

## **ZMIENNOŚĆ PRZEPIYWÓW W CIEKACH MAŁYCH ZLEWNI NIZINNYCH O ZRÓŻNICOWANYM ZASILANIU I STOPNIU LESISTOŚCI NA TLE WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH**

Rafał Stasik, Czesław Szafrąński, Mariusz Korytowski, Daniel Liberacki  
Akademia Rolnicza w Poznaniu

**Streszczenie.** W latach hydrologicznych różniących się warunkami meteorologicznymi badano zmienność przepływu wody w dwóch małych ciekach nizinnych. Stwierdzono, że wielkość przepływów w półroczach letnich była znacznie mniejsza niż w zimowych, ponadto w półroczach letnich obserwowano okresowe zaniki przepływów. Okresy bezodpływowe były dłuższe w przypadku mniejszej, w 100% zalesionej zlewni. Stwierdzone istotne różnice odpływów jednostkowych na korzyść zlewni większej, dwukrotnie słabiej zalesionej, można przypisać trzykrotnie większemu udziałowi siedlisk bagiennych w powierzchni leśnej tej zlewni.

**Słowa kluczowe:** mała zlewnia leśna, przepływ wody

### **WSTĘP**

Środowisko leśne działa jak swoisty zbiornik retencyjny. Dzieje się tak m.in. dzięki znacznej intercepcji powierzchni leśnych oraz dużej wodochłonności leśnych gleb, większej niż gleb użytków rolnych. Liczne prace wskazują, że te cechy lasu oraz właściwe rozmieszczenie powierzchni leśnych na terenie zlewni wpływają w istotny sposób na gospodarkę wodną zlewni zalesionych, gdyż sprzyjają wyrównaniu odpływów [Białkiewicz i Babiński 1981, Białkiewicz i in. 1993, Tyszka 1995, Kosturkiewicz i in. 2002]. Dokładne poznanie tych procesów ma duże znaczenie nie tylko dla prawidłowego sterowania gospodarką wodną zlewni leśnych, ale też dla całego środowiska przyrodniczego. Badania takie mogą wnieść znaczący wkład w zrozumienie procesów transformacji opadu w odpływ.

Celem pracy było określenie zmienności przepływów w ciekach odwadniających małe zlewnie nizinne różniące się pod względem zasilania i stopnia lesistości i odniesienie jej do warunków meteorologicznych.

Praca została sfinansowana ze środków budżetowych przeznaczonych na naukę w latach 2005–2007 (projekt badawczy nr 2P06507928).

## MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na obszarze Leśnictwa Marianka należącego do Leśnego Zakładu Doświadczalnego (LZD) Siemianice Akademii Rolniczej w Poznaniu. W dwóch małych zlewniach: zlewni Rowu Rakowskiego, oznaczonego na mapach melioracyjnych jako rów G, oraz jego prawobrzeżnego dopływu, rowu G-8, wykonywano następujące badania terenowe:

- ciągłą limnigraficzną rejestrację stanów wody w korycie Parshalla, w przekroju zamykającym zlewnię rowu G,
- ciągłą limnigraficzną rejestrację stanów wody na przelewie trójkątnym Thomsona, w przekroju zamykającym zlewnię rowu G-8,
- codzienne pomiary opadów wysokości atmosferycznych deszczomierzem Hellmanna.

Dane dotyczące temperatury powietrza pochodziły z codziennych pomiarów wykonywanych na stacji meteorologicznej LZD Siemianice.

Do analizy zmienności przepływów w badanych ciekach wybrano lata hydrologiczne 2001, 2002 i 2005, które różniły się pod względem rocznej sumy opadów atmosferycznych oraz średniej rocznej temperatury powietrza. Przepływy w rowie G obliczono na podstawie standardowego równania dla koryta Parshalla [Dąbkowski i in. 1997]. Przepływy w rowie G-8 obliczono z krzywej tarowania wykreślonej na podstawie okresowych pomiarów przepływów metodą objętościową. W pracy korzystano także z map glebowo-siedliskowych [Operat... 1999] oraz z map przeglądowych i opisów taksacyjnych drzewostanów [Plan urządzania... 1994] opracowanych na potrzeby LZD Siemianice.

