

CZASY OPÓŹNIENIA ODPLYWU WODY I RUMOWISKA UNOSZONEGO Z MAŁEJ ZLEWNI PODGÓRSKIEJ

Mariusz Barszcz, Kazimierz Banasik

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

Średni czas jaki upływa od wystąpienia opadu w zlewni rzecznej do momentu kiedy odpływ bezpośredni (powierzchniowy i podpowierzchniowy) dotrze do przekroju zamykającego zlewnię jest ważnym elementem w prognozowaniu wzbrań powodziowych, a także w modelowaniu procesu opad–odpływ–transport rumowiska unoszonego. Czas ten nazywany czasem opóźnienia odpływu wody – Lag, definiowany jest jako odległość mierzona w skali czasu pomiędzy środkiem geometrycznym (ciężkości) hietogramu opadu efektywnego (wykresu natężenia opadu w funkcji czasu) i wywołanego nim hydrogramu odpływu bezpośredniego. Opady deszczu wywołujące zjawisko odpływu powierzchniowego powodują odrywanie i zmywanie drobnych cząstek glebowych z powierzchni zlewni w kierunku cieku. Czasowy rozkład wydatku (masy) rumowiska wytwarzanego w zlewni jest odpowiednikiem hietogramu opadu efektywnego. Odległość mierzona w skali czasu pomiędzy środkiem ciężkości tego wykresu i sedymentogramu (fali rumowiska unoszonego wyrażonej w $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) nazywana jest czasem opóźnienia odpływu rumowiska – Lag_s.

W pracy przedstawiono wyniki analizy czasów opóźnienia odpływu wody i rumowiska unoszonego 10-ciu zdarzeń opad–odpływ, zarejestrowanych w małej, podgórskiej zlewni rzeki Bauny (Niemcy, Hesja), przez Katedrę Budownictwa Wodnego i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Kassel, w roku 2000. Wyznaczenie wymienionych czasów opóźnienia oraz zależności pomiędzy nimi pozwala ustalić jeden z trzech parametrów równania chwilowego sedymentogramu jednostkowego (IUSG) – tj. parametru transportu rumowiska unoszonego – B. Równanie opisujące IUSG wyprowadzone zostało w oparciu o ideę WILLIAMSA [1978], w byłej Katedrze Budownictwa Wodnego SGGW¹ [BANASIK 1994a].

¹ od 2000 r. Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska.

Metodyka wyznaczania czasów opóźnienia odpływu wody i rumowiska

Wyznaczanie czasu opóźnienia odpływu wody

Zdefiniowany we wstępie czas opóźnienia odpływu wody, zilustrowany na tle danych pomiarowych opadu i odpływu na rysunku 1, określa się z zależności:

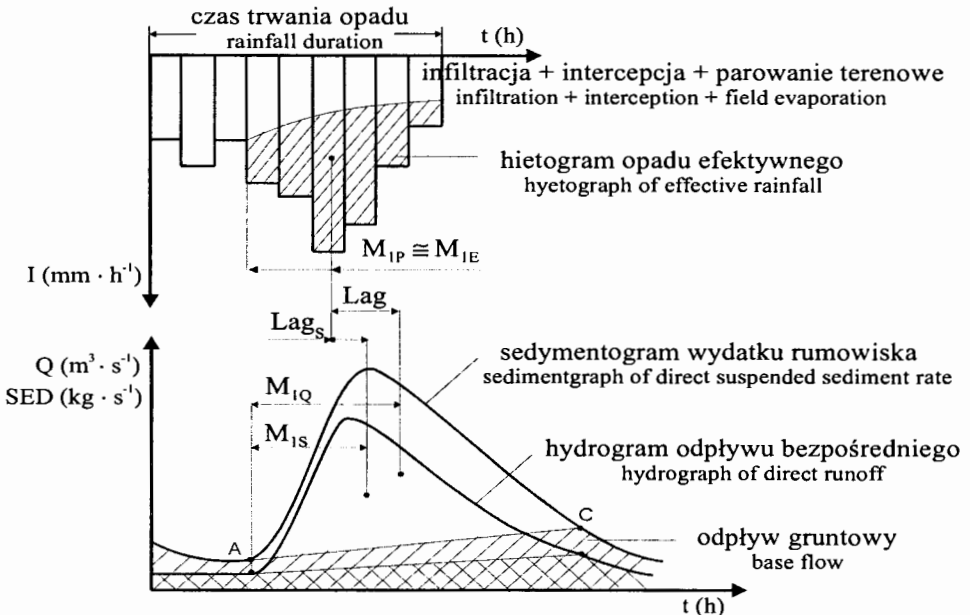
$$\text{Lag} = M_{IQ} - M_{IP} \quad (1)$$

