

VANESSA COGLIANDRO, ADAM KRAJEWSKI, AGNIESZKA RUTKOWSKA, PAOLO PORTO, KAZIMIERZ BANASIK

Wpływ pożaru lasu na czas opóźnienia odpływu bezpośredniego wód opadowych z małej zlewni w Kalabrii

Effect of forest fire on lag time of direct runoff of rainfall in a small catchment in Calabria

ABSTRACT

Cogliandro V., Krajewski A., Rutkowska A., Porto P., Banasik K. 2017. Wpływ pożaru lasu na czas opóźnienia odpływu bezpośredniego wód opadowych z małej zlewni w Kalabrii. Sylwan 161 (8): 677-684.

Hydrological processes in forested areas such as runoff and erosion after heavy rainfalls are sensitive to changes in land surface properties that can be significantly modified by fire. Rainfall-runoff events recorded in a small forested catchment in Calabria (southern Italy), of area of 1.36 hectare, in the period of 2014-2015, were analyzed to check differences in lag time of direct runoff, i.e. the basic characteristics in rainfall-runoff modelling, before and after the forest fire. Lag time, defined as the elapsed time between the occurrence of the centroids of the effective rainfall intensity hyetograph and the storm runoff hydrograph, was computed with the use of two methods of effective rainfall estimation, i.e. CN-SCS (Soil Conservation Service) and Duband method. In the first one effective rainfall starts after no runoff period, when rain water is used for interception, filling local depressions and high infiltration. In the other one, effective rainfall starts at the beginning of rain and then increases more gentle than in the first method. The results show that in response to the forest fire, the average lag time was reduced to 28% of the average value representative for original conditions when CN-SCS method was used (from 0.530 h before the forest fire to 0.145 h after the fire) and to 38% when the other method was used (from 0.637 h to 0.243 h, respectively). Significance of the differences in lag time was confirmed statistically with Mann-Whitney U test. The results of the investigation, i.e. reduction of lag time, and in consequence higher value and earlier appearance of peak discharge, confirm the thesis that forest fire would increase the risk of flood flows.

KEY WORDS

forest hydrology, forest fire, rainfall-runoff, lag time

ADDRESSES

Vanessa Cogliandro ⁽¹⁾, Adam Krajewski ⁽²⁾, Agnieszka Rutkowska ⁽³⁾, Paolo Porto ⁽¹⁾
Kazimierz Banasik ⁽²⁾ – e-mail: kazimierz_banasik@sggw.pl

⁽¹⁾ Department of Agro-Forestry and Environmental Sciences and Technologies, University Mediterranea of Reggio Calabria; Feo di Vito, 89122 Reggio Calabria, Włochy

⁽²⁾ Katedra Inżynierii Wodnej, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa

⁽³⁾ Katedra Zastosowań Matematyki, Uniwersytet Rolniczy; ul. Balicka 253C, 30-198 Kraków

