

**Marian MICHALCZEWSKI, Czesław LIPSKI,
Małgorzata GÓRALCZYK**

Ocena zasobów wodnych mikrozelewni w terenach górskich

Abstract

Estimation of water resources in a mountain micro-catchment area. In this study is presented an example of calculating water balance of a small mountain catchment area, considering its water resources and their regeneration in circulation processes. Water balance was calculated based on the studies carried out in the experimental catchment area of the Izwór stream belonging to the Department of Water Management and Water Protection, Agricultural University of Cracow. The catchment area under study is situated in the Poprad river basin in the Beskid Sądecki region. It is equipped with a measuring device, Thomson's overfall with a limnigraph. The study made use of the method for calculating water balance, proposed by Ostromecki. In addition, some characteristics are given of geographical environment, operational use and hydrological conditions of the studied catchment area. Calculations of water balance under natural conditions indicate that the Izwór stream catchment area has considerable retention reserves which result from proper management of the area.

Key words: mountain stream, catchment area, water balance, forest.

Wstęp

Jednym z ważnych zadań, stojących przed hydrologią są badania dotyczące obiegu wody w zlewni. Obieg ten w sposób wymierny wyraża się bilansem wodnym, który jest wynikiem działania cało-

kształtu procesów wodnych w obrębie danej zlewni. Określenie bilansu wodnego ma duże znaczenie naukowe i praktyczne. Informuje on o wielkości zasobów wodnych rozpatrywanego obszaru. Szczególnie istotna jest znajomość bilansu wodnego obszarów górskich. Rzeki posiadające swoje źródła w terenach górskich decydują o procesach i zasobach wodnych terenów niżej położonych.

W związku ze wzrastającym zapotrzebowaniem na wodę zarówno pod względem jej ilości, jak i jakości, coraz dokładniej zaczyna się oceniać jej zasoby, poszukiwać rezerw i optymalnie nimi dysponować. Coraz częściej bierze się pod uwagę zasoby wodne małych cieków górskich dla zaspokojenia przede wszystkim potrzeb lokalnych. Coraz też większe są wymagania dotyczące dokładności w ustalaniu ilości wody i dynamiki jej odpływu.

Zasobność wodna regionu karpackiego, jak i innych regionów górskich (Dynowska 1975; Michalczewski 1992; Polak i Michalczewski 1984) jest znaczna i tutaj istnieją źródła zaopatrzenia konsumentów w wodę. Obliczenie bilansu wodnego małych zlewni górskich jest bardzo utrudnione. Powodują to między innymi złożone warunki geologiczne,

brak szczegółowego rozeznania warunków hydrogeologicznych obszaru zasilania, a także brak występowania zwierciadła wody gruntowej. Niemożliwe jest też określenie wielkości parowania terenowego, spowodowanego w dużej mierze chwilowym stanem warunków hydrologicznych i meteorologicznych, porą roku, aktualnym stanem wilgotności lasu i gleby oraz czynnikami klimatycznymi i rodzajem siedliska leśnego (Byczkowski 1976). Wielkości stanów wody w okresach przejściowych przyjęto jako miarę stanu retencji zlewni na końcu każdego roku. Mając na uwadze powyższe uwarunkowania, w pracy zastosowano prostą metodę obliczania składników bilansu wodnego, nawet kosztem zmniejszenia ich dokładności, zaproponowaną przez Ostromeckiego (1956).

Opracowanie zawiera określenie bilansu wodnego zlewni doświadczalnej potoku Izwór, prawobrzeżnego dopływu Czarnego Potoku koło Krynicy.

