INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND EKOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 1/2007, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 27–39
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Antoni Tadeusz Miler, Elwira Drobiewska

ZMIANA ODPŁYWU WEZBRANIOWEGO W MAŁEJ ZLEWNI LEŚNEJ POJEZIERZA KRAJEŃSKIEGO PO ZABUDOWIE CIEKU

MODIFICATION OF DIRECT RUNOFF IN A SMALL FOREST CATCHMENT OF THE KRAJEŃSKIE LAKELAND AS A RESULT OF THE WATERCOURSE DEVELOPMENT

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. Zestawione sumy opadów oraz wskaźniki odpływów obliczono na podstawie bezpośrednich pomiarów. Ewapotranspirację dobową obliczono według metody Konstantinowa, a następnie obliczono jej sumy miesięczne i roczne. Zmianę retencji obliczono na podstawie pomiarów stanów wód gruntowych, zakładając 34% porowatość gleby w strefie wahania się wód gruntowych.

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 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. 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.

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. Opady efektywne dla poszczególnych wezbrań obliczono na podstawie współczynników odpływów wezbraniowych, tzn. ilorazów wskaźników odpływu wezbraniowego i sum opadów powodujących wezbrania. Przyjęto stałą liczbę zbiorników w kaskadzie równą 2. Przyjęcie stałej liczby zbiorników N=2 podyktowane jest dwoma faktami: parametr ten powinien być stały dla danej zlewni, obliczenia dla N=1 i N=3 dawały mniejszą zgodność odpływów wezbraniowych pomierzonych i symulowanych. 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 tzw. 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 sums of precipitation and indices of high water stages were calculated on the basis of direct measurements. Daily evapotranspiration was calculated according to Konstantinow method, and next its monthly and annual sums were calculated. Changes in storage levels were calculated on the basis of the groundwater levels measurements. The hydrological year 2004/2005 is an average one considering the annual atmospheric precipitation sum, as well as mean annual air temperature; the values are in the adequate intervals of 90–100% of the multi-annual mean values. 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. No clear influence of the watercourse development was found on the fluctuations of groundwater table in the shallowest wells situated in the closest neighbourhood of the course. Groundwater level fluctuations run almost simultaneously in all the ten wells. 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. Effective rainfall for the successive high water stages were calculated on the basis of the direct runoffs coefficients i.e. quotients of indices of the direct runoff and sums of precipitation bringing about the runoffs. A constant number of 2 reservoirs in a cascade was assumed. Assuming a constant number of reser-

voirs N=2 is conditioned by two factors: – the parameter should be constant for a given catchment, – calculations for N=1 and N=3 presented a lower coincidence of measured and simulated direct runoffs. 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 tzw. 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.

MATERIAŁY I METODY

Charakterystyka zlewni. W kwietniu 2004 roku rozpoczęto pomiary hydrologiczne w małej zlewni znajdującej się na Pojezierzu Krajeńskim, na terenie Nadleśnictwa Lipka w leśnictwie Biskupice. 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.

