INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 7/2008, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 81–87
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Antoni Tadeusz Miler

WPŁYW ZABUDOWY CIEKU W MAŁEJ ZLEWNI LEŚNEJ NA JEJ ZDOLNOŚCI RETENCYJNE

RESULT OF THE WATERCOURSE DEVELOPMENT IN A SMALL FOREST CATCHMENT ON ITS RETENTION CAPACITY

Streszczenie

Badania terenowe prowadzono w małej zlewni leśnej znajdującej się na Pojezierzu Krajeńskim, na terenie Nadleśnictwa Lipka w leśnictwie Biskupice. Powierzchnia zlewni wynosi 182 ha, z czego 95% to tereny leśne, pozostałe 5% stanowią grunty orne i łąki. Pomiary terenowe obejmowały ciągłą rejestrację stanów wody w cieku na przelewie Thomsona i cotygodniowe pomiary stanów wody gruntowej w dziesięciu studzienkach. W trakcie badań dokonano zabudowy cieku poprzez wybudowanie na nim sześciu urządzeń piętrzących – zastawek stałych. Współczynnik odpływu rocznego z badanej zlewni wynosi 0,330. Potwierdza to zasadność zabudowy badanego cieku w celu utworzenia tzw. małej retencji. Nie stwierdzono jednak wyraźnego wpływu zabudowy cieku na składniki bilansu wodnego zlewni. Najwyraźniej wpływ zabudowy cieku można wykazać, analizując odpływy wezbraniowe. Poddano więc analizie 14 zaobserwowanych fal wezbraniowych, 6 „przed" i 8 „po" zabudowie cieku. Każdą falę wezbraniową opisano konceptualnym modelem Nasha. Przyjęto stałą liczbę zbiorników w kaskadzie równą 2. Średnie wartości stałych czasowych dla fal wezbraniowych „po" zabudowie cieku były o około 50% większe niż dla fal „przed" zabudową cieku. W konsekwencji można postawić hipotezę, iż czas przebywania wód wezbraniowych w zlewni na skutek zabudowy cieku zastawkami został istotnie wydłużony. Wydaje się zatem zasadne zastosowanie w programach małej retencji w lasach wykonywania zabudowy cieków systemami małych, prostych zastawek.

Słowa kluczowe: zlewnie leśne, mała retencja, modelowanie odpływu

Summary

The field investigations were carried out in a small forest catchment situated in the area of the Krajeńskie Lakeland, in the Lipka Forest District, the Biskupice Forest Range. The catchment covers the area of 182ha; 95% is covered by forests and 5% by arable land and meadows. The field measurements comprised a continuous recording of the course water levels at the Thompson's overflow and weekly measurements of groundwater levels in ten wells. Construction development was introduced on the area of the watercourse during the conducted research: six damming devices (installations) constant weirs-were constructed there. The annual outflow coefficient from the catchment in focus equals to 0.330. It confirms the necessity of developing the discussed watercourse in order to create the so-called small retention. However, no significant influence was found of the development on the water balance components of the catchment. The influence of the watercourse bank development can be clearly described conducting an analysis of direct runoffs. 14 recorded high water waves were subject to analysis; 6 prior to the development and 8 following it. Each of the waves was described applying Nash's conceptual model. A constant number of 2 reservoirs in a cascade was assumed. Means of time-constants for high water waves after the development were higher by approx. 50% than for the waves prior to the construction. Resulting from it a hypothesis can be constructed here stating that the time of runoff water deposition in the catchment as a result of the weirs development was significantly prolonged. It can be thus assumed that systems of small and basic weirs should be applied in forest small retention programmes.