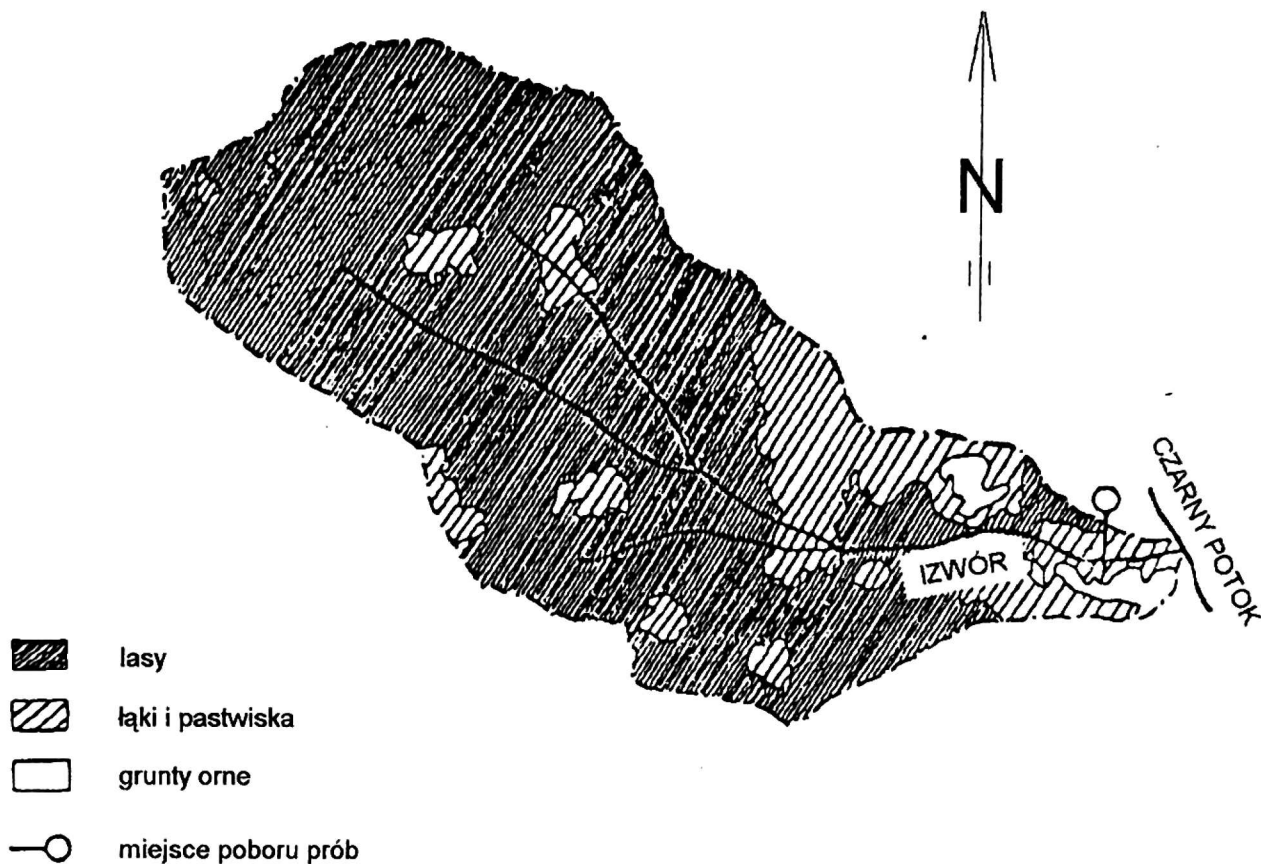
Charakterystyka zlewni potoku Izwór

Zlewnia potoku Izwór (rys. 1) jest obiektem badawczym Zakładu Gospodarki Wodnej i Ochrony Wód Akademii Rolniczej w Krakowie. Zlewnia znajduje się w dorzeczu rzeki Poprad w Beskidzie Sądeckim. Źródła potoku wypływają u podnóża Jaworzyny Krynickiej (1072,3 m n.p.m.).

Powierzchnia zlewni wynosi 2,169 km². Sieć hydrograficzna ma układ pierzasty, typowy dla potoków karpaccich. Długość cieków głównego wraz z odcinkiem źródłowym wynosi 2,604 km. Łączna

długość dopływów wynosi 1,420 km. Całkowita długość linii wododziałowej wynosi 6,425 km. Gęstość sieci hydrograficznej wynosi 1,88 km/km², a przeciętna szerokość zlewni 0,833 km. Przeciętne wzniesienie zlewni nad poziom morza wynosi 800,7 m. Największa deniwelacja zlewni wynosi 454,3 m. Na terenie zlewni w przeważającej części występują duże spadki zboczy. Zbocza o spadku zawartym w przedziale 10–20% zajmują 57,8% powierzchni zlewni, czyli 1,254 km². Znacznie mniejszą powierzchnię zajmują tereny o spadkach 20–30% i wynoszą 0,579 km², co stanowi 26,7% całej powierzchni zlewni. Najwyższe spadki mające powyżej 30%, występują w części przyszczytowej zlewni i zajmują 0,8% jej powierzchni. Spadki zawarte w przedziale 0–5% zajmują 14,7% powierzchni zlewni. Średni spadek dla całej zlewni wynosi 16,675%.