## WYNIKI

Zlewnie cieków G i G-8 różnią się pod względem zajmowanej powierzchni, stopnia lesistości oraz procentowego udziału poszczególnych typów siedliskowych lasu w zalesionej części zlewni. Rów G ma zlewnię o powierzchni wynoszącej 3,27 km<sup>2</sup>. Lasy znajdują się w dolnej części tej zlewni i stanowią 65% jej całkowitej powierzchni. Zlewnia rowu G-8 jest znacznie mniejsza, o powierzchni 0,32 km<sup>2</sup>, całkowicie zalesiona. Charakterystyczną cechą zlewni rowu G stanowi dominacja siedlisk bagiennych, które zajmują łącznie 50,6% powierzchni leśnej zlewni. Duży udział w powierzchni leśnej tej zlewni – 31,0% – mają również siedliska wilgotne. Na siedliska świeże łącznie przypada 18,4% powierzchni. W zlewni rowu G-8 udział powierzchniowy siedlisk bagiennych jest znacznie mniejszy, wynosi tylko 16,3%. Przeważają siedliska wilgotne, łącznie zajmujące 43,9% powierzchni zlewni, oraz siedliska świeże, stanowiące 39,8% tej powierzchni.

W roku hydrologicznym 2001 suma opadów atmosferycznych wyniosła 689 mm i była wyższa o 117 mm od średniej z wielolecia 1975–2001 (tab. 1). Na podstawie charakterystyki wilgotnościowej podanej przez Kaczorowską [cyt. za: Kędziora 1995] rok ten można uznać za wilgotny. Zarówno w zimowym, jak i letnim półroczu hydrologicznym sumy

Tabela 1. Półroczne i roczne sumy opadów atmosferycznych i średnie temperatury powietrza w latach hydrologicznych 2001, 2002 i 2005 oraz ich odchylenia od średnich z wielolecia 1975–2001 (na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Siemianice)

Table 1. Semi-annual and annual precipitation totals and mean air temperatures in 2001, 2002 and 2005 hydrological years and their deviations from 1975–2001 multi-annual means (based on data from Siemianice meteorological station)