Key words*: forest catchments, small retention, runoff modelling*

WSTĘP

Na terenie prawie całej Polski, w tym także na terenach leśnych, występują niedobory wody wynikające z niekorzystnych bilansów wodnych. W konsekwencji może to doprowadzić do degradacji niektórych siedlisk leśnych, np. szczególnie cennych dla utrzymania bioróżnorodności leśnych siedlisk mokradłowych. Próbuje się temu niekorzystnemu zjawisku przeciwdziałać poprzez programy małej retencji. Syntetycznie ujmując, działania w ramach tych programów mają spowodować wydłużenie drogi i czasu obiegu wody w zlewniach z jednoczesnym zapewnieniem samooczyszczania się tychże wód.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie jak zabudowa cieku kaskadą zastawek wpływa na zmianę odpływu w małej zlewni leśnej położonej na Pojezierzu Krajeńskim. Najwyraźniej można ocenić taką zmianę odpływu poprzez analizę obserwowanych wezbrań przed i po zabudowie cieku. W celu efektywnej analizy wezbrań zaproponowano do ich opisu model Nasha. Opady efektywne dla poszczególnych wezbrań obliczono na podstawie współczynników odpływów wezbraniowych, tzn. ilorazów wskaźników odpływu wezbraniowego i sum opadów powodujących wezbrania.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2004–2006 prowadzono pomiary hydrologiczne w małej zlewni znajdującej się na Pojezierzu Krajeńskim, na terenie Nadleśnictwa Lipka w leśnictwie Biskupice [Miler i in. 2008, rozdz. 12]. Pomiary te obejmują ciągłą rejestrację stanów wody w cieku na przelewie Thomsona i cotygodniowe pomiary stanów wody gruntowej w dziesięciu studzienkach. Powierzchnia zlewni wynosi 182,26 ha, z czego 174,02 ha (95%) to tereny leśne, pozostałe 5% stanowią grunty orne i łąki. Badaną zlewnię można uważać za reprezentatywną dla Nadleśnictwa Lipka, bowiem odpowiednio podobne są dominujące typy siedliskowe lasu (bory świeże – Bśw, bory mieszane świeże BMśw) oraz dominujące gleby (gleby rdzawe). Długość cieku odprowadzającego wodę ze zlewni wynosi 1540 m. Ciek ten nie posiada swej lokalnej nazwy, w ewidencji zapisany jest pod numerem 17–86-1. Bierze on swój początek na śródleśnej łące i wpływa bezpośrednio do rzeki Gwdy. Rzędna terenu, gdzie znajduje się źródło cieku wynosi 110 m n.p.m., natomiast rzędna ujścia wynosi 97,5 m n.p.m. Spadek cieku na całej jego długości jest nierównomierny. W swym górnym biegu ciek charakteryzuje się niewielkimi spadkami wynoszącym ok. 0,38%, zaś na odcinku 350 m, tuż przed ujściem, osiąga spadki w granicach 1,6–2,8%. W górnym biegu cieku doprowadzony jest do niego rów melioracyjny.

Średni dobowy odpływ jednostkowy w badanej zlewni wynosił 6,4 l/s/km^2, a minimalny i maksymalny odpowiednio 2,5 i 25,5 l/s/km^2. Stany wód gruntowych w zlewni rowu 17-86-1 wahały się w granicach 60-280 cm, przy średniej 166 cm p.p.t.

W okresie 4÷11.12.2004, w ramach projektu dotyczącego ochrony siedlisk hydrogenicznych w dorzeczu Gwdy, dokonano zabudowy cieku 17-86-1 poprzez wybudowanie na nim sześciu urządzeń piętrzących. Zabudowa miała na celu ograniczenie spływu powierzchniowego wody z omawianego terenu oraz niedopuszczenie do dalszego osuszania terenów zabagnionych znajdujących się w pobliżu cieku. Do spiętrzenia wody posłużyły zastawki drewniane proste typu ZW o stałej rzędnej piętrzenia.

Ścianki szczelne zastawek zostały zabite na głębokość dwukrotnej wysokości piętrzenia i dodatkowo wzmocnione zastrzałami, od strony nawodnej wykonano kaskadę z okrąglaków umocowanych palikami do podłoża w celu zminimalizowania siły przelewającej się przez zastawki wody, dodatkowo umocniono faszyną skarpy oraz dno cieku przed i za piętrzeniami.