Gleby posiadają cechy gleb górskich i charakteryzują się zmiennością pokrywy glebowej zależnej od spadków zboczy. Klimat zlewni zalicza się do typowo górskiego i cechuje go znaczna wilgotność powietrza oraz duża ilość opadów. Okres wegetacyjny trwa 150–170 dni. Najwięcej opadów występuje w miesiącach letnich – czerwcu i lipcu. Średnia roczna suma opadów wynosi 870–950 mm. Dni deszczowych w ciągu roku jest około 140. Dni ze śniegiem jest około 60 w ciągu roku. Pierwszy śnieg pojawia się pod koniec października. Trwała pokrywa śnieżna występuje od grudnia przez okres 120–130 dni w roku. Grubość pokrywy śnieżnej osiąga 150 cm. Okres ze średnią temperaturą poniżej zera trwa 110–120 dni. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 5,2°C.



RYSUNEK 1. Obszar zlewni potoku Izwór

Przeważającą część zlewni zajmują użytki leśne, których największe zgrupowanie występuje w części przyszczytowej zlewni. W zbiorowisku leśnym przeważa las różnowiekowy o bardzo dużej różnorodności gatunków. Dominującym gatunkiem jest świerk, w mniejszej ilości występuje sosna i jodła. Drzewostan liściasty stanowi 10% składu lasu. Skład gatunkowy lasu związany jest z układem hipsometrycznym. Do wysokości 700 m n.p.m. występują lasy świerkowe z domieszką buka, sosny, jawora i wiązu. Przedział wysokości 750–850 m n.p.m. zajmuje obszar lasu sosnowego i bukowego. W obszarze przyszczytowym, powyżej 900 m n.p.m. występuje las bukowy z domieszką sosny i modrzewia. Stopień lesistości zlewni wynosi 76%, a wskaźnik rozwinięcia lesistości 0,825.

Drugą formę użytkowania zlewni stanowią użytki zielone, zajmujące 11% powierzchni zlewni. Są to głównie łąki kośno-pastwiskowe oraz tereny wypasowe występujące na większych wzniesieniach. Grunty orne zajmują około 3% powierzchni zlewni i występują w systemie tarasowej uprawy do wysokości 700 m n.p.m.

Przedstawione powyżej czynniki powodują, że reżim hydrologiczny zlewni potoku Izwór, określony przy zastosowaniu urządzenia przelewowego, wyposażonego w limnigraf, posiada następujące cechy:

- Największe maksymalne przepływy występują w miesiącach wczesnowiosennych – marcu i kwietniu, czyli w okresie trwania roztopów;
- Największy maksymalny przepływ wynosi 182 l/s;

- Przepływy najmniejsze występują najczęściej w październiku i wahają się w przedziale 2–1 l/s;

- Największa różnica między maksymalnymi i minimalnymi przepływami wynosi 179 l/s;

- Krzywa częstości przepływów dobowych charakteryzuje się rozkładem skrajnie asymetrycznym;

- Z krzywej sum czasów trwania wynika, że najdłużej trwające przepływy zawierają się w przedziale 10–6 l/s;

- Przepływy wysokie w ciągu roku trwają 23 dni, przepływy niskie 75 dni, natomiast przepływy w strefie średniej 267 dni.

Materiały wyjściowe i ich ocena

Przy opracowaniu podjętego zagadnienia oparto się na wynikach badań elementów bilansowych prowadzonych w latach 1976–1988 w stacji doświadczalnej znajdującej się w Czarnym Potoku koło Krynicy, której integralną część stanowi zlewnia doświadczalna potoku Izwór. W pracy wykorzystano pomiary:

- stanów i przepływów wody w profilu kluczowym,
- opadów oraz oparte na nich wskaźniki opadowe,
- czynników meteorologicznych, głównie niedosyty wilgotności powietrza.

Materiał wyjściowy poddano badaniom pod względem jednorodności, przy zastosowaniu testu serii Walda-Wolfovitz (Pruchnicki 1976). Jest to test nieparametryczny, nie wymagający założeń typu rozkładu zbiorowości generalnej, z której pochodzi dana próba oraz

estymowania parametrów w tej próbie. Zakłada się jedynie, że rozkład w zbiorowości jest ciągły, a próby pobierane są niezależnie. Dane wyjściowe zweryfikowane powyższym testem pozwalają stwierdzić, że dane ciągi (opady atmosferyczne, odpływy, niedosyty wilgotności powietrza, stany wody w okresach przejściowych) są jednorodne i mogą być zastosowane do obliczenia bilansu wodnego przy zastosowaniu metody Ostromęckiego (1956).

