

**KAZIMIERZ BANASIK, LESZEK HEJDUK, AGNIESZKA HEJDUK, EWA KAZNOWSKA,  
JERZY BANASIK, ANDRZEJ BYCZKOWSKI**

## **Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienickiej\***

Long-term variability of runoff from a small catchment in the region  
of the Kozienice Forest

### **ABSTRACT**

Banasik K., Hejduk L., Hejduk A., Kaznowska E., Banasik J., Byczkowski A. 2013. Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienickiej. Sylwan 157 (8): 578-586.

Kozienice Forest (central Poland) belongs to very valuable areas from touristic and ecological point of view. Water resources are important factor of further development of this region. Analysis of 49-year (1963-2011) annual and seasonal rainfall and runoff characteristics from a small (82 km<sup>2</sup>) catchment of Zagożdżonka River, with forestation ratio of 0.40, indicated a statistically significant decrease for six of the nine considered parameters. Mann-Kendall test was used for trend analysis. Decreased trend was indicated for annual runoff and annual runoff coefficient, median discharge, summer half-year runoff coefficient, median summer discharge and for low mean 30-day discharge. No trend was detected for annual precipitation and summer half year precipitation nor for summer half year runoff.

### **KEY WORDS**

forested watershed, climate change, runoff decrease, trend analysis

### **ADDRESSES**

Kazimierz Banasik <sup>(1)</sup> – e-mail: kazimierz\_banasik@sggw.pl

Leszek Hejduk <sup>(1)</sup>, Agnieszka Hejduk <sup>(1)</sup>, Ewa Kaznowska <sup>(1)</sup>, Jerzy Banasik <sup>(2)</sup>, Andrzej Byczkowski <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Katedra Inżynierii Wodnej; SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 166; 02-787 Warszawa

<sup>(2)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy; Falenty; Al. Hrabaska 3; 05-090 Raszyn

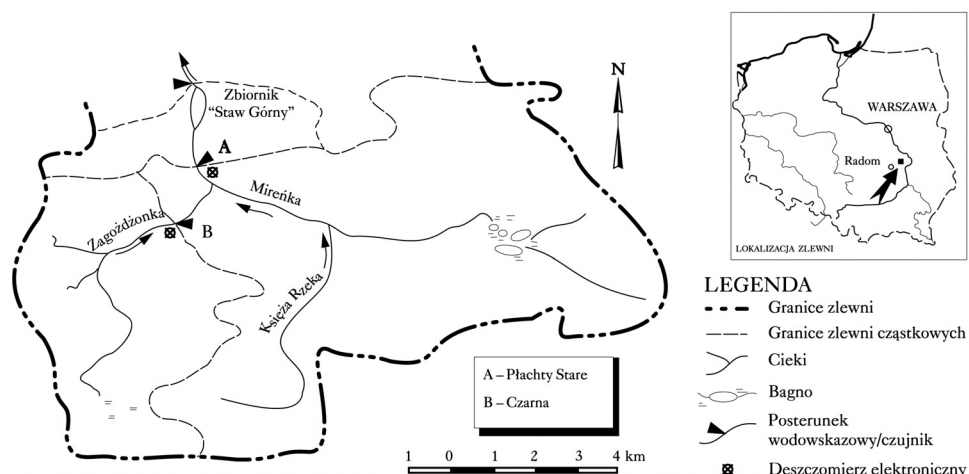
## **Wstęp**

Charakterystyki odpływu rzecznego są ważnymi wskaźnikami stanu zasobów wodnych danego regionu. Wobec rozbieżnych poglądów co do intensywności zmian zasobów wodnych, wywoływanych m.in. zmianami klimatycznymi i użytkowania terenu, dla oceny zmienności tych zasobów konieczne jest prowadzenie wieloletnich pomiarów i badań hydrologicznych w małych zlewniach rzecznych [Kostadinov, Mitrovic 1994; Ciepielowski, Dąbkowski 1995; Bajkowski i in. 2000; Pierzgałski, Tyszka 2005; Holko i in. 2006; Miler i in. 2008, Littelwood i in. 2010; Nisbet i in. 2011]. Badania takie prowadzi Katedra Inżynierii Wodnej (dawniej Budownictwa Wodnego) SGGW w górnym biegu rzeki Zagożdżonki na obrzeżach Puszczy Kozienickiej nieprzerwanie od lipca 1962 roku [Byczkowski i in. 2001; Hejduk i in. 2006; Banasik, Hejduk 2012].

