyczółkowej. Wydział Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW, Warszawa.
- BANASIK K., BARSZCZ M. 2001: Wpływ metody wyznaczania opadu efektywnego na czas opóźnienia odpływu i parametry modelu opad-odpływ. *Zeszyty Problemowe Postępów Naukowych Nauk Rolniczych* 477: 15–21.
- BANASIK K., GÓRSKI D., IGNAR S. 2000: Modelowanie wezbrań opadowych i jakości odpływu z małych nieobserwowanych zlewni rolniczych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- BANASIK K., HEJDUK L., BARSZCZ M. 2008: Flood flow consequences of land use changes in a small urban catchment of Warsaw. Reports of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland.
- FLORCZAK F. 2007: Przepływy wezbraniowe Potoku Służewickiego w profilu Staw Berensowicza. Maszynopis SGGW, Warszawa.
- GRADOWSKI Ł. 2007: Wpływ zbiornika wodnego – Staw Berensowicza na redukcję fali powodzowej. Maszynopis. SGGW, Warszawa.
- GUILLOT P., DUBAND D. 1978: Fonction de transfer pluie-debit sur des bassins versants de l'ordre de 1000 km. Societé Hydrotechnique de France, Paris, Session des 21–22.11.1978.
- IGNAR S. 1993: Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- IGNAR S., BANASIK K. 1986: Wpływ metody wyznaczania opadu efektywnego na parametry modelu Nasha małej zlewni rolniczej. *Gospodarka Wodna* 4.
- Oficjalny serwis stolicy Polski, kwiecień 2008 (www.um.warszawa.pl).
- SIKORSKA A. 2007: Wpływ urbanizacji na zmiany przepływów wezbraniowych w zlewni rzecznej Rowu Grabowskiego. Maszynopis. SGGW, Warszawa.
- SIKORSKA A. 2008: Analiza przepływów wezbraniowych wezbraniowych zlewni rzecznej Potoku Służewickiego Służewickiego profilu Staw Berensowicza. Maszynopis. SGGW, Warszawa.
- Wstępne studium zagrożeń ekologicznych na terenie i w sąsiedztwie zabytkowego zespołu pałacowo ogrodowego w Wilanowie, 1991. Maszynopis. Narodowa Fundacja Ochrony Środowiska, Warszawa.

Summary

Estimation of the lag time of direct runoff in a small urban catchment of Służew Creek based on the measured data. The main goal of this article was estimation of the lag time of direct runoff in Służew Creek catchment, located in Warsaw (Poland). To calculations there were used measured data of rainfall (Okęcie rain gauging station) and data of direct runoff at the Berensewicz Pond water gauge. The IUH based on the Nash model, in which catchment is shown as a cascade of N linear reservoirs with retention parameter k of each reservoir, was used to transform effective rainfall into direct runoff. Effective rainfall of each recorded event was estimated with two methods: exponential formula and CN-SCS method. Analysis was conducted for one hydrological year (2007), for events with water level higher than 0.75 m, which corresponds with discharge about 1 cubic meter per second. As a result of this

analysis, there was stated, that two estimation methods gave different output and estimated mean lag time of direct runoff for CN-SCS method (3.77 h) was longer than for the exponential formula (3.37 h).

This case study was the part of the first author's master thesis, written at the Department of Water Engineering and Environmental Restoration (Warsaw University of Life Sciences – SGGW), entitled: "Analysis of flood discharges in the Służew Creek catchment at the water gauge of Berensewicz Pond".

Authors' address:

Anna Sikorska, Kazimierz Banasik
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-758 Warszawa
Poland
e-mail: anna_sikorska@sggw.pl;
kazimierz_banasik@sggw.pl