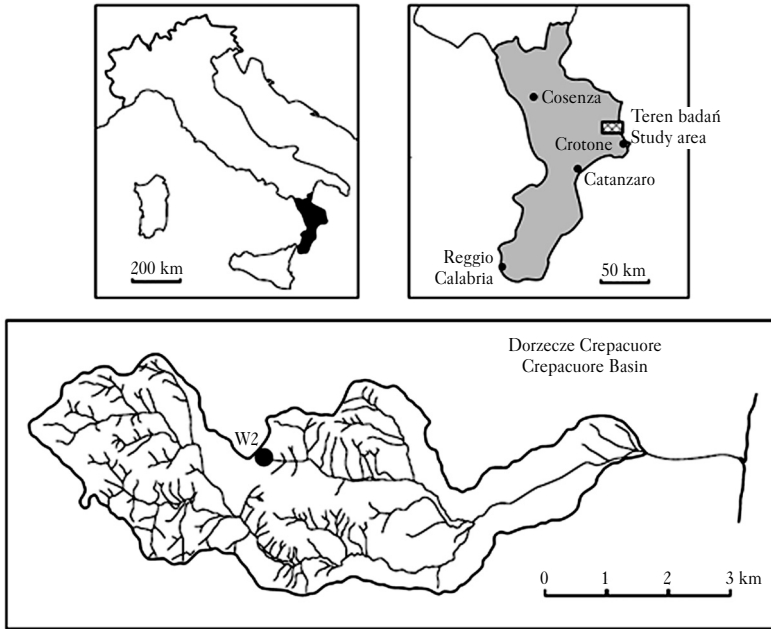
Wstęp

Pożary lasów znacząco zmieniają przebieg procesów hydrologicznych, w tym formowania się wezbrań. W wyniku zniszczenia drzewostanu, podszycia i ściółki następuje redukcja możliwości retencjonowania wody przez poszczególne warstwy lasu, narażenie gleby na bezpośrednie oddziaływanie erozyjności deszczy i zwiększoną ilość wody opadowej docierającej do powierzchni gleby. To z kolei zwiększa ilość i prędkość spływu powierzchniowego oraz intensywność procesów erozyjnych, a także wpływa na wielkość wezbrań i ilość transportowanego rumowiska rzecznoego [Candela i in. 2005; Rulli, Rosso 2007; Yochum, Norman 2015]. Leopardi i Scorzini [2014], powołując się na wyniki badań procesu opad-odpływ w zlewniach leśnych przeprowadzonych przed i po wystąpieniu pożarów, wskazują, że wzrost przepływów kulminacyjnych jest po pożarach zwykle wyższy niż wzrost objętości odpływu [Hessling 1999; McLin i in. 2001; Moody, Martin 2001; Canfield i in. 2005]. Wynika to z faktu, że na wzrost przepływu kulminacyjnego wpływa zarówno wzrost ilości odpływającej wody, jak i zwiększona prędkość spływu po stokach i przepływu w ciekach [Banasik, Byczkowski 1996; Banasik 2011]. Zwiększone prędkości spływu powodują z kolei skrócenie czasu opóźnienia odpływu (tj. średniego czasu upływającego od wytworzenia opadu efektywnego, będącego synonimem warstwy odpływu bezpośredniego, do momentu osiągnięcia przekroju zamykającego zlewnię), który jest podstawową charakterystyką w modelowaniu procesu opad-odpływ [Jin 1993; Banasik, Hejduk 2014].

Przedmiotem pracy jest analiza zdarzeń opad-odpływ zarejestrowanych przed i po wystąpieniu pożaru w małej zalesionej zlewni górskiej ($A=1,38$ ha) w Kalabrii (Włochy), mająca na celu określenie zmiany czasu opóźnienia odpływu wód wezbraniowych w wyniku pożaru lasu przy wykorzystaniu dwóch metod wyznaczania opadu efektywnego. Czas opóźnienia odpływu jest kluczowym elementem potrzebnym do prognozowania wezbrań i wyznaczania przepływów maksymalnych, a w konsekwencji także do wymiarowania i projektowania obiektów infrastruktury technicznej, jak mosty, przepusty czy jazy [Loukas, Quick 1996; Krajewski, Banasik 2013; Krajewski i in. 2014]. Dodatkowo wielkość ta wykorzystywana bywa do modelowania transportu rumowiska unoszonego w małych zlewniach rzecznych [Banasik 1994; Banasik, Walling 1996]. Czas opóźnienia odpływu (lag time) definiowany jest jako odległość wyrażona w czasie pomiędzy środkiem ciężkości hietogramu opadu efektywnego i hydrogramu odpływu bezpośredniego [Jin 1993; Sikorska, Banasik 2008; Banasik, Hejduk 2014]. Na wartość czasu opóźnienia wpływają charakterystyki zlewni (powierzchnia, sposób użytkowania, rodzaj gleb, topografia terenu), jak i charakterystyki opadu (wysokość, czas trwania, zmienność obszarowa oraz czasowa). Względnie krótki czas opóźnienia jest obserwowany w zlewniach miejskich, gdzie znaczny udział powierzchni nieprzepuszczalnych, o mniejszej szorstkości terenu, wpływający także na zwiększoną ilość odpływu, wywołuje zwiększenie prędkości spływu powierzchniowego [Sikorska, Banasik 2010]. Tereny leśne, dzięki retencyjnym właściwościom poszczególnych warstw lasu, a także dzięki dużej szorstkości powierzchni, wpływają na wydłużenie czasu opóźnienia odpływu [Karabová i in. 2012], a tym samym na łagodzenie przepływów kulminacyjnych. Konsekwencją pożaru lasów jest upodobnienie przebiegu procesu opad-odpływ do tego, jaki zachodzi w zlewni zurbanizowanej.