Celem pracy jest analiza tendencji zmian opadu i odpływu w zlewni Zagożdżonki po profil Płachty Stare na podstawie badań terenowych przeprowadzonych w wieloletniu 1963-2011.

---

\* Badania sfinansowane zostały ze środków na naukę w latach 2010-2013 w ramach projektów badawczych Narodowego Centrum Nauki.



Ryc. 1.

Zlewnia rzeki Zagożdżonki  
Zagożdżonka River catchment

## Materiał i metody

**TEREN BADAŃ.** Zagożdżonka, lewy dopływ środkowej Wisły, jest najdłuższą (42 km) rzeką Puszczy Kozienickiej (ryc. 1). Objęta badaniami górna część zlewni położona jest na Równinie Radomskiej, wchodzącej w skład Wzniesień Południowomazowieckich [Kondracki 1968]. Powierzchnia zlewni po profil Płachty Stare wynosi 82,4 km<sup>2</sup>. Badana zlewnia ma charakter nizinny – deniwelacja terenu do analizowanego profilu wynosi 37 m (od 185 do 148 m n.p.m). Średnie spadki głównych cieków wynoszą od 2,5 do 3,5‰. Lokalne depresje (tereny bezodpływowe), niemające wpływu na proces kształtowania się odpływu bezpośredniego i na wydatek rumowiska, stanowią znaczącą część obszaru (19,6 km<sup>2</sup> do profilu Płachty Stare). Grunty orne zajmują przeważający obszar hydrologicznie aktywnej części zlewni, a lasy stanowią 40% jej powierzchni. Szczegółowy opis użytkowania terenu oraz rodzaju gleb podano w pracach Banasika [1983] oraz Hejduka i Igrasa [2011]. W zlewni występują cenne zbiorowiska grądu wysokiego ze starodrzewem dębowym oraz łągów olszowo-jesionowych [Piasecki 1990; Zielony i in. 2008]. Powyżej profilu Płachty Stare znajduje się m.in. rezerwat przyrody Okólny Ług utworzony w 2001 roku dla zachowania siedlisk o charakterze torfowiska przejściowego z żółciem błotnym. Występuje tu również około 30 gatunków ważek i 40 gatunków motyli [Piasecki 1990; Mitrus 2007; Zielony i in. 2008].

Badania w profilu pomiarowym Płachty Stare (51°26'43,8"N; 21°27'35,6"E) zainicjowane zostały w 1962 roku w celu określenia możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych rozwijających się wówczas zakładów chemicznych „Pronit” w Pionkach koło Radomia. Ze wzrostem znaczenia badań środowiskowych, w tym odnawialnych zasobów wodnych, badania hydrologiczne w zlewni Zagożdżonki zostały rozszerzone i zintensyfikowane [Ciepielowski 1995; Banasik i in. 1999, 2006, 2011; Byczkowski i in. 2001; Hejduk, Banasik 2011; Kaznowska, Banasik 2011].

**CHARAKTERYSTYKI OPADU I ODPLYWU.** Roczne i miesięczne wartości opadu dla wielolecia 1982-2011 ustalono na podstawie codziennych pomiarów Katedry Inżynierii Wodnej SGGW na posterunkach Płachty Stare i Czarna. Dane za lata 1963-1982 przyjęto z posterunku opadowego IMGW w Zwoleniu (odległego o około 13 km na południowy wschód od Czarnej). Okresowe

wartości odpływu ustalono na podstawie codziennych notowań stanów wody i krzywej przepływu (konsumcyjnej), weryfikowanej corocznie w oparciu o wielokrotne (8-12-krotne) pomiary hydro-metryczne. Zgodnie z zasadami stosowanymi w państwowej służbie hydrologicznej [Byczkowski 1999] stany wody do roku 1980 odczytywane były przez obserwatora trzy razy dziennie, a w okresach wezbrań nawet co godzinę. W latach 1980-1995 rejestrowane były w sposób ciągły za pomocą limnigrafów mechanicznych, w okresie 1995-2008 za pomocą czujników elektronicznych, a od 2008 roku także z możliwością podglądu wyników rejestracji poprzez Internet. Obok ciągłej rejestracji stanów wody utrzymano kontrolne odczyty wodowskazowe przez obserwatora – jeden raz dziennie.

