

Wpłynęło 20.12.2011 r.  
Zrecenzowano 27.03.2012 r.  
Zaakceptowano 26.06.2012 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# DYNAMIKA RELACJI OPAD – ODPLYW W POTOKACH BIAŁA WODA I CZARNA WODA W ROKU HYDROLOGICZNYM 2010

**Stanisław TWARDY**<sup>ABDEF</sup>, **Marek KOPACZ**<sup>ABCEF</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

## Streszczenie

Praca dotyczy związku przyczynowo-skutkowego, zachodzącego między wartością opadów atmosferycznych a dynamiką odpływu wód powierzchniowych z małych zlewni górskich. Analizowano zlewnie dwóch dobrze rozpoznanych potoków: Biała Woda oraz Czarna Woda, będących źródłowymi dopływami potoku Grajcarek, uchodzącego do Dunajca w miejscowości Szczawnica. Zlewnie te są do siebie podobne pod względem cech hydrograficznych, różnią się natomiast sposobem użytkowania terenu. Zlewnia Czarnej Wody jest zlewnią bardziej zalesioną. W celu szczegółowego rozpoznania relacji opad–odpływ wybrano rok hydrologiczny 2010. Zarejestrowano wówczas na stacji klimatologicznej w Jaworkach (Małe Pieniny, 600 m n.p.m.) sumaryczne opady atmosferyczne, przekraczające 1602 mm, przy czym w półroczu letnim ponad 1202 mm (75% opadu rocznego), a w półroczu zimowym 400 mm (25% opadu rocznego). W podanych warunkach meteorologicznych rejestrowano też wysokie przepływy, a także bardzo wysokie średnie odpływy jednostkowe, które w omawianym roku hydrologicznym wynosiły od 29,3 do 32,0  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Znając strukturę użytkowania obu zlewni badawczych można stwierdzić, że w warunkach długotrwałych i wysokich opadów atmosferycznych powierzchnie leśne dobrze spełniają funkcje ochronne płytkich gleb górskich, jednak okrywa roślinna i glebowa nie różnicuje już tak wyraźnie odpływów.

**Słowa kluczowe:** małe zlewnie, odpływy wód, opady atmosferyczne, Pieniny

## WSTĘP

Pieniny (514,12) rozciągają się wzdłuż granicy polsko-słowackiej i należą do zlewni Dunajca. Według KONDRACKIEGO [2000] składają się z trzech części, wytworzonych przez dwa przełomy Dunajca, są to: Pieniny Spiskie, rozprzestrzenia-

jące się między doliną Białki a przełomem Dunajca, Pieniny Środkowe (zwane też Właściwymi) z najwyższym szczytem Trzy Korony (982 m n.p.m.) oraz Małe Pieniny położone w dużej części w zlewni Grajcarka. Najwyższym wzniesieniem jest tu szczyt o nazwie Wysokie Skałki (lub Wysoka) – 1050 m n.p.m. – który jest równocześnie najwyższy w całych Pieninach.

Małe Pieniny od początku lat 50. ubiegłego wieku są przedmiotem zainteresowania licznych zespołów badawczych, co między innymi jest związane z utworzeniem w 1953 r. w Jaworkach Stacji Badawczej Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych (IMUZ), zajmującej się problemami gospodarki rolnej w górach. W obrębie tej problematyki ważne miejsce zajmowała gospodarka wodna, rozpatrywana zarówno pod kątem potrzeb produkcyjnych na użytkach zielonych [FIGUŁA 1958], jak i badań poznawczych, dotyczących cech hydrologicznych zlewni potoków pieniąskich w układzie opady – odpływy [FIGUŁA 1966a].

Wymieniony autor opracował metodę pomiaru opadów atmosferycznych. Zwrócił też uwagę na ich przestrzenny rozkład w poszczególnych strefach wysokości zlewni. Zaslugą prof. Kazimierza Figuły było też nowoczesne oprzyrządowanie wybranych potoków w stałe zaporki pomiarowe (fot. 1) oraz opracowanie stosownej metody obliczania przepływów w przekrojach pomiarowych [FIGUŁA 1965; 1966b]. Z tych urządzeń korzystali kolejni badacze, w tym też autorzy niniejszego opracowania.