Materiał i metody

OBSZAR BADAŃ. Od lat 60. ubiegłego wieku w Kalabrii (południowe Włochy) prowadzone są zalesienia (sosnami oraz eukaliptusami), których celem jest ograniczenie procesów erozji gleby. W 1978 roku zapoczątkowano w ramach programu finansowanego przez Włoską Narodową Radę Naukową badania terenowe w niewielkiej, eksperymentalnej zlewni, oznaczonej jako W2 (ryc. 1), położonej w pobliżu miejscowości Crotone ($39^{\circ}09'02''N$, $17^{\circ}08'10''E$), aby ocenić wpływ przyrostu powierzchni



Ryc. 1.

Lokalizacja zlewni badawczej W2

Locality of the research catchment W2

leśnych na obieg wody oraz wydatek rumowiska [Porto i in. 2003, 2005, 2014]. Zlewnia W2 ma powierzchnię 1,38 ha oraz średni spadek równy 35%. Stanowi ona efemeryczny fragment znacznie większej zlewni Crepacuore. Pierwotnie całą zlewnię W2 pokrywały naturalne łąki, w 1968 roku została ona obsadzona eukaliptusami (*Eucalyptus occidentalis*). W latach 1978 oraz 1990 wycinano drzewa w celu pozyskania drewna. Obecnie gęstość pokrycia leśnego jest niejednorodna. Około 20% północnej części zlewni pokrywają trawy i pojedyncze drzewa, pozostała część jest zalesiona. W strukturze gleb dominują utwory powstałe na iłach (49,2%), glinach (36,2%) oraz piaskach (14,6%). Klimat Kalabrii jest typowy dla obszaru śródziemnomorskiego. W analizowanej zlewni opad normalny z okresu 1954-2012 wynosi 670 mm, deszcze padają głównie od października do marca. Opady w zlewni są monitorowane przy pomocy deszczomierza korytkowego. Odpływ jest ustalany na podstawie ciągłego zapisu stanów wody oraz charakterystyki hydraulicznej przelewu pomiarowego (H-flume structure). W sierpniu 2014 roku w zlewni W2 doszło do pożaru. Wypaleniu uległa także ściółka leśna, co spowodowało odsłonięcie wierzchniej warstwy gleby.

DANE POMIAROWE. Rejestracja ciągła opadów i stanów wody w przekroju zamykającym zlewnię W2 w latach 2014-2015 umożliwiła wyselekcjonowanie 10 zdarzeń, w których stwierdzono wyraźną reakcję zlewni w postaci pojedynczego wezbrania, wykorzystanych w analizie procesu opad-odpływu [Mitchell i in. 2001; Sikorska, Banasik 2008; Krajewski, Banasik 2013]. Spośród wyselekcjonowanych zdarzeń opad-odpływ zarejestrowano przed pożarem w roku 2014 trzy zdarzenia, a po wystąpieniu pożaru – w roku 2015 – siedem zdarzeń. Pomierzone warstwy opadu i odpływu przedstawione zostały w tabeli 1. Średnia wysokość opadu analizowanych zdarzeń wyniosła 14,1 mm, a współczynnik odpływu, tj. stosunek warstwy odpływu do warstwy opadu, zmieniał się w zakresie od 0,218 do 0,585. Dane pomiarowe – hietogramy opadu i hydrogramy odpływu – wykorzystano do ustalenia czasu opóźnienia odpływu.

Tabela 1.