Nazewnictwo stosowane w niniejszym opracowaniu zostało zaczerpnięte ze słownictwa polskiej hydrologii. Przyjęto również zasadę niepodawania definicji poszczególnych terminów, gdyż można je znaleźć w odnośnej literaturze.

Obliczanie bilansu wodnego

Dane, zweryfikowane pod względem jednorodności, posłużyły jako materiał wyjściowy do obliczenia bilansu wodnego zlewni potoku Izwór metodą Ostromęckiego (1956), polegającą na rozwiązaniu równania:

$$P - H = a \cdot P \cdot D + b \cdot \Delta h \quad (1)$$

gdzie:

P – wskaźnik opadowy określony na podstawie sum miesięcznych opadów przy zastosowaniu metody hipsometrycznej (mm),

H – odpływ (mm),

D – suma średnich dobowych niedosytów wilgotności powietrza z danego roku (mm Hg),

Δh – przyrost stanu wody w profilu kluczowym w okresie przejściowym (cm),

a, b – współczynniki wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów

$$\sum xy - a \cdot \sum x^2 - b \cdot \sum xz = 0 \quad (2)$$

$$\sum yz - a \cdot \sum xz - b \cdot \sum z^2 = 0 \quad (3)$$

gdzie:

$$y = P - H = S \quad (4)$$

$$x = P \cdot D \quad (5)$$

$$z = \Delta h \quad (6)$$

Sprawdzenie prawidłowości ich rozwiązania i ścisłości obliczonego związku przeprowadzono metodą obliczenia współczynnika korelacji wielokrotnej R przy zastosowaniu formuły

$$R = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{yz}^2 - 2r_{xy} \cdot r_{yz} \cdot r_{xz}}{1 - r_{xz}^2}} \quad (7)$$

gdzie: r_{xy} , r_{yz} , r_{xz} – współczynniki korelacji liniowej pomiędzy zmiennymi x i y , y i z oraz x i z ,

$$r_{xy} = \frac{m \cdot S_x}{S_y}, \quad r_{yz} = \frac{m \cdot S_y}{S_z},$$

$$r_{xz} = \frac{m \cdot S_x}{S_z} \quad (8)$$

gdzie:

m – współczynnik kierunkowy prostej regresji,

S_x – odchylenie standardowe zmiennej x ,

S_y – odchylenie standardowe zmiennej y ,

S_z – odchylenie standardowe zmiennej z ,

oraz zastosowaniu testu F przy użyciu formuły:

$$F = \frac{R^2(N - k - 1)}{(1 - R^2)k} \quad (9)$$

gdzie:

N – ilość wyrazów w ciągu,

k – liczba zmiennych niezależnych.

Przy zastosowaniu powyższych formuł uzyskano następujące wyniki sprawdzone testem Studenta- t i F Snedecora:

$$r_{xy} = 0,9352 \quad t = 8,759 \quad \alpha = 0,001$$

$$r_{yz} = 0,4309 \quad t = 1,584 \quad \alpha = 0,1$$

$$r_{xz} = 0,4757 \quad t = 1,794 \quad \alpha = 0,1$$

$$R = 0,9353 \quad F = 34,9327 \quad \alpha = 0,05$$

gdzie: α – poziom istotności.

Dane umożliwiające obliczenie wielkości parametrów charakteryzujących warunki parowania terenowego i kształtowania retencji w rozpatrywanym 13-letnim okresie badawczym są następujące:

$$\sum xy = 5909201531,0$$

$$\sum x^2 = 5,7655005 \quad (12)$$

$$\sum xz = -2903013,24 \quad a = 0,00101$$

$$\sum yz = -3332,57 \quad b = -8,04176$$

$$\sum z^2 = 45,88$$

Znając wielkość parametrów a i b charakteryzujących warunki parowania terenowego oraz kształtowania retencji zlewni w przyjętym okresie badań, można określić wielkości parowania terenowego i zmian retencji dla okresu bilansowego za pomocą wzorów

$$V' = a \cdot P \cdot D \quad (10)$$

$$\Delta R' = b \cdot \Delta h \quad (11)$$

gdzie:

V' – wynik surowy parowania (mm),

$\Delta R'$ – wynik surowy zmian retencji (mm)