Analiza zmienności opadu, odpływu oraz rocznych wartości współczynnika odpływu z lat hydrologicznych (1.XI-30.X) w okresie 1963-2010 wykazała istnienie statystycznie istotnego trendu malejącego w odniesieniu do odpływu i współczynnika odpływu, natomiast brak istotnego trendu w odniesieniu do opadu [Banasik, Hejduk 2012]. Prezentowaną tu analizą objęto okres 1963-2011 i uwzględniono opad, odpływ oraz współczynnik odpływu w ujęciu rocznym oraz półrocza letniego (V-X), a także trzy charakterystyki opisujące przepływy charakterystyczne z poszczególnych lat hydrologicznych: przepływ zwyczajny (mediana), przepływ zwyczajny okresu letniego oraz przepływ średni niski 30-dniowy. Podane charakterystyki dla poszczególnych lat wyznaczono według Byczkowskiego [1999].

ANALIZA TRENDU. Do oceny trendu analizowanych charakterystyk opadu i odpływu zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla [Węglarczyk 2010; Rutkowska, Ptak 2012], często stosowany w analizach trendu wielkości klimatycznych i hydrologicznych [Kundzewicz i in. 2005; Maksymiuk i in. 2008; Wrzesiński 2009]. Statystyka  $S$  Manna-Kendalla szeregu czasowego wyznaczana jest ze wzoru:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign} (x_j - x_k) \quad [1]$$

gdzie:

$$\text{sign} (x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{dla } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{dla } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad [2]$$

$n$  – liczba elementów szeregu czasowego.

Poszczególne elementy uporządkowanej serii są porównywane z poprzednimi. Wyjściowa wartość statystyki  $S$  jest przyjmowana jako 0 (brak trendu). Jeśli element następny jest większy od poprzedniego, to  $S$  zwiększa się o 1. W przeciwnym wypadku  $S$  jest zmniejszane o 1. Wysoka dodatnia wartość  $S$  jest wskaźnikiem trendu rosnącego, a bardzo niska ujemna wskazuje na trend malejący.

Na podstawie znormalizowanej statystyki testowej, wyznaczonej z równania:

$$Z = \frac{S - \text{sign} (S)}{\text{VAR}(S)^{1/2}} \quad [3]$$

gdzie:

$\text{VAR}(S)$  jest wariancją  $S$ , określoną z równania:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} (n \cdot (n-1) \cdot (2n+5)) \quad [4]$$

obliczono prawdopodobieństwo, związane ze znormalizowaną statystyką testową  $Z$ . Trend jest uznawany za malejący, jeśli  $Z$  ma wartość ujemną, a obliczone prawdopodobieństwo jest mniejsze, przy zastosowaniu testu jednostronnego, od przyjętego w badaniach poziomu istotności  $\alpha=0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

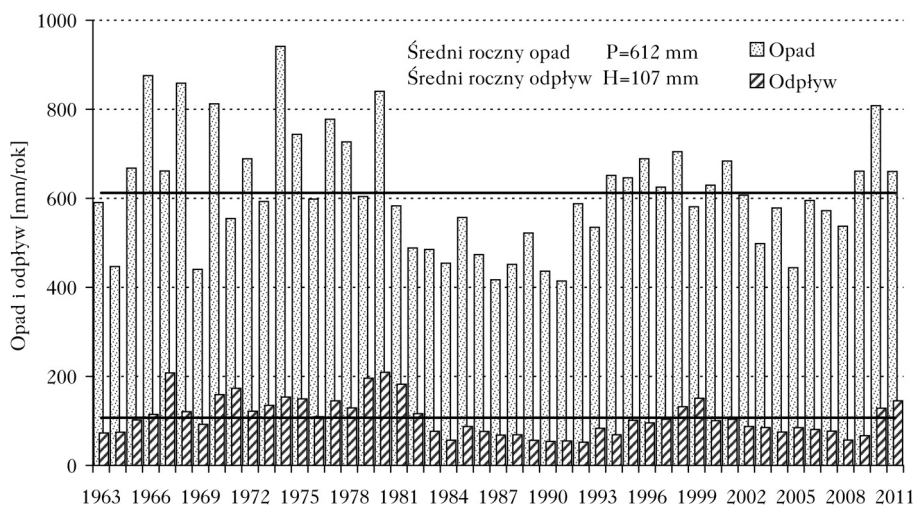
Średni roczny opad i odpływ dla badanego obszaru wynoszą odpowiednio 612 mm i 107 mm (tab. 1). Największą roczną sumę opadu (941 mm) zarejestrowano w 1974 roku, a najmniejszą

Tabela 1.