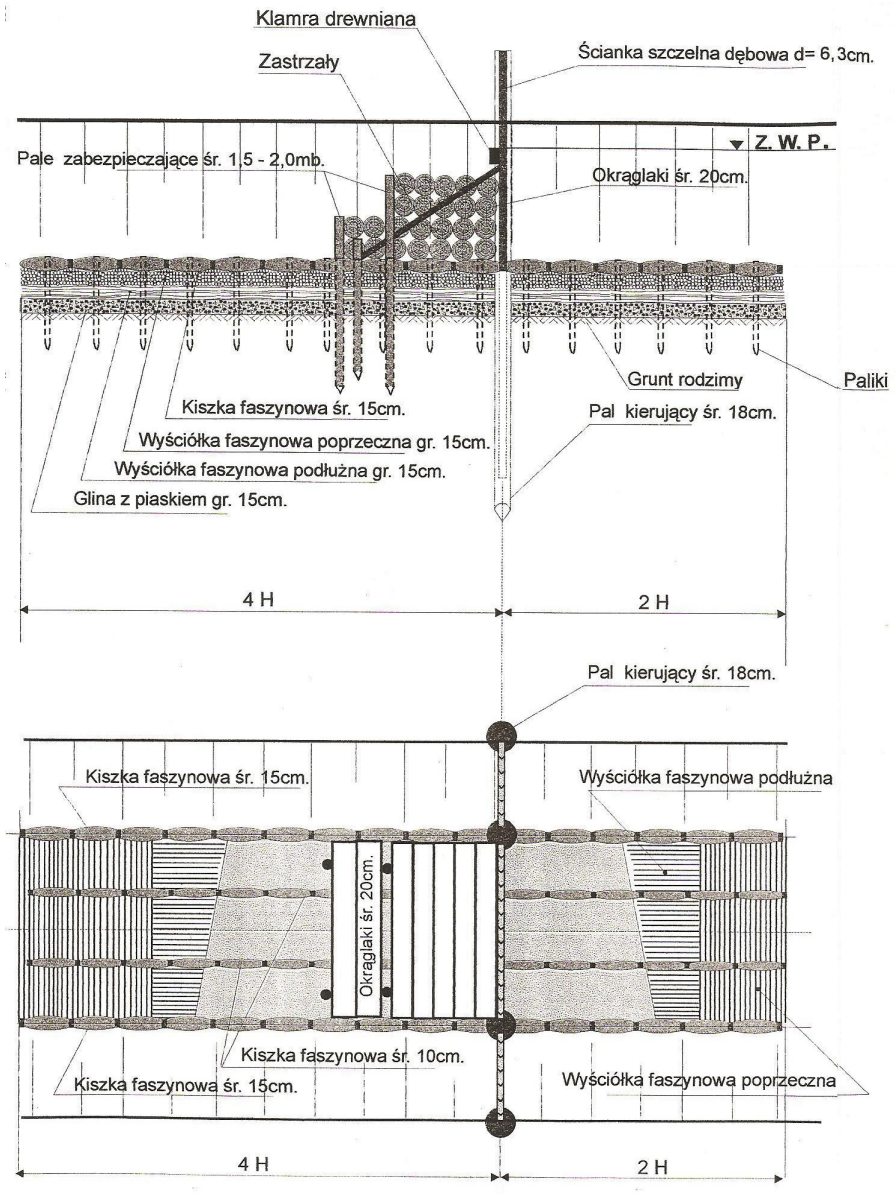
W okresie 4–11.12.2004, w ramach projektu dotyczącego ochrony siedlisk hydrogenicznych w dorzeczu Gwdy, dokonano zabudowy cieku 17-86-1 poprzez wybudowanie na nim sześciu urządzeń piętrzących. Zabudowa miała na celu ograniczenie spływu powierzchniowego wody z omawianego terenu oraz niedopuszczenie do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

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.

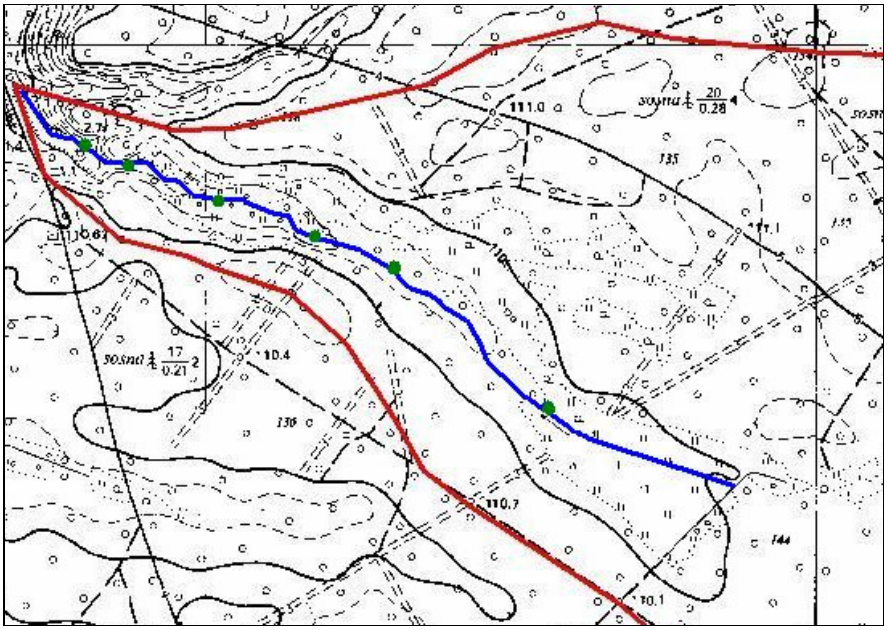
Zastawki zlokalizowano w następujących odległościach liczonych od ujścia cieku (rys. 2):

- 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.