gdzie:

Lag – czas opóźnienia odpływu wody (h),

M_{IQ} – pierwszy moment początkowy hydrogramu odpływu bezpośredniego (h),

M_{IP} – pierwszy moment początkowy hietogramu opadu efektywnego (h).



Rys. 1. Idea wyznaczania czasów opóźnienia odpływu wody i rumowiska
Fig. 1. Definition of lag times of runoff and of suspended sediment yield

Szczegółowy zapis równania (1) przedstawia się następująco:

$$\text{Lag} = \frac{\int_0^{T_Q} t * Q_p(t) dt}{\int_0^{T_Q} Q_p(t) dt} - \frac{\int_0^{T_{I_e}} t * I_e(t) dt}{\int_0^{T_{I_e}} I_e(t) dt} \quad (2)$$

gdzie:

$Q_p(t)$ – rzędna odpływu bezpośredniego o czasie t ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

$I_e(t)$ – natężenie opadu efektywnego o czasie t ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$),

T_Q – czas trwania odpływu bezpośredniego (h),

T_{I_e} – czas trwania opadu efektywnego (h),

t – czas (h).

Wyznaczanie czasu opóźnienia odpływu rumowiska

Czas opóźnienia odpływu rumowiska, zdefiniowany we wstępie jest obliczany z następującej zależności:

$$\text{Lag}_S = M_{IS} - M_{IE} \quad (3)$$

gdzie:

- Lag_S – czas opóźnienia odpływu rumowiska (h),
- M_{IS} – pierwszy moment początkowy sedimentogramu wydatku rumowiska (h),
- M_{IE} – pierwszy moment początkowy wykresu produkcji (wydatku) rumowiska (h).

Wykres produkcji rumowiska jest odpowiednikiem hietogramu opadu efektywnego i przedstawia rozkład czasowy wytwarzanego w zlewni rumowiska, które dopływa do analizowanego przekroju pomiarowego. Przy założeniu, że produkcja rumowiska w poszczególnych przedziałach czasowych trwania deszczu jest proporcjonalna do wysokości opadu efektywnego, środki ciężkości obydwu wykresów (hietogramu opadu efektywnego i histogramu wydatku rumowiska) pokrywają się. Występujące we wzorze 3 momenty sedimentogramu i wykresu produkcji rumowiska wyznacza się na podstawie rzędnych tych wykresów, w analogiczny sposób jak momenty czasu opóźnienia odpływu. Rzędne pierwszego z nich wyraża się w $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (otrzymane z iloczynu koncentracji rumowiska – wyrażonej w $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, i odpowiadających im czasowo przepływów – $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) a drugiego w $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$.