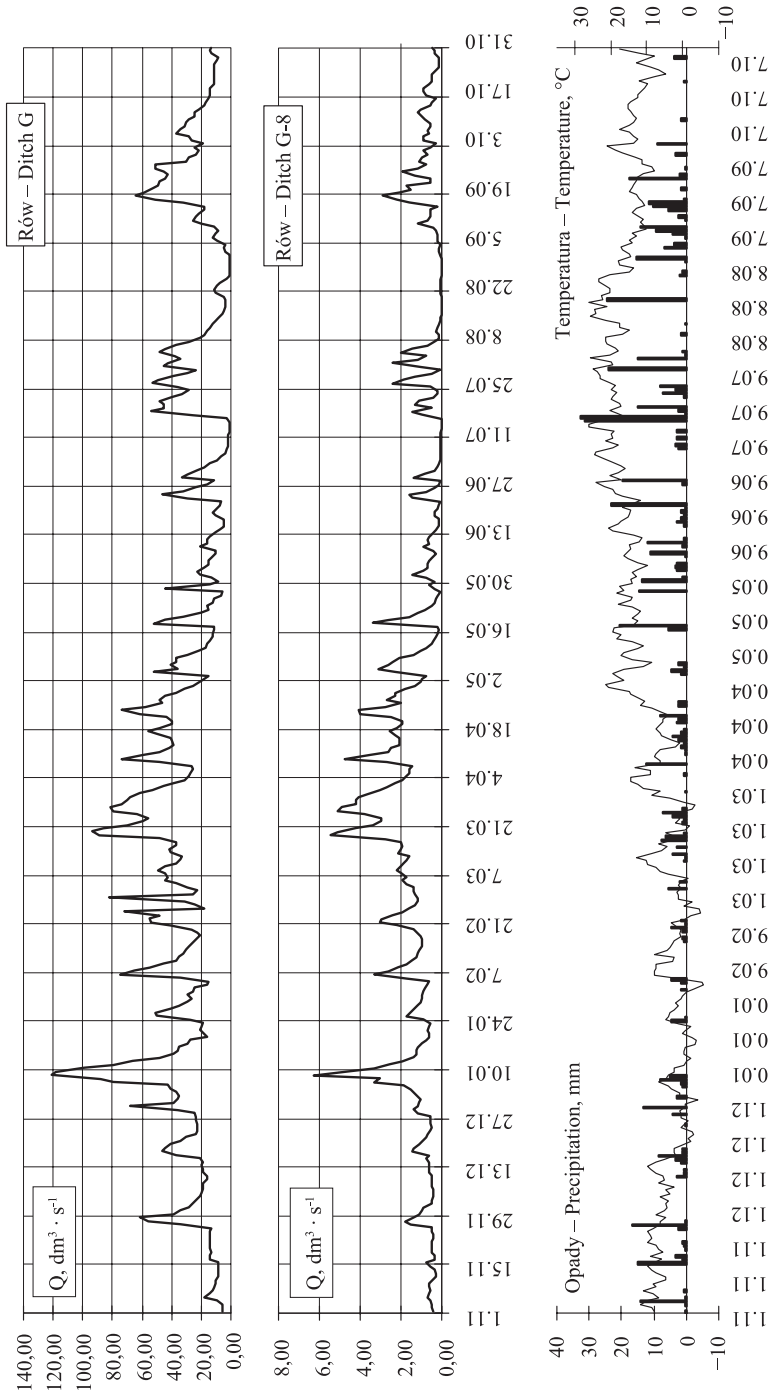
Okres Period	1975–2001			2001			2002			2005		
	opady precipitation	temperatura temperature	°C	opady precipitation	temperatura temperature	°C	opady precipitation	temperatura temperature	°C	opady precipitation	temperatura temperature	°C
	mm			mm			mm			mm		
XI–IV Nov–Apr	207	2,5		227	4,1		213	2,1		223	1,3	
Odchylenie Deviation	–	–		+20	+1,6		+6	–0,4		+16	–1,2	
V–X May–Oct	365	15,5		462	16,3		325	16,8		238	16,3	
Odchylenie Deviation	–	–		+97	+0,8		–40	+1,3		–127	+0,8	
XI–X Nov–Oct	572	9,0		689	10,2		538	9,9		461	8,8	
Odchylenie Deviation	–	–		+117	+1,2		–34	+0,9		–111	–0,2	

opadów przekraczały średnie z wielolecia, odpowiednio o 20 i 97 mm. Rok ten miał średnią temperaturę powietrza wyższą o  $1,2^{\circ}\text{C}$  od średniej wieloletniej, przy czym półrocze zimowe było o  $1,6^{\circ}\text{C}$ , a letnie o  $0,8^{\circ}\text{C}$  cieplejsze niż przeciętnie. Kolejny rok hydrologiczny, 2002, z sumą opadów atmosferycznych 538 mm, niższą o 34 mm od średniej z wielolecia, można uznać za przeciętny. W półroczu zimowym suma opadów atmosferycznych była zbliżona do średniej wieloletniej dla tego okresu, zaś w półroczu letnim wyniosła 325 mm i była niższa o 40 mm od średniej. Rok ten był cieplejszy od przeciętnego o  $0,9^{\circ}\text{C}$ , na co złożyło się cieplejsze niż średnio w wieloleciu (o  $1,3^{\circ}\text{C}$ ) półrocze letnie i chłodniejsze (o  $0,4^{\circ}\text{C}$ ) półrocze zimowe (tab. 1). Jako trzeci do analizy wybrano rok hydrologiczny 2005, w którym zaobserwowano najniższe w latach badań sumy opadów atmosferycznych. Rok ten, z sumą opadów wynoszącą 461 mm, niższą od średniej z wielolecia o 111 mm, był rokiem suchym. Szczególnie suche było półrocze letnie, w którym suma opadów atmosferycznych wyniosła tylko 238 mm i była aż o 127 mm mniejsza od średniej z wielolecia dla tego okresu (tab. 1). Średnia temperatura powietrza w tym roku była zbliżona do średniej wieloletniej, przy zimniejszym o  $1,2^{\circ}\text{C}$  półroczu zimowym i cieplejszym o  $0,8^{\circ}\text{C}$  półroczu letnim.