Rysunek 1. Projekt zastawki piętrzącej stałej typu ZW autorstwa Klubu Przyrodników ze Świebodzina, wykorzystany przy budowie urządzeń piętrzących na cieku 17-86-1
Figure 1. Project of constant type ZW weir, worked out by Natural Historians Club from Świebodzin, used at developing of damming devices on watercourse 17-86-1



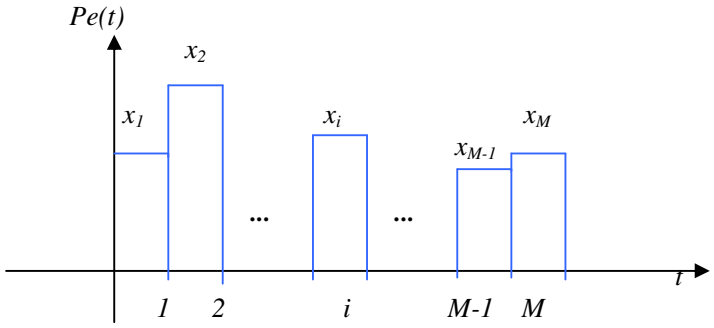
Rysunek 2. Fragment mapy topograficznej z zaznaczoną granicą zlewni (kolor czerwony), ciekiem (kolor niebieski) oraz lokalizacją zastawek (zielone punkty)
Figure 2. Part of topographical map with marked border of catchment (red colour), water-course (blue colour) and location of dams (green points)

Model Nasha. 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. Hietogram opadu efektywnego *Pe(t)* można wyrazić zależnością:

$$Pe(t) = \sum_{i=1}^{M} x_i \cdot (\eta(t-(i-1)) - \eta(t-i)), \quad \text{(rys. 3)} \qquad (1)$$

gdzie:

M – liczba impulsów opadowych – sygnałów prostokątnych o jednostkowym czasie trwania (w niniejszej pracy jako jednostkę czasu przyjęto 1 godzinę),
x_i – *amplituda* i-*tego impulsu opadowego,*
$\eta(t)$ – *funkcja skoku jednostkowego Heaviside'a,*
t – *czas,*
i – *zmienna bieżąca,* i = 1, 2, …, M.



Rysunek 3. Hietogram opadu efektywnego
Figure 3. Hyetograph of effective rainfall

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:

$$N = 3{,}329 \cdot \left(R_B / R_A\right)^{0{,}744} \cdot R_L^{0{,}072}, \tag{2}$$

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:

$$\overline{L} = 1{,}40 \cdot \overline{A}^{0{,}568} \text{ [Eagleson 1978].} \tag{3}$$

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

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

W konsekwencji z zależności (2) 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 być zasadne.

Można wykazać, że wskaźnik odpływu H(t) wyraża się zależnością:
dla N = 1

$$H(t=m)=\sum_{i=1}^{m} x_i \cdot (e^{-\frac{m-i}{T}} - e^{-\frac{m-i+1}{T}}), \quad (5)$$

dla N = 2

$$H(t=m)=\sum_{i=1}^{m} x_i \cdot ((1+\frac{m-i}{T})\cdot e^{-\frac{m-i}{T}} - (1+\frac{m-i+1}{T})\cdot e^{-\frac{m-i+1}{T}}), \quad (6)$$

dla N = 3

$$H(t=m)=\sum_{i=1}^{m} x_i \cdot ((1+\frac{m-i}{T}+\frac{(m-i)^2}{2\cdot T^2})\cdot e^{-\frac{m-i}{T}} - (1+\frac{m-i+1}{T}+\frac{(m-i+1)^2}{2\cdot T^2})\cdot e^{-\frac{m-i+1}{T}}), \quad (7)$$

gdzie:

m – dyskretne momenty czasu,
m = 1, 2, 3, …

Ogólniejsze wyniki – dla dowolnego N oraz impulsów opadowych o zmiennej długości trwania podaje Miler [1994b].

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 zestawiono zrównoważony bilans wodny dla badanej zlewni dla roku hydrologicznego 2004/2005. Rok ten 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.