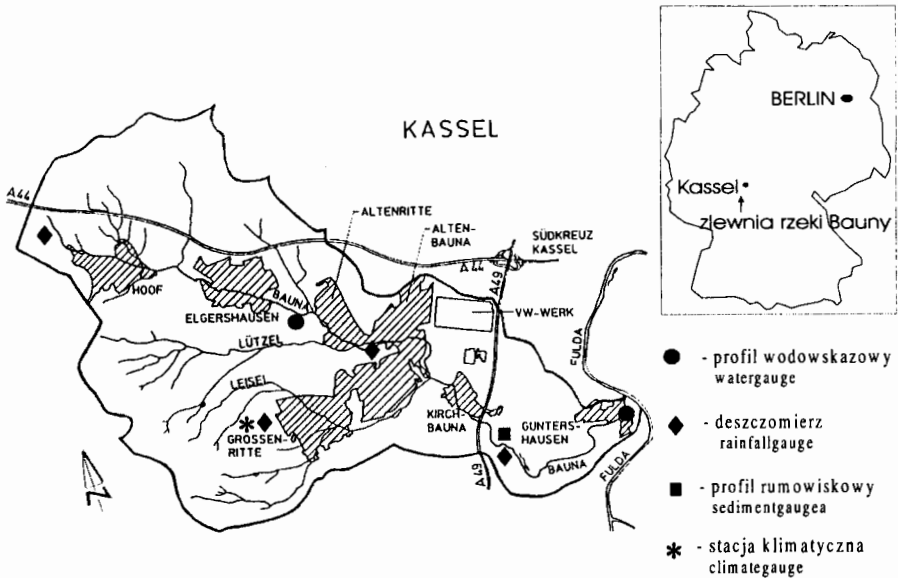
Opis badanej zlewni i omówienie danych pomiarowych

Opis badanej zlewni

Zlewnia rzeki Bauny, położona jest w Niemczech, na obszarze landu Hesji. Jej schemat i umiejscowienie w skali kraju pokazano na rysunku 2. Bauna jest rzeką podgóorską o długości 16 km, uchodzącą do rzeki Fuldy. Fulda jest dopływem Wezery, która wpływa do Morza Północnego.

Najwyższy punkt w zlewni rzeki Bauny znajduje się na wysokości 614,8 m n.p.m., a maksymalna różnica wysokości wynosi 474,8 m. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 49,1 km^2 . Obecnie 33% powierzchni zlewni zajmują użytki rolne, 30% zajmują lasy, 12% użytki zielone, a 25% tereny zurbanizowane. Do tak wysokiego zurbanizowania zlewni (wyraźnie powyżej średniej wartości dla Niemiec) przyczyniło się zlokalizowanie na jej terenie zakładów produkcji samochodów „Volkswagen”. To spowodowało zwiększenie niebezpieczeństwa powodzi, które i tak było wysokie ze względu na duże spadki terenu (średni spadek zlewni 4,22%) i przewagę gleb o małej i bardzo małej przepuszczalności [SOBIREY, TÖNSMANN 2001].

Katastrofalna powódź w tej zlewni 31.7.1992 roku (w ciągu 24 godzin spadło 133 mm opadu) stała się bodźcem do opracowania koncepcji ochrony przeciwpowodziowej. To zadanie zlecono prof. Tönsmannowi z Uniwersytetu w Kassel. W tym celu założono na głównej rzece dwa profile wodowskazowe, jeden w środkowej części zlewni (powyżej miejscowości Altenritte), a drugi przy ujściu do Fuldy (Guntershausen). Pomiaru stanów wody wykonywane były za pomocą czujników ciśnieniowych (zainstalowanych w 1997 roku), w odstępach czasowych 5 minutowych [RÖTTCHER 2001].



Rys. 2. Mapa zlewni rzeki Bauny
 Fig. 2. Map of the river Bauna watershed

Opad rejestrowany był przez 4 deszczomierze korytkowe (zainstalowane w 1996 roku) z dokładnością 0,1 mm. Trzy z nich rozmieszczone były wzdłuż cieku głównego, a jeden w bocznej części zlewni. Średnia roczna suma opadu wynosiła 700 mm, dla środkowej części zlewni. Zarówno stany wody, jak i opady były zapisywane na rejestratorach, skąd odczytywane były manualnie, raz w miesiącu, za pomocą karty pamięciowej.