Podstawowe charakterystyki opadu, odpływu i wybranych przepływów charakterystycznych rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w okresie 1963-2011

Basic characteristics of precipitation, runoff and discharge of Zagożdżonka river at Płachty Stare gauge for 1963-2011

	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik asymetrii
Wartości roczne				
Opad [mm]	612,2	128,2	0,209	0,538
Odpływ [mm]	106,9	41,6	0,389	0,808
Współczynnik odpływu	0,174	0,056	0,323	1,215
Wartości półroczia letniego (V-X)				
Opad [mm]	388,9	109,6	0,282	0,939
Odpływ [mm]	39,5	24,4	0,617	2,457
Współczynnik odpływu	0,098	0,037	0,383	1,829
Wybrane przepływy charakterystyczne				
Przepływ zwyczajny [ $m^3/s$ ]	0,209	0,068	0,326	0,726
Przepływ zwyczajny okresu letniego [ $m^3/s$ ]	0,157	0,078	0,499	1,785
Przepływ średni niski 30-dniowy [ $m^3/s$ ]	0,102	0,047	0,460	1,054

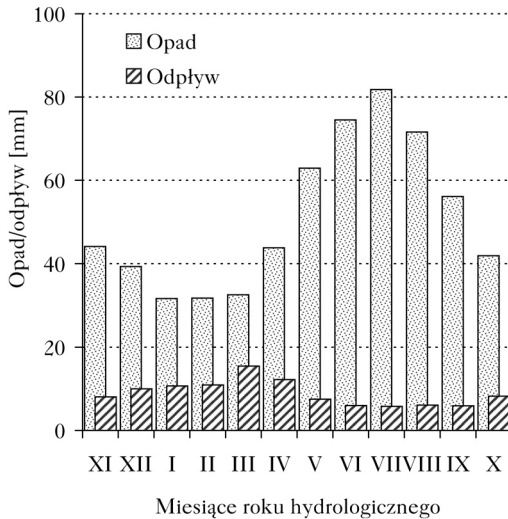


Ryc. 2.

Roczne suma opadu i odpływu w zlewni Zagożdżonki po profil Płachty Stare w okresie 1963-2011

Annual precipitation and runoff for the Zagożdżonka catchment upstream of the Płachty Stare gauge for the hydrological years 1963-2011

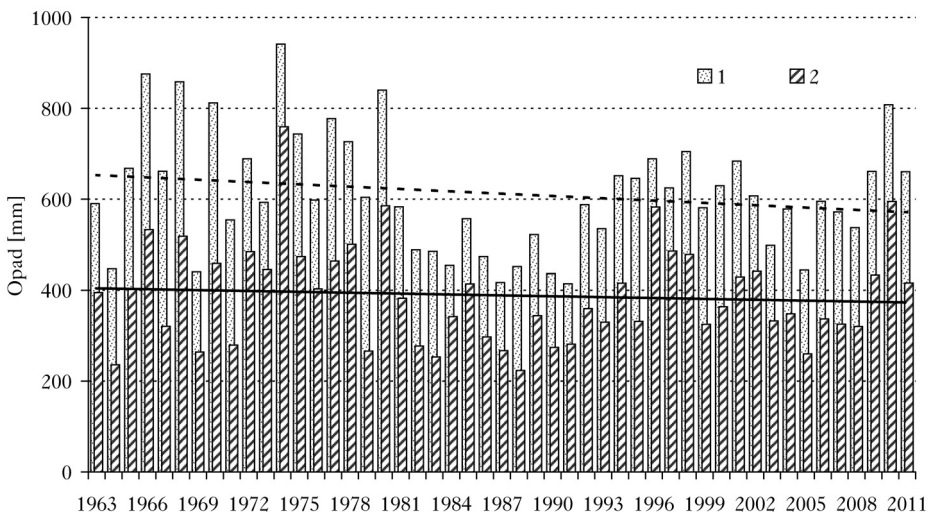
(414 mm) – w 1991 roku. Największy odpływ roczny (209 mm) wystąpił w 1980 roku, a najmniejszy (52 mm) – w 1992 roku (ryc. 2). Miesiącem o najwyższych opadach (średnio 81,8 mm) jest lipiec, natomiast styczeń cechuje się najmniejszymi opadami (31,7 mm). Miesiącem najzabobniejszym w wodę jest marzec (odpływ 15,5 mm), natomiast najuboższym (odpływ 5,8 mm) jest lipiec (ryc. 3). Rok hydrologiczny 2011 cechował się zarówno wyższą sumą opadu, jak i większym odpływem niż średnie z wielolecia (ryc. 4). Średni współczynnik odpływu (stosunek odpływu do opadu) wynosi 0,175. Ta niska wartość (przy średniej krajowej ok. 0,28) wynika z dużego udziału w powierzchni zlewni terenów leśnych, obszarów bezodpływowych i mokradłowych.