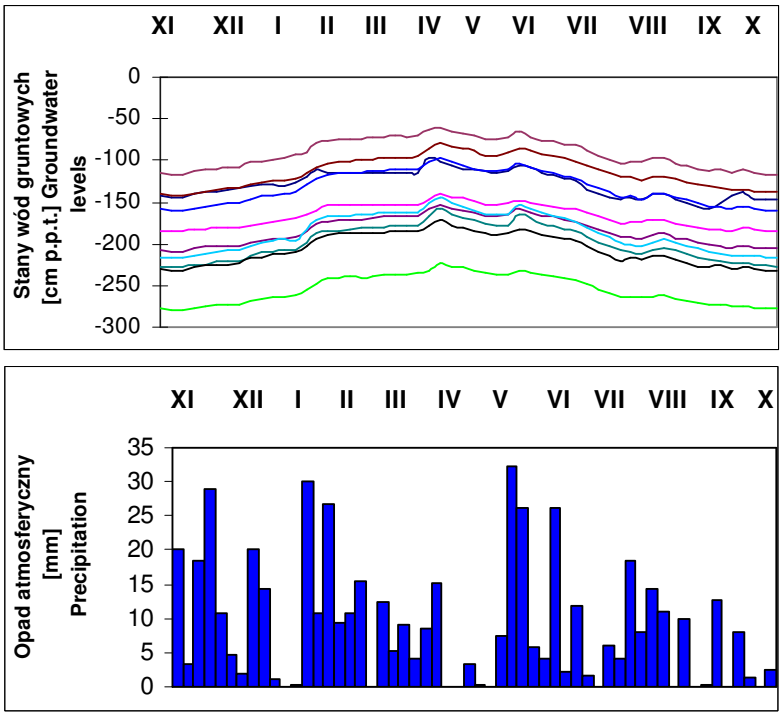
Tabela 1. Bilans wodny zrównoważony badanej zlewni w roku hydrologicznym 2004/2005
Table 1. Equilibrium water balance of the investigated catchment in hydrological year 2004/2005

Składniki bilansu Components of balance (mm)	Miesiące Months												
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Rok Year
Opad Precipitation	49	53	81	36	35	14	113	30	48	45	26	21	**551**
Parowanie Evaporation	13	9	16	10	19	37	45	54	60	56	38	23	**380**
Odpływ Outflow	10	12	20	20	27	22	22	15	10	10	7	8	**182**
Zmiana retencji Change of water storage	33	50	52	11	38	-41	-5	-66	-38	-24	-11	-11	**-11**

Zestawione w tabeli 1 sumy opadów oraz wskaźniki odpływów obliczono na podstawie bezpośrednich pomiarów. Ewapotranspirację dobową obliczono według metody Konstantinowa, a następnie obliczono jej sumy miesięczne i roczne [Miler 1997].

Zmianę retencji obliczono na podstawie pomiarów stanów wód gruntowych, zakładając 34% porowatość gleby w strefie wahania się wód gruntowych.

Współczynnik odpływu rocznego wynosi 0,330. Potwierdza to zasadność zabudowy badanego cieku kaskadą 6 zastawek w celu utworzenia tzw. 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 (rys. 4). Trudno jest też wykazać, analizując bezpośrednio wartości odpływów, wpływ zabudowy cieku na tenże odpływ.



Rysunek 4. Stany wód gruntowych w 10 studzienkach na tle opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2004/2005
Figure 4. Groundwater levels in 10 wells vs. precipitation in hydrological year 2004/2005

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. 2). 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 [Ostrowski 1987–88],

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

Tabela 2. Charakterystyka wezbrań w badanej zlewni
Table 2. Characteristics of high water stages in the investigated catchment

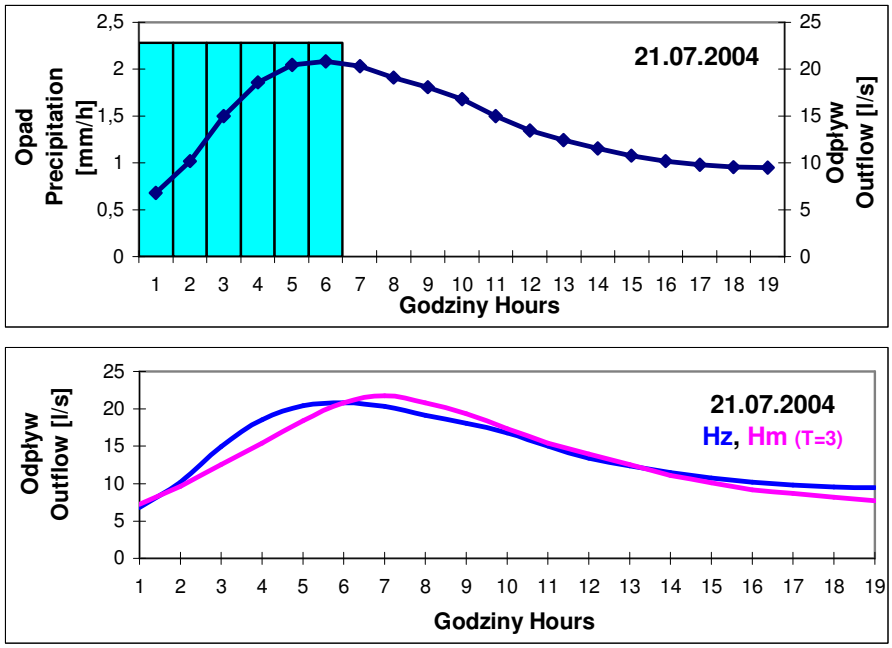
Okres Time interval		Odpływ Outflow (mm)	Opad Rainfall (mm)	Odpływ początkowy Initial outflow (mm)	Opad efektywny Effective rainfall (mm)	Współczynnik odpływu Outflow coefficient (%)	Stała czasowa modelu (godz.) Nasha Time constant
Przed zabudową cieku Before water-course development	2 V 2004	0,37	6,7	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**