Ponadto w zlewni znajduje się stacja klimatyczna, z której dane pomiarowe mogą być bezpośrednio odczytane za pośrednictwem linii telefonicznej. Posterunek, w którym prowadzone są pomiary koncentracji rumowiska znajduje się w odległości 4150 m powyżej wodowskazu w Guntershausen. Powierzchnia ograniczona tym profilem wynosi 45 km² (powierzchnia zlewni do profilu w Guntershausen wynosi 48,5 km²). Pomiar koncentracji możliwy jest dzięki zainstalowaniu próbnika, do którego podłączona jest sonda, uaktywniana po przekroczeniu pewnej wartości granicznej zmięcenia i pobiera próbki z cieku do butelek, o objętości 500 ml. Opisany próbnik został zainstalowany w drugim półroczu 2000 roku. Zdarzenia, które można było wykorzystać do analiz zgodnych z tematem pracy (a więc dla których dysponowano oprócz danych opad-odpływ wody, także danymi o odpływie rumowiska) pochodzą więc tylko z drugiego półroczu kalendarzowego 2000 roku.

Omówienie danych pomiarowych

Do analizy zgodnej z tematem pracy wykorzystano dane pomiarowe opad-odpływ-rumowisko unoszone dla 10-ciu wybranych zdarzeń (z okresu od VI do XII 2000 r.), zarejestrowanych w zlewni rzeki Bauny, w odstępach 5 minutowych.

Przy wyborze fal do analizy kierowano się następującymi kryteriami: wartość kulminacji przepływu powinna być dwukrotnie większa od przepływu wyznaczonego jako punkt początkowy wezbrania; wartość maksymalna przepływu powinna być większa od trzykrotnej wartości przepływu średniego, którego wartość wynosi ok. $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Średnią wysokość opadu w zlewni dla poszczególnych zdarzeń obliczano na podstawie danych pochodzących z trzech deszczomierzy, metodą wielokątów równego zadeszczenia (de Thiessena). W obliczeniach pominięto deszczomierz znajdujący się w bocznej części zlewni (deszczomierz Grossenritte), ponieważ uznano że ma on nieznaczący wpływ na średnie wartości opadów w zlewni.

Jak opisano przy charakterystyce zlewni przekrój pomiarowy koncentracji rumowiska znajduje się 4150 m powyżej przekroju rejestracji stanów wody. Do omawianej analizy procesu opad-odpływ-transport rumowiska unoszonego, hydrogram odpływu ustalony dla dolnego przekroju przetransformowano do przekroju górnego. Transformacja polegała na redukcji przepływu – przeprowadzonej proporcjonalnie do powierzchni zlewni oraz na korekcie czasu wystąpienia poszczególnych przepływów – przeprowadzonej na podstawie średniej prędkości odpowiadającej przepływowi w przekroju górnym i dolnym oraz odległości między tymi przekrojami. Pomierzone wartości koncentracji rumowiska w funkcji czasu (wyrażone w $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) przemnożono przez przepływy ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), uzyskując wartości unoszenia (wyrażone w $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$). Do obliczeń przyjęto wartości opadów, przepływów i unoszenia ustalone dla kroku czasowego $\Delta t = 0,5 \text{ h}$. Czasy opóźnienia obliczono, posługując się opracowanym w Katedrze Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW programem SN3 [BANASIK 1994b]. Czasowy rozkład opadu efektywnego wyznaczono metodą SCS (Soil Conservation Service), której ideę i jej przydatność do wyznaczenia hydrogramów opisują BANASIK i in. [2000]. Charakteryzuje się ona występowaniem strat początkowych, zmniejszającymi się wraz z czasem trwania deszczu. Przyjęta metoda rozdziału opadu na efektywny i straty, mającą wpływ na położenie środka ciężkości opadu efektywnego, a tym samym wartości czasów opóźnienia jest jedną z częściej stosowanych metod, oprócz metody funkcji wykładniczej [BANASIK, BARSZCZ 2001]. Za przyjęciem metody SCS do analiz zdecydowało to, że założeniem tej metody jest występowanie początkowych strat, co uważa się za zgodne z rzeczywistym przebiegiem procesu. Analiza miar zgodności hydrogramów pomierzonych i obliczonych wykazała nieznacznie lepszą ich zgodność przy zastosowaniu metody SCS. Czasowy rozkład wytwarzanego w zlewni rumowiska obliczono przy wykorzystaniu wcześniej opracowanego wzoru [BANASIK, WALLING 1996]. Wzór ma następującą postać:

$$Y_j = a \cdot \left(\sum_{i=1}^j \Delta H_i \cdot \Delta P_i^{b1} \right)^b \quad (4)$$

gdzie:

ΔP_i i ΔH_i – wysokość opadu i wysokość opadu efektywnego w i -tym przedziale czasowym (mm),

a , $b1$, b – parametry optymalizowane.