Zastawki zlokalizowano w następujących odległościach liczonych od ujścia cieku:

– zastawka nr 1 – 270 m, wysokość piętrzenia H = 0,8 m, przewidywany zasięg cofki L = 25 m,

– zastawka nr 2 – 360 m, H = 0,7 m, L = 160 m,

– zastawka nr 3 – 520 m, H = 0,7 m, L = 140 m,

– zastawka nr 4 – 690 m, H = 0,6 m, L = 120 m,
– zastawka nr 5 – 810 m, H = 0,6 m, L = 140 m,
– zastawka nr 6 – 1210 m, H = 0,5 m, L = 110 m.

W przypadku zastawki nr 2 cofka sięga aż do zastawki nr 3, podobnie jest w przypadku zastawki nr 4. Dodatkowo przy zastawce nr 3 poprzez wybranie gruntu utworzono niewielkie oczko wodne o powierzchni 2 arów i głębokości ok. 1 m zasilane wodami omawianego cieku.

Często stosowanym w hydrologii inżynierskiej modelem konceptualnym zlewni jest kaskada N liniowych, jednakowych zbiorników o stałej czasowej (inercji) T [Nash 1958]. Sygnałem wejściowym jest opad efektywny (opad powodujący falę wezbraniową), natomiast sygnałem wyjściowym odpływ wezbraniowy utożsamiany z objętością fali wezbraniowej. Dla analizowanej w pracy bardzo małej zlewni (o powierzchni około 2 km^2) maksymalna ilość zbiorników w kaskadzie N może wynosić 3. Można ją oszacować z zależności:

$$N = 3{,}329 \cdot \left(R_B / R_A\right)^{0{,}744} \cdot R_L^{0{,}072} \tag{1}$$

gdzie:

R_B – wskaźnik bifurkacji,
R_A – wskaźnik powierzchni zlewni,
R_L – wskaźnik długości cieków [Ostrowski 1987-88].

Wartości średnie wskaźników geomorfologicznych $\overline{R_B}$ i $\overline{R_L}$ dla małych zlewni Wielkopolski (o powierzchniach < 350 km^2) wynoszą odpowiednio 3,68 i 2,28 [Miler 1994a].

Pomiędzy średnią długością cieku $\overline{L}$ a średnią powierzchnią zlewni $\overline{A}$ istnieje związek [Eagleson 1978]:

$$\overline{L} = 1{,}40 \cdot \overline{A}^{0{,}568} \tag{2}$$

Można zatem średni wskaźnik powierzchni zlewni $\overline{R_A}$ szacować z zależności:

$$\overline{R}_A = \frac{\overline{A_{i+1}}}{\overline{A_i}} = \frac{\overline{L_{i+1}}}{\overline{L_i}}^{\frac{1}{0{,}568}} = \left(\overline{R}_L\right)^{1{,}761} = 4{,}27. \tag{3}$$

W konsekwencji z zależności (1) mamy N=3,16 dla zlewni nawet ponad 100 razy większych niż analizowana w niniejszej pracy. Obliczenia Ostrowskiego [1987–88] wskazują, że im mniejsza powierzchnia zlewni tym też mniejsza stała N. Zatem przyjęcie maksymalnej wartości N jako 3 wydaje się zasadne.

Stałą czasową T w modelu Nasha dobiera się zwykle iteracyjnie, porównując hydrogram symulowany z rzeczywistym.

Ogólne wzory na symulowany odpływ wezbraniowy modelem Nasha, dla dowolnego N oraz impulsów opadowych o zmiennej długości trwania, można znaleźć np. w pracy Milera [1994b].