Warstwy opadu (P [mm]) i odpływu (H [mm]) oraz współczynnik odpływu (c) zarejestrowane w zlewni W2
 Rainfall (P [mm]) and runoff (H [mm]) depths as well as runoff coefficient (c) registered in the catchment W2

	P	H	c=H/P
1.02.2014	24,8	8,2	0,331
1.02.2014	6,6	1,4	0,218
2.02.2014	27,0	15,8	0,585
8.03.2015	9,4	3,2	0,335
8.03.2015	9,0	4,9	0,541
8.03.2015	25,2	14,6	0,578
8.03.2015	9,0	3,1	0,347
9.03.2015	6,8	1,0	0,143
12.03.2015	8,0	3,3	0,408
25.03.2015	15,0	4,3	0,284
Zakres Range	6,8-24,8	1,0-15,8	0,218-0,585

WYZNACZENIE CZASU OPÓŹNIENIA ODPLYWU. Czas opóźnienia ustalony został metodą momentów statystycznych (ryc. 2) z zależności:

$$Lag = M_{1Q} - M_{1P} \quad [1]$$

gdzie:

Lag – czas opóźnienia [h],

M_{1Q} – pierwszy moment statystyczny hydrogramu odpływu bezpośredniego [h],

M_{1P} – pierwszy moment statystyczny hietogramu opadu efektywnego [h].

Ze względu na to, że cieki w zlewni W2 mają charakter okresowy i są zasilane jedynie przez opady, jako hydrogramy odpływu bezpośredniego przyjęto pomierzone hydrogramy wezbrania (bez wydzielenia odpływu gruntowego).

Hietogramy opadu efektywnego ustalono na podstawie dwóch metod: CN-SCS [National... 1972] oraz metody Dubanda [Guillot, Duband 1978] (ryc. 3). W pierwszej metodzie przyjmuje się, że w początkowej fazie trwania opadu występuje okres bezodpływowy, dopóki warstwa opadu nie przekroczy strat początkowych (tj. warstwy opadu zużywanej na intercepcję, zwilżenie ściółki i powierzchni gleby, wsiąkanie początkowe oraz parowanie). Wysokość opadu efektywnego oblicza się ze wzoru:

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

gdzie:

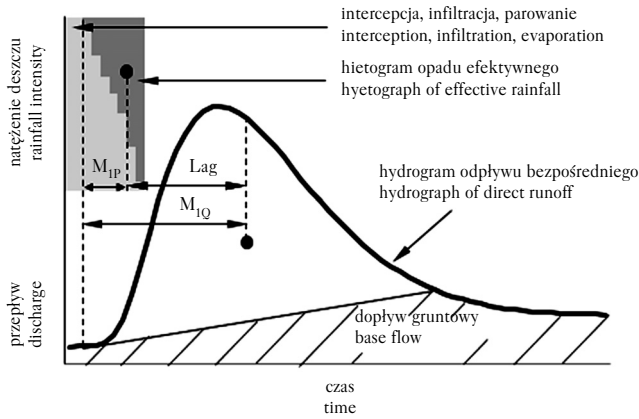
H_j – suma opadu efektywnego od czasu t_0 do czasu t_j [mm],

ΔH_i – cząstkowy opad efektywny [mm],

P_j – suma opadu całkowitego od czasu t_0 do czasu t_j [mm],

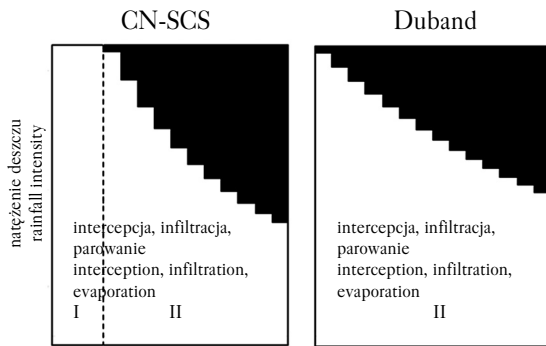
S – maksymalna potencjalna retencja zlewni [mm].

Wielkość S w zlewniach nieobserwowanych ustala się na podstawie rodzaju gleby i sposobu użytkowania terenu, natomiast w zlewniach obserwowanych – na podstawie wyników pomiarów opad-odpływ [Hawkins i in. 2009; Banasik i in. 2014] z zależności:



Ryc. 2.

Schemat ideowy obliczenia czasu opóźnienia odpływu (Lag) metodą momentów statystycznych
 Schematic representation of lag time (Lag) estimation with the use of the method of moments
 M_{IP} – pierwszy moment statystyczny opadu efektywnego, M_{IQ} – pierwszy moment statystyczny odpływu bezpośredniego
 M_{IP} – first statistical moment of effective rainfall, M_{IQ} – first statistical moment of direct runoff



Ryc. 3.