Podstawowe charakterystyki pomierzonych zdarzeń wraz z obliczonymi czasami opóźnień odpływu wody i rumowiska zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1; Table 1

Podstawowe charakterystyki analizowanych zdarzeń opad-opływ-rumowisko unoszone i wyznaczone dla nich czasy opóźnienia

The main characteristics of rainfall-runoff-suspended sediment events and their estimated lag times

Lp. No.	Data wystąpienia Date of occurrence	P ¹⁾ (mm)	H ²⁾ (mm)	Q _{max} ³⁾ (m ³ ·s ⁻¹)	Lag ⁴⁾ (h)	Lag ⁵⁾ (h)	Lag/Lag _s (-)
1	16.07.00	7,76	0,59	1,52	5,44	4,33	1,26
2	25.07.00	8,67	0,75	1,78	3,22	1,76	1,83
3	27.07.00	7,73	0,38	2,49	3,28	2,43	1,35
4	29.07.00	3,30	0,22	1,38	2,33	1,37	1,70
5	02.08.00	1,11	1,05	4,90	3,17	1,56	2,03
6	08.08.00	3,18	0,25	0,93	4,00	2,65	1,51
7	15.08.00	7,59	0,56	1,67	5,16	3,62	1,42
8	19.08.00	24,8	3,68	16,6	2,48	1,57	1,58
9	21.08.00	8,09	1,22	3,71	5,79	3,16	1,83
10	21.08.00	5,75	0,53	1,81	4,46	4,16	1,07
Zakres; Range		1,11–24,8	0,22–3,68	0,93–16,6	2,33–5,79	1,37–4,33	1,07–2,03
Średnia; Mean		7,80	0,92	3,67	3,93	2,66	1,56
Odchylenie standardowe Standard deviation		6,49	1,02	4,69	1,24	1,11	0,30