Na początku listopada roku hydrologicznego 2001 przepływy wody w rowach G i G-8 były stosunkowo małe: odpowiednio  $5,5$  i  $0,48 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a pod koniec tego miesiąca zwiększyły się trzykrotnie (rys. 1). Bardzo wyraźny wzrost przepływów nastąpił pod koniec pierwszej dekady stycznia i był spowodowany roztopami śródzimowymi. Średni przepływ dobowy w obu ciekach osiągnął maksymalną wartość w półroczu zimowym –  $122 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  w rowie G i  $6,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  w rowie G-8. Zwiększenie odpływów w ciekach obserwowano w tym półroczu jeszcze w lutym i marcu, a jego przyczynę stanowiły śródzimowe i wiosenne roztopy i intensywne opady. W wilgotnym półroczu letnim przepływy w obu ciekach były znacznie mniejsze niż w półroczu zimowym, co można przypisać intensywnej ewapotranspiracji drzewostanów. W rowie G w drugiej dekadzie lipca oraz w drugiej i trzeciej dekadzie sierpnia odnotowano przepływy najniższe w całym roku hydrologicznym 2001 – poniżej  $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . W tym samym okresie zmniejszyły się również przepływy w rowie G-8, a w sierpniu okresowo rów ten nie prowadził wody.

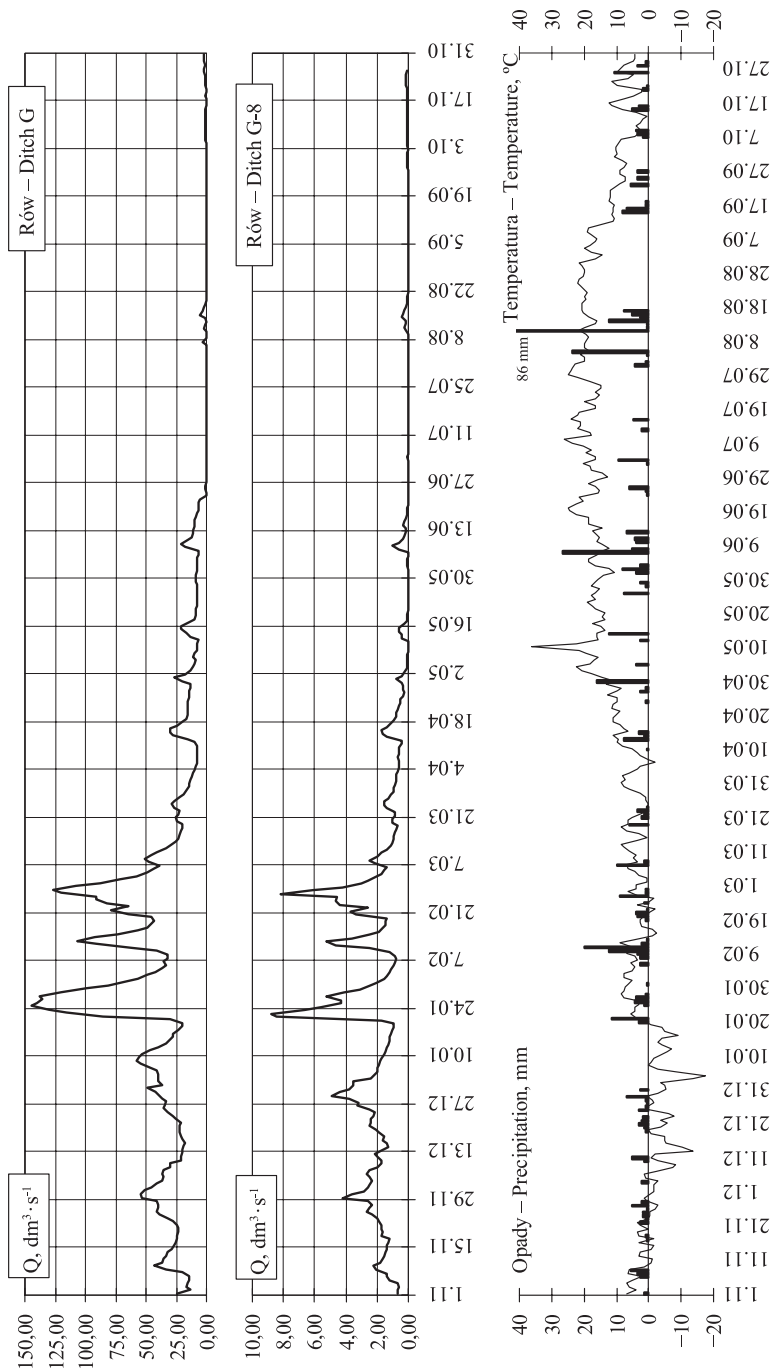