Schemat ideowy wyznaczanie hietogramu opadu efektywnego metodą CN-SCS oraz Dubanda
 Schematic representation of estimation of effective rainfall hyetograph according to CN-SCS and Duband method
 I – okres bez opadu efektywnego, II – okres z opadem efektywnym
 I – period without effective rainfall, II – period with effective rainfall

$$S = 5 \cdot (P + 2 \cdot H - \sqrt{4 \cdot H^2 + 5 \cdot P \cdot H}) \quad [3]$$

gdzie:

- P – wysokość opadu [mm],
- H – wysokość odpływu [mm].

W metodzie Dubanda, zakłada się, że wraz z początkiem opadu całkowitego występuje odpływ bezpośredni, a wysokość opadu efektywnego oblicza się ze wzoru:

$$H_j = \sum_{i=1}^j \Delta H_i = P_j - b \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{P_j}{b}\right) \right] \quad [4]$$

gdzie:

- P_j – suma opadu całkowitego od czasu t_0 do czasu t_j [mm],
- H_j – suma opadu efektywnego od czasu t_0 do czasu t_j [mm],
- b – parametr równania [mm], optymalizowany na podstawie pomierzonych warstw opadu i odpływu.

Czas opóźnienia odpływu obliczono za pomocą autorskiego programu komputerowego SN napisanego w języku FORTRAN w Katedrze Inżynierii Wodnej SGGW [Banasik 1994]. Złożoność procesu opad-odpływ, w tym zróżnicowanie obszarowe natężenia deszczu, zmienność w czasie, a także zróżnicowane uwilgotnienie zarówno gleby, jak i poszczególnych warstw lasu powoduje, że analizowany czas opóźnienia odpływu przed wystąpieniem pożaru i po pożarze różni się (tab. 2). Dlatego do porównania czasu reakcji zlewni na opad (czasu opóźnienia odpływu) przed pożarem i po wystąpieniu pożaru wykorzystane są średnie wartości.

Wyniki i dyskusja

Średni czas opóźnienia odpływu ze zlewni o powierzchni 1,36 ha przed wystąpieniem pożaru wyniósł 0,530 godziny (około 32 minuty) przy zastosowaniu metody CN-SCS wyznaczania opadu efektywnego i 0,637 godziny (około 38 minut) przy zastosowaniu metody Dubanda. Po wystąpieniu pożaru charakterystyka ta uległa skróceniu i wyniosła odpowiednio 0,145 godziny (około 9 minut) i 0,243 godziny (około 15 minut). Istotność różnic w czasie opóźnienia odpływu przed pożarem i po pożarze dla każdej z wybranych metod wyznaczania opadu efektywnego potwierdzono statystycznie, stosując test U Manna-Whitneya przy $\alpha=0,1$. Stwierdzono także, że istnieją różnice między wartościami uzyskanymi w obu metodach po pożarze.

Przedstawione wyniki wskazują, że w wyniku pożaru czas opóźnienia odpływu uległ skróceniu do około 28% wartości odpowiadającej warunkom naturalnym przy zastosowaniu metody CN-SCS wyznaczania opadu efektywnego (z 0,530 do 0,145 godziny) oraz do około 38% przy zastosowaniu drugiej metody (z 0,637 do 0,243 godziny). Wartości tych, uzyskanych dla małej zlewni górskiej, nie można bezkrytycznie przenosić do zlewni o innych warunkach fizjograficznych, w tym różniących się znacznie powierzchnią, z uwagi na efekt skali. Niemniej różnice

Tabela 2.