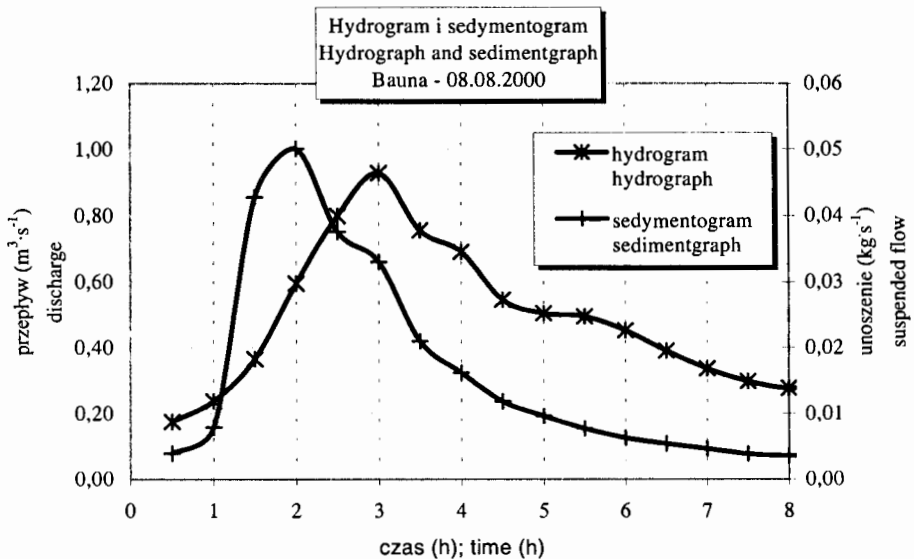
¹⁾ P – opad całkowity; rainfall

²⁾ H – opad efektywny; runoff

³⁾ Q_{max} – przepływ maksymalny; peak discharge

⁴⁾ Lag – czas opóźnienia odpływu wody; runoff lag time

⁵⁾ Lag_s – czas opóźnienia odpływu rumowiska; lag time of suspended sediment

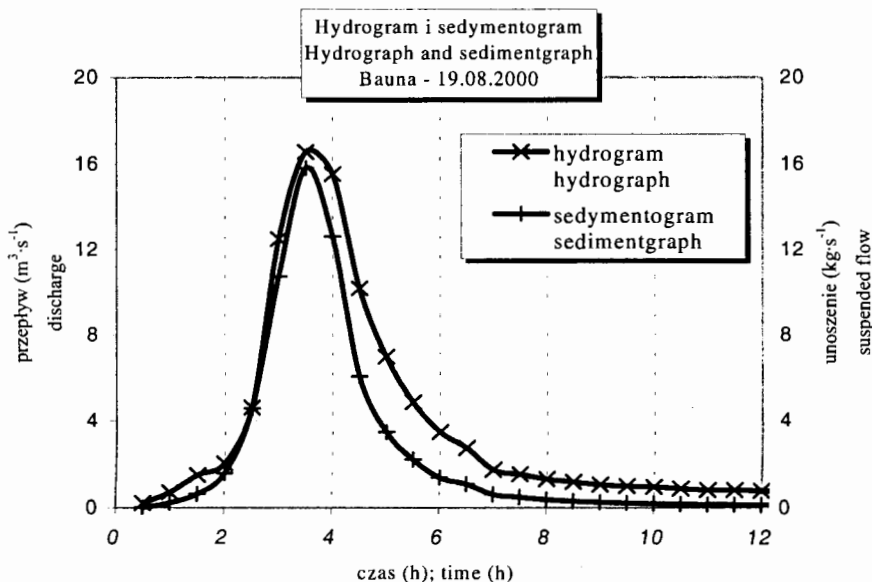


Rys. 3. Przykładowe zdarzenie, kiedy maksimum sedymentogramu występuje przed maksimum hydrogramu

Fig. 3. The example event, when peak of sedimentgraph occur earlier then peak of hydrograph

Wyniki i dyskusja

Pomierzone zdarzenia charakteryzowały się opadem P o wysokości od 1,11 mm do 24,8 mm oraz warstwą opadu efektywnego H od 0,22 mm do 3,68 mm. Przedstawiony w punkcie 1 opis zlewni, charakteryzującej się dużym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych i dużymi spadkami pozwala przypuszczać, że zlewnia charakteryzuje się wysokim potencjałem powstawania opadu efektywnego. Potwierdza to wysoka wartość uzyskanego parametru CN, który wahał się w granicach 84,2–99,9, przy wartości średniej 93,6 (nie zamieszczony w tabeli). Przepływy maksymalne zarejestrowanych zdarzeń wynoszą od $0,93 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ do $16,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Wyznaczone czasy opóźnienia odpływu wody ze zlewni rzeki Bauny wynoszą od 2,33 h do 5,79 h, przy wartości średniej 3,93 h i odchyleniu standardowym 1,24 h, Natomiast czasy opóźnienia odpływu rumowiska zawierają się w granicach od 1,37 h do 4,33 h przy wartości średniej 2,66 h i odchyleniu standardowym 1,11 h. Zasadniczym celem pracy, jak podano we wstępie, było wyznaczenie stosunku czasu opóźnienia odpływu wody i rumowiska. Średnia wartość tego stosunku, przy wykorzystaniu 10-ciu analizowanych zdarzeń wynosi 1,56, a odchylenie standardowe 0,30. Przeanalizowano także przedział ufności dla wartości średniej. Oczekiwana wartość, przy poziomie ufności o prawdopodobieństwie 90% zawiera się w tym przypadku w zakresie od 1,38 do 1,74. Wyznaczona wartość stosunku czasu opóźnienia odpływu wody i rumowiska pozwala obliczyć jeden z parametrów chwilowego sedymentogramu jednostkowego – parametr transportu rumowiska B.