Stosując wzór na odchylenie (δ):

$$\delta = S - (V' + \Delta R') \quad (12)$$

gdzie: S – różnica między opadem i odpływem (mm),

TABELA 1. Obliczenie elementów bilansu wodnego

Rok	Wielkości wyjściowe			Wielkości pomocnicze				
	P [mm]	H [mm]	$S = P - H$ [mm]	D [mm Hg]	h_k [cm]	h_p [cm]	$\Delta h = h_k - h_p$ [cm]	$P \cdot D$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1976	901	199,8	701,2	715,4	11,4	10,5	0,9	644575,4
1977	893	255,5	637,5	713,0	9,9	11,4	-1,5	636709,0
1978	886	271,4	614,6	711,3	8,8	9,9	-1,1	630211,8
1979	840	238,8	601,2	700,6	17,5	18,8	-1,3	588504,0
1980	1128	224,8	903,2	767,0	17,4	18,8	-1,4	865176,0
1981	891	210,7	680,3	712,3	15,2	17,4	-2,2	634659,3
1982	761	219,0	542,0	682,6	10,5	15,2	-4,7	519458,6
1983	1009	264,3	744,7	740,0	12,0	10,5	1,5	746660,0
1984	732	154,2	577,8	675,7	11,3	12,0	-0,7	494612,4
1985	1231	329,4	901,6	790,5	14,0	11,3	2,7	973105,5
1986	828	216,6	611,4	698,1	11,0	10,0	1,0	578026,8
1987	868	222,4	645,8	707,2	10,5	10,5	0,0	613849,6
1988	814	201,7	612,3	694,9	9,5	9,5	0,0	565648,6
Suma	11782	3008,6	8773,6	9308,6	159,0	165,8	-9,5	8491197,0
Średnia	906,3	231,4	674,9	716,1	12,2	12,8	-0,73	653169,0

P – opad, H – odpływ, D – niedosyty, h_k – stan końcowy na wodowskaziu, h_p – stan początkowy na wodowskaziu, D – wskaźnik parowania, V' – parowanie (wyniki surowe), $\Delta R'$ – przyrost retencji (wyniki surowe)

wyliczamy parowanie wyrównane wstępnie (Ostromęcki 1956):

$$V'' = V' \pm 0,5\delta \quad (13)$$

oraz wynik wyrównany wstępny przyrostu retencji w poszczególnych latach (Ostromęcki 1956):

$$\Delta R'' = R' \pm 0,5\delta \quad (14)$$

Wyrównania danych wielkości bilansowych z poszczególnych lat przeprowadzono za pomocą rachunku wyrównawczego i przy założeniu warunku zgodności sumy rocznych wielkości parowania, zmian retencji z różnicą opadu i odpływu w każdym roku.

Wyniki obliczeń elementów bilansu wodnego zlewni doświadczalnej potoku Izwór zawierają tabele 1 i 2.

Charakterystyka uzyskanych wyników

Na podstawie uzyskanych wyników badań i przeprowadzonych obliczeń dla zlewni doświadczalnej potoku górskiego Izwór koło Krynicy można stwierdzić, że w rozpatrywanym okresie średni opad wynosił 906,3 mm. Największy opad w okresie badawczym osiągnął wielkość 1231,0 mm i wystąpił w roku 1985. Najmniejszy opad osiągnął wielkość 732,0 mm w roku 1984.

Wielkości obliczone								
V' [mm]	ΔR [mm]	δ	V'' [mm]	$\Delta R''$ [mm]	V [mm]	ΔR [mm]	ZR	$\frac{V}{D}$
10	11	12	13	14	15	16	17	18
657,46	-7,24	50,98	682,95	18,25	683,00	18,30	118,3	0,95
649,44	12,06	-24,00	637,44	0,06	637,40	0,10	118,4	0,89
642,82	8,85	-37,07	624,29	-9,69	624,30	-9,70	108,7	0,88
600,27	10,45	-9,52	595,51	5,69	595,50	5,70	114,4	0,85
882,48	11,26	9,46	887,21	15,99	887,20	16,00	130,4	1,16
647,35	17,69	15,26	654,98	25,32	655,00	25,30	155,7	0,92
529,85	37,79	-25,64	517,03	24,97	517,00	25,00	180,7	0,76
761,59	-12,06	-4,83	759,18	-14,48	759,20	-14,50	166,2	1,03
504,50	5,63	67,67	538,33	39,47	538,30	39,50	205,7	0,80
992,57	-21,71	-69,26	957,94	-56,34	957,90	-56,30	149,4	1,21
589,59	-8,04	29,85	585,57	6,89	585,60	6,90	156,3	0,84
626,13	0,00	19,67	635,96	9,93	636,00	9,90	166,2	0,90
576,96	0,00	35,34	594,63	17,67	594,60	17,70	183,9	0,86
8661,0	154,68	57,91	8671,02	83,73	8671,00	83,90		
666,23	4,21	4,45	667,00	6,44	667,00	6,50		

δ – odchylenie, V'' – parowanie (wyniki wyrównane), $\Delta R''$ – przyrost retencji (wyniki wyrównane), V – parowanie (wyniki ostateczne), ΔR – przyrost retencji (wyniki ostateczne), ZR – zapas retencji, $\frac{V}{D}$ – wskaźnik.