Nieco inny przebieg przepływów wody obserwowano w średnim pod względem sumy opadów atmosferycznych roku hydrologicznym 2002. W półroczu zimowym tego roku największe przepływy dobowe wystąpiły w trzeciej dekadzie stycznia. Maksyma odpływów w rowach G i G-8 wyniosły wówczas odpowiednio  $144$  i  $8,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Przyczyną tych wezbrań były śródzimowe roztopy pokrywy śnieżnej, zalegającej od grudnia, oraz opady atmosferyczne w styczniu (rys. 2). Kolejne wezbranie w obu ciekach ( $126 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  w rowie G i  $8,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  w rowie G-8) odnotowano w lutym. W tym stosunkowo ciepłym miesiącu nie utrzymywała się pokrywa śnieżna i oba rowy odprowadzały wodę opadową. Wyraźne wezbrania wystąpiły jeszcze na początku marca. Później przepływy w obu ciekach zaczęły wyraźnie się zmniejszać, co było spowodowane niskimi sumami opadów atmosferycznych i rosnącą temperaturą powietrza (rys. 2). Już w połowie maja w rowie G-8 i pod koniec czerwca w rowie G przepływy zanikły. Bardzo wysokie opady w sierpniu, w tym najwyższy w 2002 r. zanotowany w dniu 11 sierpnia opad dobowy o sumie 86 mm, przyczyniły się okresowego wystąpienia przepływów w ciekach w połowie tego miesiąca. Niewielkie przepływy w obu ciekach pojawiły się jeszcze w październiku.