Rys. 4. Przykładowe zdarzenie, kiedy maksimum sedymentogramu występuje w tym samym momencie co maksimum hydrogramu

Fig. 4. The example event, when the peak of sedimentgraph and the peak of hydrograph occur at the same moment

Szczegółowy opis idei wyznaczania parametrów IUSG (oprócz parametru B są nimi także parametry modelu Nasha: N, k) zawarty jest w pracy BANASIKA [1994a]. Wyznaczona dla tej zlewni wartość średnia stosunku $Lag : Lag_s$ może być wykorzystana do prognozy sedimentogramów w tej zlewni, oraz w innych małych zlewniach nieobserwowanych o zbliżonych charakterystykach. Środki ciężkości pomierzonych sedimentogramów, w każdym wypadku były bliżej położone w stosunku do początku układu współrzędnych, niż hydrogramów. Można to także stwierdzić przez wizualną ocenę wykresów tych zdarzeń. Spośród 10 analizowanych zdarzeń, w pięciu kulminacja sedimentogramu wyprzedziła kulminację hydrogramu odpływu bezpośredniego, a w pięciu wartości maksymalne (piki) hydrogramów i sedimentogramów wystąpiły w tym samym momencie. Przykładowy wykres reprezentujący przypadek kiedy pik sedimentogramu wyprzedza pik hydrogramu przedstawiono na rysunku 3, a kiedy położenie pików sedimentogramu i hydrogramu pokrywa się, przedstawiono na rysunku 4.

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń czasów opóźnienia odpływu wody – Lag i rumowiska – Lag_s z małej zlewni podgórskiej, położonej na terenie Niemiec, w Landzie Hesja (w pobliżu miasta Kassel). Zlewnia ta charakteryzuje się dużymi spadkami terenu, a także wysokim zurbanizowaniem (około 25% zlewni). Jej powierzchnia do badanego profilu wynosi 45 km². Analizę przeprowadzono na podstawie 10 zdarzeń opad-odpływ-rumowisko unoszone. Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia średniego dla zlewni stosunku Lag do Lag_s . Przeprowadzone pomiary i analizy wskazują, że:

- czas opóźnienia odpływu wody jest w każdym analizowanym przypadku dłuższy niż czas opóźnienia odpływu rumowiska,
- wartość średnia pierwszego z tych czasów opóźnienia wynosi 3,93 godz., a drugiego 2,66 godz.,
- średni stosunek czasu opóźnienia odpływu wody do czasu opóźnienia rumowiska wynosi 1,56, przy odchyleniu standardowym 0,30,
- wartość tego stosunku może być wykorzystana do obliczenia jednego z parametrów chwilowego sedimentogramu jednostkowego – parametru transportu rumowiska B, w badanej zlewni, jak i w innych zlewniach nieobserwowanych, o podobnych charakterystykach,
- w analizowanych zdarzeniach kulminacja sedimentogramu wyprzedziła w pięciu przypadkach kulminację hydrogramu, a w pozostałych pięciu pokryła się z nią.

Literatura

BANASIK K. 1994a. *Model sedimentogramu wezbrania opadowego w małej zlewni rolniczej*. Rozprawy Naukowe i Monografie, Wyd. SGGW: 83–89.

BANASIK K. 1994b. *Opis programu SN3*. Raport wewnętrzny. Kat. Budown. Wodnego SGGW: 10 ss.

BANASIK K., BARSZCZ M. 2001. *Wpływ metody wyznaczania opadu efektywnego na czas opóźnienia odpływu i parametry modelu opad-odpływ*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 477: 15–21.

BANASIK K., WALLING D.E. 1996. *Predicting sedimentgraphs for a small agricultural catchment*. Nordic Hydrology 27(4): 275–294.