Ryc. 3.

Średni rozkład w roku opadu i odpływu w zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w wieloleciu 1963-2011

Mean annual distribution of precipitation and runoff in the Zagożdżonka catchment at the Płachty Stare gauge in the period 1963-2011



Ryc. 4.

Suma opadów rocznych (1) i półrocza letniego (2) w zlewni rzeki Zagożdżonki po profil Płachty Stare w wieloleciu 1963-2011

Changes of annual (1) and summer period (2) precipitation in the Zagożdżonka catchment upstream of the Płachty gauge station for the period 1963-2011

Tabela 2.

Analiza trendu opadu, odpływu i wybranych przepływów charakterystycznych rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w okresie 1963-2011

Trend analysis for precipitation, runoff and discharge of Zagożdżonka river at Płachty Stare gauge for 1963-2011

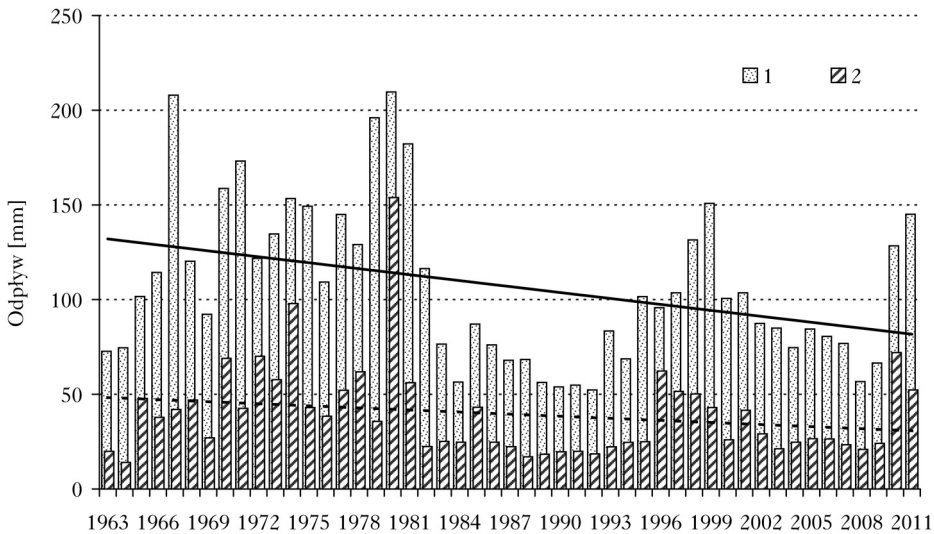
	Zakres	S Manna-Kendalla	Z testowe	Wartość p	Trend na poziomie istotności 5%
Wartości roczne					
Opad [mm]	414,3-941,4	-121	-1,034	0,150	brak
Odpływ [mm]	52,2-209,2	-254	-2,181	0,015	malejący
Współczynnik odpływu	0,088-0,320	-260	-2,232	0,013	malejący
Wartości półrocza letniego (V-X)					
Opad [mm]	223,4-759,4	-28	-0,233	0,408	brak
Odpływ [mm]	14,1-153,9	-154	-1,319	0,094	brak
Współczynnik odpływu	0,050-0,265	-258	-2,215	0,013	malejący
Wybrane przepływy charakterystyczne					
Przepływ zwyczajny [m <sup>3</sup> /s]	0,110-0,368	-237	-2,034	0,021	malejący
Przepływ zwyczajny okresu letniego [m <sup>3</sup> /s]	0,064-0,468	-219	-1,879	0,030	malejący
Przepływ średni niski 30-dniowy [m <sup>3</sup> /s]	0,032-0,234	-257	-2,207	0,014	malejący