TABELA 2. Zbiorcze zestawienie bilansowe

Rok	P [mm]	H [mm]	V [mm]	ΔR [mm]	ZR [mm]
1976	901	199,8	683,00	18,30	118,3
1977	893	255,5	637,40	0,10	100,1
1978	886	271,4	624,30	-9,70	90,3
1979	840	238,8	595,50	5,70	105,7
1980	1128	224,8	887,20	16,00	116,0
1981	891	210,7	655,00	25,30	125,3
1982	761	219,0	517,00	25,00	125,0
1983	1009	264,3	759,20	-14,50	85,5
1984	732	154,2	538,30	39,50	139,5
1985	1231	329,4	957,90	-56,30	43,7
1986	828	216,6	595,10	16,40	106,9
1987	868	222,4	636,00	9,90	109,9
1988	814	201,7	594,60	17,70	117,7
Średnia	906,3	231,4	667,00	6,50	

Średnia wielkość odpływu wynosiła 231,4 mm. Największy odpływ 329,4 mm wystąpił w okresie o największym opadzie, czyli w roku 1985. Najmniejszy odpływ wielkości 154,2 mm wystąpił w roku 1984.

Parowanie w rozpatrywanej zlewni potoku Izwór wynosiło średnio 667,0 mm. Największą wartość 957,9 mm osiągnęło w roku 1985, a najmniejszą wynoszącą 517,0 mm osiągnęło w roku 1982.

W 13-letnim okresie badawczym stany retencji osiągały wielkości ujemne jedynie w latach 1978 (-9,7 mm), 1983 (-14,5 mm) i 1985 (-56,3 mm). W pozostałych latach wielkości te osiągały wartości dodatnie. Średnia wielkość była dodatnia i wynosiła 6,5 mm, co wskazuje, że zlewnia rozpatrywanego potoku górskiego posiada bilans dodatni, dysponując w obecnych warunkach klimatycznych i użytkowania pewnymi niewielkimi nadwyżkami wody.

Przeprowadzone obliczenia bilansu wodnego metodą Ostromeckiego wskazują, że metodę tę można stosować dla terenów małych zlewni górskich, gdzie dysponuje się danymi hydrometrycznymi i klimatycznymi.

Literatura

- BYCZKOWSKI A. 1976: *Hydrologiczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych – przepływy charakterystyczne*. PWRiL, Warszawa.
- DYNOWSKA I. 1975: *Stan badań nad bilansem rzek karpaccich*. Czasopismo Geograficzne XLIV, Notatki Naukowe.
- MICHALCZEWSKI M. 1992: *Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich w warunkach degradacji środowiska. Zagadnienia hydrologiczno-ekologiczne w badaniach rolniczych*. Mat. semin. nauk. poświęconego pamięci prof. dr. Kazimierza Figuły, AR Kraków.
- OSTROMECKI J. 1956: *Obliczenie surowych bilansów wodnych przy łącznym uwzględnieniu wskaźników parowania i retencji*. Roczn. Nauk Rol., t. 71, F-3.
- POLAK S., MICHALCZEWSKI M. 1984: *Zagospodarowanie mikrozewni górskiej czynnikiem jakościowo-ilościowych zmian odpływu*. Ogólnop. Symp. Nauk. na temat „Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych”, Wrocław, PTG.
- PRUCHNICKI J. 1976: *Zastosowanie testów nieparametrycznych do wykrywania niejednorodności ciągów klimatycznych*. Przegląd Geofizyczny T. XXI; 4.

Adresy autorów

M. Michalczewski
Zakład Gospodarki Wodnej i Ochrony Wód, AR w Krakowie
30-058 Kraków, al. Mickiewicza 24/28
Cz. Lipski
Katedra Ekologicznych Podstaw Inżynierii Środowiska, AR w Krakowie
30-058 Kraków, al. Mickiewicza 24/28
M. Góralczyk
Biuro Projektów i Usług Inwestycyjnych JAFRA s.c.,
26-600 Radom, ul. Marii Curie-Skłodowskiej