BANASIK K., GÓRSKI D., IGNAR S. 2000. *Modelowanie wezbrań opadowych i jakości odpływu z małych nieobserwowanych zlewni rolniczych*. Wyd. SGGW: 18–23.

RÖTTCHER K. 2001. *Hochwasserschutz für kleine Einzugsgebiete im Mittelgebirge am Beispiel der Bauna. Kasseler Wasserbau – Mitteilungen Heft 11/2001*. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft.

SOBIREY A., TÖNSMANN F. 2001. *Schwebstoffmessungen zur Prognose morphologischer Änderungen in einem Mittelgebirgsfließgewässer*. Kasseler Wasserbau – Forschungsberichte Band 14/2001. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft. P 003.

WILLIAMS J.R. 1978. *A sediment graph model based on an instantaneous unit sediment graph*. Water Resources Research 14(4): 659–664.

Podziękowanie

Przeprowadzenie prezentowanych badań było możliwe dzięki wsparciu finansowemu Niemieckiej Służby Wymiany Akademickiej (Deutscher Akademischer Austauschdienst) w postaci 3 miesięcznego stypendium, przyznanego pierwszemu autorowi, na pobyt w Uniwersytecie w Kassel w 2001 roku. Autorzy artykułu wyrażają podziękowania prof. F. Tönsmannowi za udostępnienie danych do analizy, oraz mgr A. Sobireyowi za konsultacje przy analizie danych.

Słowa kluczowe: czas opóźnienia odpływu wody, czas opóźnienia odpływu rumowiska unoszonego, chwilowy sedimentogram jednostkowy

Streszczenie

W pracy przedstawione są wyniki analizy 10 zdarzeń opad-odpływ-rumowisko unoszone, zarejestrowanych w zlewni rzeki Bauny, przez Uniwersytet w Kassel. Miała ona na celu ustalenie związku pomiędzy czasem opóźnienia odpływu wody (Lag) i rumowiska (Lag_s). Pierwszy z nich definiowany jest jako odległość pomiędzy środkiem ciężkości hietogramu opadu efektywnego a środkiem ciężkości hydrogramu odpływu bezpośredniego, a drugi jako odległość pomiędzy środkami ciężkości wykresu obrazującego czasowy rozkład wytwarzanego w zlewni rumowiska i wykresu sedimentogramu. Badana zlewnia jest mała, podgórska zlewnią znajdująca się na terenie Niemiec, w pobliżu miasta Kassel. We wszystkich 10-ciu analizowanych zdarzeniach czas opóźnienia odpływu wody był dłuższy niż czas opóźnienia odpływu rumowiska. Średnia wartość stosunku Lag : Lag_s wynosi 1,56. Wartość tego stosunku może być wykorzystana do obliczenia jednego z parametrów chwilowego sedimentogramu jednostkowego – parametru transportu rumowiska B, w badanej zlewni, jak i w innych zlewniach nieobserwowanych, o podobnych charakterystykach.

RUNOFF LAG TIME AND LAG TIME OF SUSPENDED SEDIMENT IN A SMALL, UPLAND WATERSHED

Mariusz Barszcz, Kazimierz Banasik

Department of Hydraulic Engineering and Environment Recultivation,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: runoff lag time, lag time of suspended sediment, instantaneous unit sedimentgraph

Summary

On the basis of ten recorded rainfall-runoff-suspended sediment events in a small, upland catchment of the Bauna river a ratio of runoff lag time (Lag) and lag time of sediment flow (Lag_s) was analysed. The first of them is defined as the elapsed time between the occurrence of centroid of effective rainfall and the storm runoff hydrographs. The last one is defined as the elapsed time between the occurrence of centroid of sediment production during a storm event and the observed sedimentgraph at the gauging station. The investigated watershed is located near town Kassel in Germany. In each of 10 analysed events the runoff lag time was longer then the lag time of suspended sediment. Mean value of the 10 ratio Lag/Lag_s was 1.65.

Mgr inż. Mariusz Barszcz
Katedra Inżynierii Wodnej i Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA
e-mail: Barszcz@alpha.sggw.waw.pl