Ujemne wartości statystyki Manna-Kendalla (tab. 2) wskazują na występowanie tendencji malejących w odniesieniu do wszystkich dziewięciu analizowanych parametrów meteorologicznych i hydrologicznych. Występowanie istotnych statystycznie trendów stwierdzono w odniesieniu do sześciu charakterystyk. Brak trendu stwierdzono w przypadku rocznej sumy opadów i sumy opadów półrocza letniego oraz odpływu półrocza letniego. Brak istotnego trendu malejącego w odniesieniu do charakterystyk opadowych, mimo istniejącej tendencji zmniejszania się sumy opadów rocznych, a także sumy opadów półrocza letniego (tab. 2, ryc. 4) oraz stwierdzony malejący trend odpływu rocznego (tab. 2, ryc. 5) świadczą o zwiększającej się ewapotranspiracji. Może to również być wynikiem wzrostu średniej temperatury powietrza, wpływającej na zwiększenie parowania, oraz/lub zwiększonej produkcji biomasy, wywołanej wzrostem temperatury lub zmienioną gospodarką zarówno na użytkach rolnych, jak i na terenach leśnych. W odniesieniu do odpływu letniego półrocza hydrologicznego zaznacza się jedynie tendencja zmniejszania się odpływu przy braku istotności tego trendu. Zważywszy, że pozostałe charakterystyki hydrologiczne wykazują trend malejący, można wnioskować, iż na ten brak trendu mogą mieć wpływ zwiększające się krótkookresowe odpływy wezbraniowe wywołane opadami burzowymi. Jednakże potwierdzenie tej hipotezy wymaga oddzielnych badań.

Występowanie trendu malejącego w odniesieniu do przepływów z grupy mniejszych od średnich wskazuje na pogłębianie się okresów z deficytem wody w rejonie Puszczy Kozienickiej. Jest to z jednej strony wskazanie, iż mimo znacznego udziału terenów leśnych w powierzchni zlewni postępuje problem pogłębiania się niżówek, z drugiej potwierdzenie konieczności, biorąc pod uwagę znaczne odpływy w okresach wiosennych (ryc. 3), implementacji programu małej retencji w tym rejonie [Bajkowski i in. 2000; Olenderek i in. 2008; Paschalis-Jakubowicz 2011] dla poprawy stosunków wodnych w okresach posusznych.

Przedstawione wyniki badań wskazujące na zmniejszanie się zasobów wodnych (przepływu średniego rocznego), a także wybranych przepływów niższych od średniego, nie określają przyczyn tych zmian. Hipotezy o możliwym wpływie zmian klimatu na zmiany zasobów wodnych





Ryc. 5.

Zmienność odpływu rocznego (1) i w półroczu letnim (2) ze zlewni rzeki Zagożdżonki w profilu Płachty Stare w wieloletniu 1963-2011

Changes of annual (1) and summer period (2) runoff from the Zagożdżonka catchment in the Płachty gauge station for the period 1963-2011

w rozpatrywanej zlewni oraz o znaczeniu zalesienia zlewni na zmienność czasową odpływu, mające swe uzasadnienia w innych pracach [Bates i in. 2008; Tysza 2008; Furniss 2010; Stasik i in. 2011], wymagają tu oddzielnych badań, z włączeniem odpowiednio parametrów meteorologicznych (temperatura powietrza) oraz dodatkowej zlewni rzecznej o wskaźniku lesistości różnym od zlewni Zagożdżonki.

## Wnioski

- ✦ Wieloletnie badania hydrologiczne w zlewni Zagożdżonki w Puszczy Kozienickiej wskazują na zmniejszanie się zasobów wodnych w tym rejonie.
- ✦ Występowanie istotnego trendu malejącego stwierdzono w odniesieniu do rocznego odpływu rzeczego, rocznego współczynnika odpływu, współczynnika odpływu dla półroczia letniego, przepływu zwyczajnego rocznego, przepływu zwyczajnego półroczia letniego i przepływu średniego niskiego 30-dniowego.
- ✦ Dalsze monitorowanie parametrów meteorologicznych i hydrologicznych, jak również badania przyrostu biomasy na użytkach rolnych i terenach leśnych, są konieczne dla wskazania przyczyn trendów malejących wymienionych wyżej charakterystyk zasobów wodnych.