W półroczu zimowym roku hydrologicznego 2005 wahania przepływów były niewielkie w porównaniu z ich wahaniami w zimowych półroczach hydrologicznych 2001



Rys. 1. Przebieg średnich dobowych przepływów wody (Q) w rowach G i G-8 w roku hydrologicznym 2001 na tle przebiegu warunków meteorologicznych (słupki – opady, linia – temperatura)

Fig. 1. Mean daily water flows (Q) in ditches G and G-8 in hydrological year 2001 as against meteorological conditions (bars – precipitation, line – temperature)



Rys. 2. Przebieg średnich dobowych przepływów wody (Q) w rowach G i G-8 w roku hydrologicznym 2002 na tle przebiegu warunków meteorologicznych (stupki – opady, linia – temperatura)

Fig. 2. Mean daily water flows (Q) in ditches G and G-8 in hydrological year 2002 as against meteorological conditions (bars – precipitation, line – temperature)

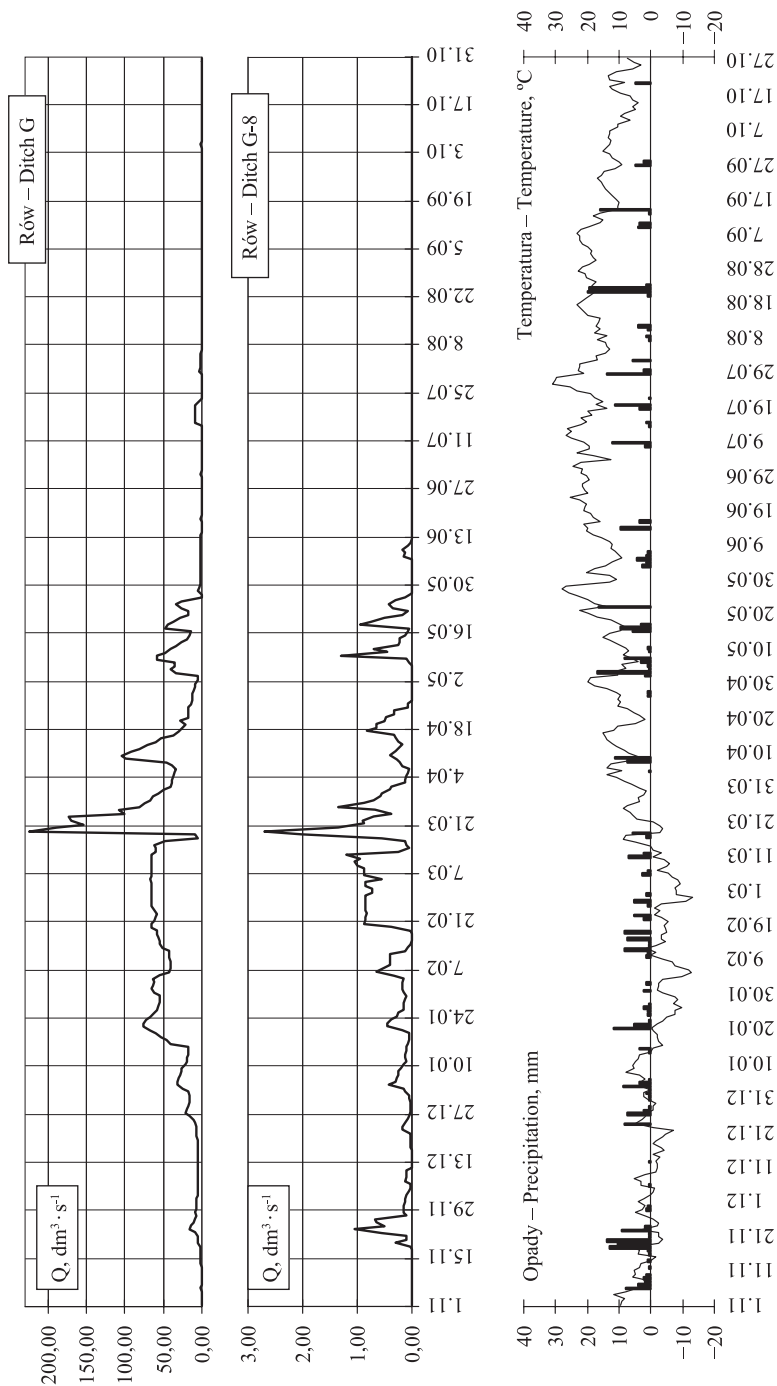
i 2002. Od drugiej dekady stycznia do połowy marca utrzymywała się ujemna temperatura powietrza (rys. 3). Taki przebieg warunków meteorologicznych spowodował długie zaleganie pokrywy śnieżnej. Największe średnie przepływy dobowe wystąpiły w trzeciej dekadzie marca na skutek roztopów wiosennych. Przepływ w obu rowach osiągnął wartość maksymalną dniu 19 marca. Wyniosła ona aż  $224 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  w przypadku rowu G i niemal stukrotnie mniej,  $2,70 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  – rowu G-8. Wzrost wielkości przepływów notowano jeszcze w kwietniu i maju, później jednak (w pierwszej dekadzie czerwca) na skutek niskich sum opadów atmosferycznych i wysokiej temperatury powietrza przepływy w obu ciekach zanikły. Okresowo w lipcu po opadach o większej wydajności pojawiły się jeszcze przepływy w rowie G, natomiast rów G-8 już od drugiej dekady czerwca do końca roku hydrologicznego nie prowadził wody.

Zestawione w tabeli 2 wartości przepływów charakterystycznych wskazują, że zarówno maksymalne, jak i średnie dobowe przepływy wody w obu ciekach były większe w półroczach zimowych niż w letnich. Przepływy maksymalne w rowie G wynosiły od  $121 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (2001 r.) do  $224 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (2005 r.), a w rowie G-8 – od  $6,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (2001 r.) do  $8,81 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (2002 r.). W półroczach zimowych kolejnych lat badań przepływy średnie w rowie G wynosiły 37,7, 39,7 i  $38,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a w półroczach letnich – 20,5, 3,24 i  $4,95 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Podobnie w rowie G-8 średnie przepływy w półroczach zimowych były wyraźnie większe niż w półroczach letnich.