Czas opóźnienia odpływu [h] w zlewni W2 przed pożarem i po pożarze określony z zastosowaniem dwóch metod wyznaczania opadu efektywnego

Runoff lag time [h] in the W2 catchment prior (Przed) and post (Po) fire determined with the use of two methods of effective rainfall estimation

	Przed		Po	
	CN-SCS	Duband	CN-SCS	Duband
1.02.2014	0,383	0,496		
1.02.2014	0,705	0,824		
2.02.2014	0,503	0,592		
8.03.2015			0,153	0,191
8.03.2015			0,050	0,078
8.03.2015			0,034	0,109
8.03.2015			0,173	0,243
9.03.2015			0,073	0,318
12.03.2015			0,467	0,522
25.03.2015			0,066	0,241
Zakres Range	0,383-0,705	0,496-0,824	0,050-0,467	0,078-0,522
Średnia Mean	0,530	0,637	0,145	0,243
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,163	0,169	0,151	0,148

w czasie opóźnienia odpływu przed pożarem i po pożarze, mogące przyjmować znacznie większe wartości bezwzględne w dużych zlewniach, mają kluczowe znaczenie w formowaniu się odpływu bezpośredniego (interpretowanego także czasami jako odpływ powierzchniowy), powodując zarówno przyspieszenie kulminacji odpływu ze zlewni, jak i wzrost przepływu kulminacyjnego. Zmiany te mają duże znaczenie praktyczne. Przyspieszenie wystąpienia kulminacji w przypadku wezbrań powodziowych w dużych zlewniach znacznie skraca czas na ewakuację z terenów zagrożonych powodzią, natomiast wzrost przepływów kulminacyjnych, szczególnie wezbrań o niskim prawdopodobieństwie przewyższenia (w tym przepływów maksymalnych obliczeniowych), stwarza zagrożenie uszkodzenia obiektów infrastruktury technicznej (jazdy, zastawki czy brody) oraz komunikacyjnych (mosty, przepusty) zlokalizowanych na ciekach w obszarach leśnych.

Wnioski

- ✦ W wyniku pożaru lasu następuje istotne skrócenie czasu opóźnienia odpływu, tj. czasu upływającego od wystąpienia opadu efektywnego do osiągnięcia przez odpływ bezpośredni przekroju zamykającego zlewnię.
- ✦ Efektem skrócenia czasu opóźnienia odpływu w wyniku pożaru lasu jest wzrost kulminacji przepływów wezbraniowych, a także przyspieszenie wystąpienia przepływów kulminacyjnych. Może to powodować, że przepustowość istniejących obiektów hydrotechnicznych i komunikacyjnych na ciekach będzie niewystarczająca.
- ✦ Uzyskane różne wartości skrócenia czasu opóźnienia odpływu – do około 28% wartości odpowiadającej warunkom naturalnym przy zastosowaniu metody CN-SCS wyznaczania opadu efektywnego i do około 38% przy zastosowaniu metody Dubanda – wskazują na potrzebę kontynuowania badań dla oceny i wyboru metody odpowiadającej rzeczywistemu przebiegowi procesu formowania się odpływu.

Literatura

- Banasik K. 1994. Model sedymentogramu wezbrania opadowego w malej zlewni rolniczej. Rozprawy Naukowe i Monografie. T. 191. SGGW w Warszawie, Warszawa.
- Banasik K. 2011. Catchment responses to heavy rainfall events in a changing environment. W: Banasik K., Øygarden L., Hejduk L. [red.]. Prediction and reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas: case study of small agricultural catchments. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 61-74.
- Banasik K., Byczkowski A. 1996. Ocena wpływu zmian zalesienia malej zlewni na wielkość hydrogramów wezbrań przy zastosowaniu modelu opad-opływ. Wiadomości IMGW 19 (1): 95-105.
- Banasik K., Hejduk A. 2014. Ratio of basin lag times for runoff and sediment yield processes recorded in various environments. W: Xu Y. J., Allison M. A., Bentley S. J., Collins A. L., Erskine W. D., Golosov V., Horowitz A. J., Stone M. [red.]. Sediment Dynamics From the Summit To the Sea. IAHS Publ. 367: 163-169.
- Banasik K., Krajewski A., Sikorska A., Hejduk L. 2014. Curve Number estimation for a small urban catchment from recorded rainfall-runoff events. Archives of Environmental Protection 40 (3): 75-86.
- Banasik K., Walling D. E. 1996. Predicting sedimentgraphs for a small agricultural catchment. Nordic Hydrology 27 (4): 275-294.
- Candela A., Aronica G., Santoro M. 2005. Effects of forest fires on flood frequency curves in a Mediterranean catchment. Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques 50: 193-206.
- Canfield H. E., Goodrich D. C., Burns I. S. 2005. Selection of parameters values to model post-fire runoff and sediment transport at the watershed scale in Southwestern Forests. Proceedings of the 2005 Watershed Management Conference – Managing Watersheds for Human and Natural Impacts: Engineering, Ecological, and Economic Challenges. ASCE.
- Guillot P., Duband D. 1978. Fonction de transfert pluie-debit sur des bassins versants de l'ordre de 1000 km. Societé Hydrotechnique de France, Paris. Session des 21-22.11.1978.
- Hawkins R. H., Ward T. J., Woodward D. E., Van Mullem J. A. [red.]. 2009. Curve Number Hydrology: State of the Practice. American Society of Civil Engineers.
- Hessling M. 1999. Hydrological modelling and a pair basin study of Mediterranean catchments. Physics and Chemistry of the Earth Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere 24: 59-63.