## Literatura

- Bajkowski S., Ciepeliowski A., Dąbkowski S., Fortuński M. 2000. Możliwości zwiększenia retencji wodnej w lasach obrębu Zwoleń w Puszczy Kozienickiej. *Prac. Inst. Bad. Leś. A.* 4 (905): 29-52.
- Banasik K. 1983. Rozmieszczenie użytków w zlewni jako czynnik minimalizujący natężenie transportu rumowiska w korycie rzeczonym. *Maszynopis, Katedra Inżynierii Wodnej SGGW, Warszawa.*
- Banasik K., Barszcz M., Hejduk L. 2006. Importance of watershed lag times in IUSG development. W: Rowan J. S., Duck R. W., Werritty A. [red.]. *Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems. Proceedings of IAHS-ICCE Symposium, Dundee, July 2-7, 2006. IAHS Publ. 306: 574-581.*
- Banasik K., Hejduk L. 2012. Long-term changes in runoff from a small agricultural catchment. *Soil & Water Res.* 7 (2): 64-72.

- Banasik K., Mitchell J. K., Walker S. E., Rudzka E. 1999. Comparison of nutrient outputs from two lowland watersheds with different agricultural practices. W: Heathwaite L. [red.]. Impact of Land-Use Change on Nutrient Loads from Diffuse Sources. Proceedings of IUGG 99, Symposium HS3, Birmingham, July 18-30, 1999. IAHS Publ. 257: 13-16.
- Banasik K., Oygarden L., Hejduk L. [red.]. 2011. Prediction and reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas – case study of small agricultural catchments. Wydawnictwa SGGW, Warszawa.
- Bates B. C., Kundzewicz Z. W., Wu S., Palutikof J. P. [red.]. 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva.
- Byczkowski A. 1999. Hydrologia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Byczkowski A., Banasik K., Hejduk L., Mandes B. 2001. Wieloletnie tendencje zmian opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych na przykładzie rzeki Zagożdżonki. W: Jaworski J., Szkutnicki J. [red.]. Dynamika Obiegu Wody w Zlewniach Rzecznych. Monografie: Polskie Towarzystwo Geofizyczne IMGW, Warszawa. 43-52.
- Ciepielowski A. [red.]. 1995. Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych. Wydawnictwa SGGW, Warszawa.
- Ciepielowski A., Dąbkowski S. L. 1995. Problemy małej retencji w lasach. Sylwan 139 (11): 31-47.
- Furniss M. J., Staab B. P., Hazelhurst S., Clifton C. F., Roby K. B., Ilhadrt B. L., Larry E. B., Todd A. H., Reid L. M., Hines S. J., Bennett K. A., Luce C. H., Edwards P. J. 2010. Water, climate change, and forests: watershed stewardship for a changing climate. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-812. Portland. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Hejduk A., Banasik K. 2011. Recorded lag times of snowmelt events in a small catchment. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 43 (1): 37–46. DOI: 10.2478/v10060-008-0091-5.
- Hejduk L., Hejduk A., Banasik K. 2006. Suspended sediment transport during rainfall and snowmelt-rainfall floods in a small lowland catchment, Central Poland. W: Owens P. N., Collins A. J. [red.]. Soil Erosion and Sediment redistribution in River catchments: Measurements, Modelling and Mangement. 94-100. DOI: 10.1079/9780851990507.0094.
- Hejduk L., Igras J. [red.]. 2011. Dobre praktyki ochrony zlewni rzecznych w świetle Dyrektywy Azotanowej i innych standardów Unii Europejskiej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Holko L., Herrmann A., Kulasova A. 2006. Changes in runoff regimes in small catchments in Central Europe: Are there any? IAHS Publ. 308: 508-513.
- Kaznowska E., Banasik K. 2011. Streamflow droughts and probability of their occurrence in a small agricultural catchment. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 43 (1): 57–69. DOI: 10.2478/v10060-008-0093-3.
- Kondracki J. 1968. Problemy regionalizacji fizyczno-geograficznej. Prace Geograficzne 69: 13-41.
- Kostadinov S. C., Mitrovic S. S. 1994. Effect of forest cover on the stream flow from small watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 49 (4): 382-386.
- Kundzewicz Z. W., Graczyk W., Maurer T., Pińskwar I., Radziejewski M., Svensson C., Szwed M. 2005. Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. Hydrological Sciences Journal 50 (5): 797–810.
- Littelwood I., Miklanek P., Pfister L., Schröder U., Schumann S. 2010. Braunschweig Declaration: The need for a global network of long-term small hydrological research basins. IAHS Publ. 336: 305-307.
- Maksymiuk A., Furmańczyk K., Ignar S., Krupa J., Okruszko T. 2008. Analiza zmienności parametrów klimatycznych i hydrologicznych w dolinie rzeki Biebrzy. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 3 (41): 59-68.
- Miler A. T., Kamiński B., Czerniak A., Grajewski S., Okoński B., Korzak M., Krysztofiak A., Poszyler-Adamska A. 2008. Metodyka ochrony zasobów wodnych leśnych obszarów mokradłowych. Studia i Materiały CEPL 10 (2): 115-124.
- Mitrus S. 2007. Metody badań i ochrony zółwia błotnego. Podręcznik metodyczny. Uniwersytet Opolski. Opole.
- Nisbet T., Silgram M., Shah N., Morrow K., Broadmeadow S. 2011. Woodland for Water: Woodland measures for meeting Water Framework Directive objectives. Summary of final report from Forest Research to the Environment Agency and Forestry Commission (England). Environment Agency, Horizon House, Bristol.
- Olenderek H., Zabrocka U., Przybyłek Ł., Lamentowicz M., Jarzombkowski F. 2008. Aktywne metody ochrony przyrody w zrównoważonym leśnictwie – Woda dla lasu, las dla wody – Wnioski. Studia i Materiały CEPL 10 (2): 367-368.
- Paschalis-Jakubowicz P. 2011. Teoretyczne podstawy i realizacja idei zrównoważonego rozwoju w leśnictwie. Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development 6 (2): 101-106.
- Piasecki K. 1990. Radomskie szlaki piesze. Wydawnictwo PTTK „Kraj”, Warszawa.
- Pierzgański E., Tyszka J. 2005. Water outflow during drought years in watersheds with various forest cover. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Land Reclamation 36: 21-28.
- Rutkowska A., Ptak M. 2012. On certain stationary tests for hydrological series. Studia Geotechnica et Mechanica 34 (1): 51-63.
- Stasik R., Szafranski C., Korytowski M., Liberacki D. 2011. Kształtowanie się zasobów wodnych w małych zlewniach leśnych na obszarze Wielkopolski. Rocznik Ochrona Środowiska 13: 1679-1696.