W latach hydrologicznych 2001 i 2002 średnie odpływy jednostkowe ze zlewni rowu G były dwukrotnie wyższe niż ze zlewni rowu G-8. W suchym roku hydrologicznym 2005 różnice wielkości tych odpływów były wyraźnie większe: w przypadku zlewni rowu G średni odpływ jednostkowy wyniósł  $11,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w półroczu zimowym i  $1,51 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  w półroczu letnim, a zlewni rowu G-8 ponad dziesięciokrotnie mniej, odpowiednio  $1,00$  i  $0,12 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ .

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że badane zlewnie różniły się istotnie ( $\alpha=0,05$ ) pod względem wartości odpływów jednostkowych w poszczególnych półroczach i latach hydrologicznych.

W pewnych okresach w obu zlewniach obserwowano zanik przepływów. Rów G okresowo nie prowadził wody w dwu latach o sumie opadów mniejszej niż średnia z wielolecia 1975–2001 (tab. 1 i 2): w roku hydrologicznym 2002 przez 31 dni, a w suchym roku 2005 przez 33 dni. W przypadku rowu G-8 okresy takie były znacznie dłuższe – trwały odpowiednio 73 i 182 dni. Nawet w wilgotnym roku hydrologicznym 2001 rów ten nie prowadził wody przez 6 dni (tab. 2). W suchym półroczu letnim 2005 okres bez przepływów w rowie G-8 wyniósł 157 dni i był ok. pięciokrotnie dłuższy niż w rowie G. Większe odpływy i krótsze okresy bez odpływów ze zlewni rowu G niż zlewni rowu G-8, mimo mniejszej lesistości tej pierwszej, mogą być spowodowane większym udziałem siedlisk bagiennych w jej obszarze zalesionym. Podobne zróżnicowanie relacji między odpływem ze zlewni a opadem w zależności od stopnia uwilgotnienia siedlisk oraz typów siedliskowych lasu stwierdzili Lee [1980] i Tyszka [1995].



Rys. 3. Przebieg średnich dobowych przepływów wody (Q) w rowach G i G-8 w roku hydrologicznym 2005 na tle przebiegu warunków meteorologicznych (słupki – opady, linia – temperatura)

Fig. 3. Mean daily water flows (Q) in ditches G and G-8 in hydrological year 2005 as against meteorological conditions (bars – precipitation, line – temperature)



Tabela 2. Maksymalne (WQ), średnie (SQ) i minimalne (NQ) dobowe przepływy wody w rowach G i G-8 ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), średni odpływ jednostkowy (Sq) ze zlewni ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) oraz liczba dni z przepływem zerowym (LD) w latach hydrologicznych 2001, 2002 i 2005

Table 2. Maximum (WQ), mean (SQ) and minimum (NQ) daily water flows in ditches G and G-8 ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), mean specific runoff (Sq) from catchments ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) and number of days with zero-flow (LD) in hydrological years 2001, 2002 and 2005

Okres Period	Rów Ditch	2001						2002						2005					
		WQ	SQ	NQ	Sq	LD	WQ	SQ	NQ	Sq	LD	WQ	SQ	NQ	Sq	LD			
XI-IV	G	121	37,7	5,40	11,5	0	144	39,7	8,26	12,1	0	224	38,5	0,30	11,8	0			
Nov-Apr	G-8	6,25	1,65	0,26	5,16	0	8,81	2,00	0,22	6,25	0	2,70	0,32	0,00	1,00	25			
V-X	G	64,3	20,5	0,70	6,27	0	21,6	3,24	0,00	0,99	31	59,0	4,95	0,00	1,51	33			
May-Oct	G-8	3,40	0,66	0,00	2,06	6	1,00	0,07	0,00	0,22	73	1,29	0,04	0,00	0,12	157			
XI-X	G	121	29,0	0,70	8,87	0	144	21,3	0,00	6,51	31	224	21,6	0,00	6,60	33			
Nov-Oct	G-8	6,25	1,15	0,00	5,00	6	8,81	1,03	0,00	3,21	73	2,70	0,18	0,00	0,56	182			

## PODSUMOWANIE

W analizowanych latach hydrologicznych maksymalne przepływy wody w rowach G i G-8 występowały zawsze w półroczach zimowych. Poza opadami wyraźny wpływ na wartość i zmienność przepływów w tych półroczach miała temperatura powietrza, której wzrost powodował pojawianie się roztopów śródzimowych i wiosennych oraz związanych z nimi wezbrań.