- Jin C. X. 1993. Determination of basin lag time in rainfall-runoff investigations. *Hydrological Processes* 7 (4): 449-457. DOI: 10.1002/hyp.3360070408.
- Karabová B., Sikorska A. E., Banasik K., Kohnová S. 2012. Parameters determination of a conceptual rainfall-runoff model for a small catchment in Carpathians. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Land Reclamation* 44 (2): 155-162.
- Krajewski A., Banasik K. 2013. Czas reakcji zlewni zurbanizowanej na opady wywołujące wezbrania. *Acta Sci. Pol. – Architectura* 12 (4): 135-146.
- Krajewski A., Lee H., Hejduk L., Banasik K. 2014. Predicted small catchment responses to heavy rainfalls with SEGMO and two sets of model parameters. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Land Reclamation* 46 (3): 2014: 205-220.
- Leopardi M., Scorzini A. 2014. Effects of wildfires on peak discharges in watersheds. *Iforest-BiogeoSciences and Forestry* 8: 302-307.
- Loukas A., Quick M. 1996. Physically-based estimation of lag time for forested mountainous watersheds. *Hydrological Sciences Journal* 41 (1): 1-18.
- McLin S., Springer E., Lane L. 2001. Predicting floodplain boundary changes following the Cerro Grande Wildfire. *Hydrological Processes* 15: 2967-2980.
- Mitchell J. K., Banasik K., Hirschi M. C., Cooke R. A. C., Kalita P. 2001. There is not always surface runoff and sediment transport. W: Ascough J. C., Flanagan D. C. [red.]. *International Symposium on Soil Erosion Research for the 21st Century*. 575-578.
- Moody J., Martin D. 2001. Post-fire, rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA. *Hydrological Processes* 15: 2981-2993.
- National Engineering Handbook. Sec 4. *Hydrology*. 1972. USDA, Washington.
- Porto P., Walling D. E., Alewell C., Callegari G., Mabit L., Mallimo N., Meusburger K., Zehringer M. 2014. Use of a ¹³⁷Cs re-sampling technique to investigate temporal changes in soil erosion and sediment mobilisation for a small forested catchment in southern Italy. *Journal of Environmental Radioactivity* 138: 137-148.
- Porto P., Walling D. E., Callegari G. 2005. Investigating sediment sources within a small catchment in Southern Italy. *IAHS Publ.* 291: 113-122.
- Porto P., Walling D. E., Ferro V., Di Stefano C. 2003. Validating erosion rate estimates by caesium-137 measurements for two small forested catchments in Calabria, Southern Italy. *Land Degradation and Development* 14: 389-408.
- Rulli M. C., Rosso R. 2007. Hydrologic response of upland catchments to wildfires. *Advances in Water Resources* 30: 2072-2086.
- Sikorska A., Banasik K. 2008. Wyznaczenie czasu opóźnienia odpływu bezpośredniego w zlewni Potoku Służewieckiego na podstawie danych pomiarowych. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 4 (42): 19-29.
- Sikorska A., Banasik K. 2010. Parameter identification of a conceptual rainfall-runoff model for a small urban catchment. *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation* 42 (2): 279-293.
- Yochum S. E., Norman J. B. 2015. Wildfire-induced flooding and erosion-potential modeling: Examples from Colorado 2012 and 2013. 5th Federal Interagency Hydraulic Modeling Conference April 19-23, 2015. Peppermill Hotel, Reno, Nevada, USA.