WYNIKI I ICH ANALIZA

Rok hydrologiczny 2004/2005 należy do lat przeciętnych pod względem sumy rocznej opadów atmosferycznych oraz średniej rocznej temperatury powietrza, które to wartości znajdują się w odpowiednich przedziałach 90–110% wartości średnich dla wielolecia. Współczynnik odpływu rocznego dla tego roku z badanej zlewni wynosi 0,330. Potwierdza to zasadność zabudowy badanego cieku kaskadą 6 zastawek w celu utworzenia małej retencji. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu zabudowy cieku na wahania się lustra wody gruntowej w najpłytszych studzienkach położonych najbliżej cieku. Wahania stanów wód gruntowych we wszystkich dziesięciu obserwowanych studzienkach przebiegają prawie synchronicznie. Trudno jest też wykazać, analizując bezpośrednio wartości odpływów, wpływ zabudowy cieku na tenże odpływ.

Najwyraźniej wpływ zabudowy cieku 17-86-1 można wykazać analizując odpływy wezbraniowe. Poddano więc analizie 14 zaobserwowanych fal wezbraniowych, 6 „przed" i 8 „po" zabudowie cieku (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka wezbrań w badanej zlewni
Table 1. Characteristics of high water stages in the investigated catchment

Okres Time interval		Odpływ Outflow (mm)	Opad Rainfall (mm)	Odpływ początkowy Initial outflow (mm)	Opad efektywny Effective rainfall (mm)	Współczynnik odpływu Outflow coefficient (%)	Stała czasowa modelu Nasha Time constant for Nash model (godz.) (hours)
Przed zabudową cieku Before water-course development	2 V 2004	0,37	6,7	0,26	0,11	1,67	**2,5**
	9 V 2004	2,26	44,3	1,49	0,77	1,74	**3**
	23 VI 2004	0,43	5,9	0,32	0,11	1,80	**2**
	21 VII 2004	0,53	13,7	0,23	0,30	2,21	**3**
	13 VIII 2004	0,79	10,7	0,29	0,50	4,71	**2**
	27 X 2004	0,33	11,4	0,24	0,09	0,80	**4**
Po zabudowie cieku After water-course development	4 V 2005	0,96	20,0	0,49	0,47	2,35	**4**
	8 V 2005	1,68	23,2	1,11	0,57	2,47	**3**
	30 V 2005	0,54	13,2	0,37	0,17	1,30	**3**
	21 VII 2005	0,71	19,8	0,46	0,25	1,25	**3**
	3 VIII 2005	0,89	12,3	0,44	0,45	3,65	**5**
	30 IV 2006	1,69	17,1	1,21	0,48	2,79	**3**
	13 V 2006	0,96	9,6	0,55	0,41	4,26	**4**
	28 V 2006	2,13	17,1	1,27	0,86	5,01	**8**

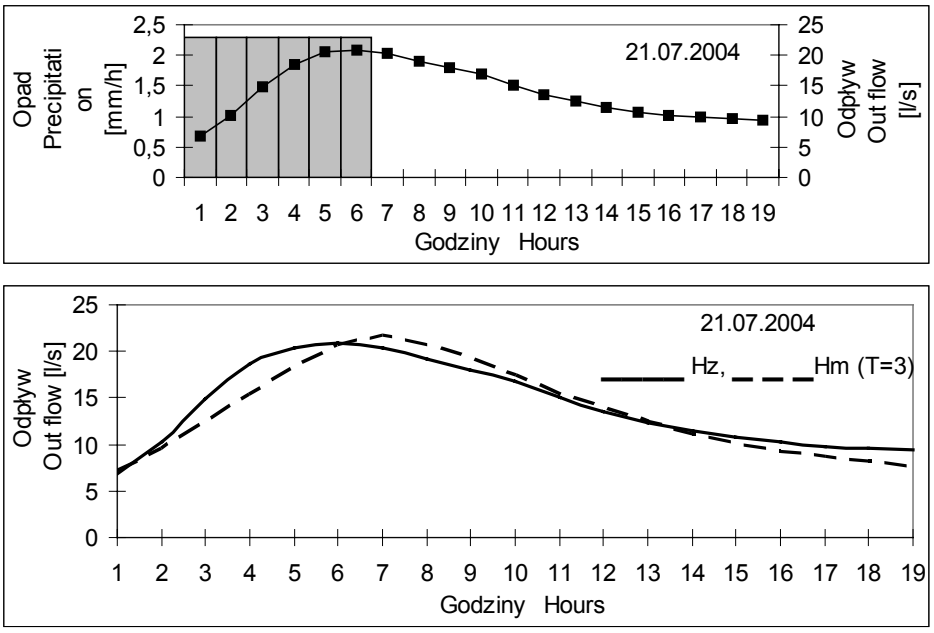
Każdą falę wezbraniową opisano dwuzbiornikowym modelem Nasha (N=2). Przyjęcie stałej liczby zbiorników $N = 2$ podyktowane jest dwoma faktami:

– parametr ten powinien być stały dla danej zlewni [np. Ostrowski 1987–88],

– obliczenia dla $N = 1$ i $N = 3$ dawały mniejszą zgodność odpływów wezbraniowych pomierzonych i symulowanych.

Wartości optymalnych stałych czasowych T dla poszczególnych fal wezbraniowych zestawione są w tabeli 1. Optymalne wartości T to takie dla których uzyskano największą zgodność odpływów wezbraniowych pomierzonych i symulowanych (dla stałego $N = 2$) (rys. 1).

Średnia wartość stałej czasowej T dla fal wezbraniowych przed zabudową badanego cieku wynosiła 2,75 godz. – natomiast po zabudowie 4,13 godz. Oznacza to, iż stała czasowa T związana z inercją zlewni wzrosła o około 50%. W konsekwencji można postawić hipotezę, iż czas przebywania wód wezbraniowych w zlewni na skutek zabudowy cieku 6. zastawkami został istotnie wydłużony.



Rysunek 1. Przykład fali wezbraniowej
(Hz – odpływ pomierzony, Hm – odpływ symulowany)
Figure 1. Example of high water wave
(Hz – measured outflow, Hm – simulated outflow)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zabudowa cieku 17-86-1 kaskadą 6. zastawek była zasadna. Można postawić hipotezę, że w ten sposób zwiększono zdolność retencyjną zlewni. Inercja zlewni tegoż cieku dla wód z odpływów wezbraniowych wzrosła o około 50%. Wykonanie takiego, obiektywnego oszacowania było możliwe poprzez opisanie (zamodelowanie) obserwowanych fal wezbraniowych „przed" i „po" zabudowie cieku modelem dwuzbiornikowym Nasha.

Wydaje się zatem zasadne zastosowanie w programach małej retencji w lasach wykonywania zabudowy cieków systemami małych, prostych zastawek.

BIBLIOGRAFIA

Eagleson P.S. *Hydrologia dynamiczna.* PWN, Warszawa 1978.

Miler A. *Wymiar fraktalny sieci rzecznych w małych zlewniach Wielkopolski.* Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. 268, Melioracja i Inżynieria Środowiska 15, cz.1, 1994a, s. 255–266.

Miler A. *Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych.* Roczniki Akademii Rolniczej, Rozprawy Naukowe, z.258, Poznań 1994b.

Miler A.T., Kamiński B., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B., Krysztofiak A., Sobalak M., Przysiecka K., Kamiński M. *Opracowanie strategii ochrony obszarów mokradłowych na terenie Leśnych Kompleksów Promocyjnych na przykładzie LKP Lasy Rychtalskie*. Opracowanie w formie monografii elektronicznej. 2008.

http://www.lp.gov.pl/media/biblioteka/prace-naukowe/mokradla_cale.pdf

Nash J.E. Determining runoff from rainfall. Proceedings of Institution of Civil Engineers, 10, 1958.

Ostrowski J.A. *Modelowanie hydrogramów wezbrań opadowych w małych zlewniach niekontrolowanych na podstawie sieci zlewni reprezentatywnych*. Wiadomości IMGW. cz. I–V. Warszawa 1987–88.

Prof. dr hab. inż. Antoni Tadeusz Miler
Katedra Inżynierii Leśnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
amiler@up.poznan.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Włodzimierz Czamara*