- Tyszka J. 2008. Hydrologiczne funkcje lasu w małych nizinnych zlewniach rzecznych. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Rozprawy i Monografie 10.
- Węglarczyk S. 2010. Statystyka w inżynierii środowiska. Wydawnictwo PK, Kraków.
- Wrześciński D. 2009. Tendencje zmian przepływu rzek Polski w drugiej połowie XX wieku. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach. 60.
- Zielony R., Kacprzak P., Kurowski M. 2008. Puszcza Kozienicka jako obiekt badań i edukacji ekologicznej. Studia i Materiały CEPL 10 (3): 70-81.

## SUMMARY

### Long-term variability of runoff from a small catchment in the region of the Kozienice Forest

Many years of research in the catchment of Zagożdżonka river (central Poland) conducted continuously since July 1962 are the basis for the analysis of trends in selected parameters of water resources in the area. The catchment area upstream of Płachty Stare gauge equals 82.4 km<sup>2</sup>. Average slope of the main streams ranges from 2.5 to 3.5‰. Forests cover 40% of the catchment. Sandy soils are the dominant soil type. The average annual precipitation and runoff for this area are 612 mm and 107 mm, respectively. July is the month with the highest rainfall, while January is characterized by the least precipitation. March has the richest water resources (15.5 mm of runoff), while July – the poorest (runoff 5.8 mm). Average runoff ratio is 0.175. This low value is because of large share of forest land, local depressions and wetlands in the catchment area.

Mann-Kendall test was used for trend analysis. Decreased trend was found for annual runoff and annual runoff coefficient, median discharge, summer half-year runoff coefficient, median summer discharge and for low mean 30-day discharge. No trend was detected for annual precipitation and summer half year precipitation nor for summer half year runoff.