W letnich półroczach hydrologicznych przepływy w obu ciekach były wyraźnie mniejsze niż w półroczach zimowych, a okresowo zanikały. Opady o dużej wydajności występujące w letnich półroczach lat 2002 i 2005, w których sumy opadów atmosferycznych były zbliżone do średniej z wielolecia lub od niej niższe, powodowały mniejsze zmiany przepływów niż w półroczach zimowych.

W latach hydrologicznych 2001 i 2002 odpływy jednostkowe ze zlewni rowu G były ok. dwukrotnie wyższe niż odpływy ze zlewni rowu G-8, natomiast w suchym roku hydrologicznym 2005 były wyższe ok. dziesięciokrotnie.

Badane zlewnie różniły się pod względem długości okresów bezodpływowych. Okresy te były znacznie dłuższe w przypadku mniejszej, całkowicie zalesionej zlewni rowu G-8.

Statystycznie istotne różnice odpływów jednostkowych na korzyść zlewni rowu G przy ok. dwukrotnie mniejszej jej lesistości mogły być spowodowane trzykrotnie większym niż w zlewni rowu G-8 udziałem siedlisk bagiennych w powierzchni leśnej tej zlewni.

## PIŚMIENNICTWO

- Białkiewicz F., Babiński S., 1981. Znaczenie lasu w kształtowaniu retencji gleb i dopływu wód opadowych. Sylwan CXXV, 1, 1–9.
- Białkiewicz F., Ciepeliowski A., Stolarek A., Tyszka J., Wiślińska B., 1993. Leśne zlewnie badawcze. Prace IBL, ser. B, 16, Warszawa, 5–38.
- Dąbkowski Sz.K., Jędryka E., Kaca E., Kovalenko P.I., Calyj B.I., Michajlov J.A., 1997. Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach wodno-melioracyjnych. Bibl. Wiad. IMUZ Falenty, 91.
- Kędziora A., 1995. Podstawy agrometeorologii. PWRiL Poznań,
- Kosturkiewicz A., Czopor S., Korytowski M., Stasik R., Szafranski Cz., 2002. Odpływy i retencja siedlisk leśnych w małych zlewniach. Rocz. AR Pozn., Melior. Inż. Środ. 23, 217–227.
- Lee R., 1980. Forest hydrology. Columbia University Press New York.
- Operat glebowo-siedliskowy i fitosocjologiczny LZD Siemianice, 1999. Zakład Usług Ekologicznych i Urzędzeniowo Leśnych Poznań.
- Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Doświadczalnego Siemianice, 1994. Katedra Urządzania Lasu AR w Poznaniu.
- Tyszka J., 1995. Rola i miejsce lasu w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni rzecznej. Sylwan CXXXIX, 11, 67–80.

**FLOW VARIABILITY IN WATERCOURSES  
OF SMALL LOWLAND CATCHMENTS  
DIFFERING IN ALIMENTATION PATTERN AND FOREST COVER INDEX  
AS AGAINST METEOROLOGICAL CONDITIONS**

**Abstract.** The variability of flow in two small lowland watercourses was studied in hydrological years differing in the pattern of meteorological conditions. It was found that the rate of water flow was lower in summer half-years than in winter halves. In some periods of the former, the flow disappeared. Such periods were longer for a smaller, 100% afforested catchment. There were significant differences in unit discharges to the advantage of the larger catchment with a twice lower forest cover index. Those might be attributed to the three times higher proportion of boggy sites in the forest area of this catchment.

**Key words:** small forest catchment, water flow

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 14.11.2006*