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

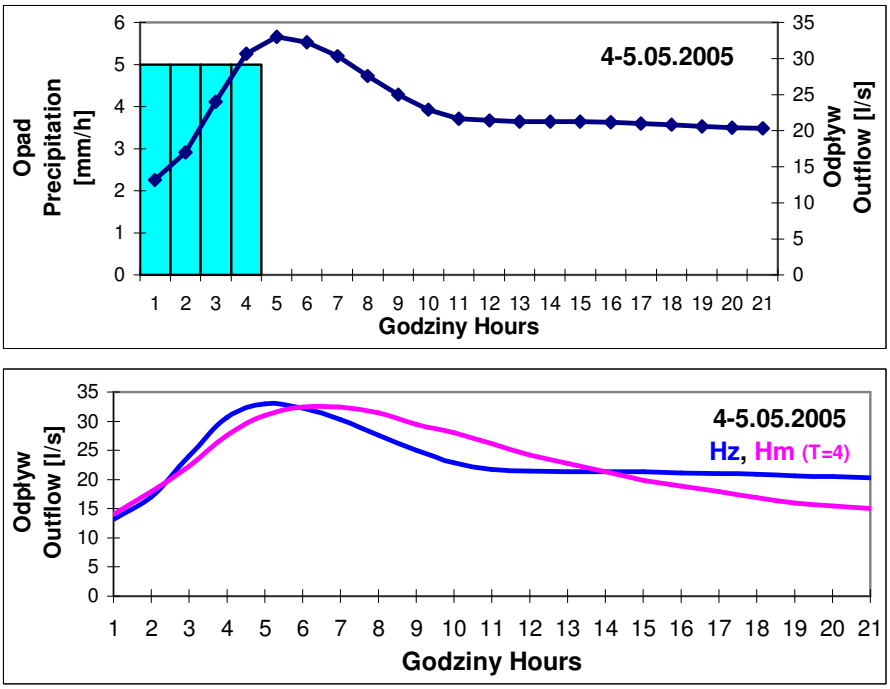
Przykładowe wyniki modelowania wezbrań „przed" i „po" zabudowie badanego cieku przedstawione są odpowiednio na rysunkach 5 i 6. Na rysunkach

tych godzinowe wskaźniki odpływów [mm/h] zostały przeliczone na wielkości przepływów [l/s].

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 5. Fala wezbraniowa przed zabudową cieku 17-86-1
(Hz – odpływ pomierzony, Hm – odpływ symulowany)
Figure 5. High water wave before watercourse 17-86-1 development
(Hz – measured outflow, Hm – simulated outflow)



Rysunek 6. Fala wezbraniowa po zabudowie cieku 17-86-1
(Hz – odpływ pomierzony, Hm – odpływ symulowany)
Figure 6. High water wave after watercourse 17-86-1 development
(Hz – measured outflow, Hm – simulated outflow)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

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

Wydaje się zatem zasadne zastosowanie w programach tzw. 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*. Rocz. AR Poznań 268, Melior. Inż. Środ. 15, cz.1, 1994a, s. 255–266,

Miler A. *Modelowanie matematyczne zdolności retencyjnych małych zlewni nizinnych.* Rocz. AR, Rozpr. Nauk. z. 258, Poznań, 1994b.

Miler A. *Zastosowanie metody Konstantinowa do obliczania parowania terenowego w zlewniach rzecznych.* Mater. II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej – Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego. Poznań – Sielinko, wyd. AR Poznań, 1997, s. 125–130.

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

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

Prof. dr hab. inż. Antoni T. Miler
Mgr inż. Elwira Drobiewska
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Inżynierii Leśnej
60-623 Poznań, ul. Mazowiecka 41
Tel./Fax 0618487366, E-mail amiler@au.poznan.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Stanisław Węglarczyk*