Opisywane tereny są ważnym źródłem zasobów wodnych dla naszego kraju. Ich tzw. wodorodność wynika z tego, że średnie roczne odpływy jednostkowe ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ) są tu znacznie większe niż w obszarach nizinnych. Przyczyną tego są



Fot. 1. Przykład zaporki pomiarowej na Białej Wodzie (fot. S. Twardy)

Fig. 1. An example of measuring dam in the Biała Woda stream (photo S. Twardy)

obfite i częste opady atmosferyczne, występujące tu w półroczach letnich. W górach ich następstwem są zazwyczaj znaczne wezbrania, powodujące między innymi duże zmiany stanów i przepływów wód, zachodzące w stosunkowo krótkich okresach, a także wiosenne lub letnie powodzie [TWARDY, KOPACZ 2001]. Takie wezbrania powodziowe zmniejszają możliwość dysponowania zasobami wodnymi, przejściowo też pogarszają jakość wód powierzchniowych, ponieważ spływające w nadmiarze wody pogłębiają procesy erozji, zarówno fizycznej, jak i chemicznej [LIPSKI, RYCZEK 2007].

Przykładem kumulacji takich niekorzystnych uwarunkowań opadowych jest rok hydrologiczny 2010, a zwłaszcza jego półrocze letnie.

## OBSZAR BADAŃ

Badania wykonywano w górnej części zlewni Grajcarka, gdzie od połowy lat 50. ubiegłego wieku są prowadzone pomiary klimatologiczne i hydrologiczne, a także hydrochemiczne, związane z rozpoznaniem wpływu użytkowania ziemi na środowisko i gospodarkę wodną. Początkowo badania koncentrowano na roli obszarów użytkowanych rolniczo i zalesionych w kształtowaniu ilości i jakości zasobów wodnych oraz charakteru odpływających wód, dlatego – obok innych zlewni cząstkowych Grajcarka – zainteresowania badawcze skupiono na dwóch wyraźnie zróżnicowanych obszarach – użytkowanej rolniczo zlewni potoku Biała Woda oraz sąsiadującej z nią, lecz w większości pokrytej lasem, zlewni potoku Czarna Woda. Należy tutaj wspomnieć, że dolina Grajcarka rozgranicza dwie jednostki fizyczno-geograficzne – wspomniane wcześniej Małe Pieniny od Beskidu Sądeckiego, a szczególnie Pasma Radziejowej, z jego najwyższym szczytem (1263 m n.p.m.) o tej samej nazwie.

Stabilny układ strukturalno-przestrzenny w badanych zlewniach zaczął się zmieniać z początkiem ostatniej dekady minionego wieku, przy czym większe zmiany zachodziły w zlewni rolniczej. Obecny ich stan strukturalny obrazują dane zamieszczone w tabeli 1.

Według KURKA i PAWLIKA-DOBROWOLSKIEGO [1990] zlewnia Białej Wody jest położona na wysokości 564–1060 m n.p.m., a Czarnej Wody – 564–1263 m n.p.m. Pod względem orograficznym omawiane zlewnie są do siebie podobne. Ich powierzchnie różnią się między sobą zaledwie o 0,75 km<sup>2</sup> (tj. o 6,4%), a deniwelacja średnich wzniesień wynosi 53 m n.p.m. Z przytaczanych danych wynika, że zbliżone są również długości wododziałów zlewni i głównych dolin obu potoków.

Podobna jest również budowa geologiczna obu omawianych zlewni. Tworzą je piaszkowce i łupki fliszowe wieku kredowego i paleogeńskiego oraz utwory aluwialne [FIGUŁA 1966a]. Dominują tu gleby brunatne właściwe i kwaśne, wytworzone z łupków ilastych i piaszczaków. Zajmują one około 70–75% powierzchni obu zlewni [TWARDY i in. 1998].

**Tabela 1.** Charakterystyka orograficzna i strukturalna badanych zlewni**Table 1.** Orographic and structural characteristics of the investigated catchments

Parametr Parameter	Zlewnia Catchment	
	Białej Wody	Czarnej Wody
<b>Cechy orograficzne Orographic features</b>		
Powierzchnia zlewni, km <sup>2</sup> Catchment area, km <sup>2</sup>	10,91	11,66
Długość głównej doliny, km Length of the main valley, km	7,90	7,01
Długość wododziału, km Length of the watershed, km	17,36	19,94
Średnie wzniesienie zlewni, m n.p.m. Average altitude of catchment, m a.s.l.	842	895
<b>Użytkowanie Land use</b>		
Lesistość zlewni, % Forest cover, %	56,4 <sup>1)</sup>	82,9
Obszary rolnicze, % Agriculture lands, %	39,8	15,7
Obszary zabudowane, % Built-up areas, %	1,1	0,9
Obszary pozostałe, % Others, %	2,7	0,5

<sup>1)</sup> W tym młode nasadzenia, zakrzewienia i samozalesienia na pastwiskach i gruntach ornych.

<sup>1)</sup> Including young plantings, shrubs and self-offorestation on pastures and arable lands.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Aktualna struktura użytkowania zlewni jest rezultatem wieloletnich przeobrażeń gospodarczych, w tym zwiększonego ukierunkowania na ekologiczno-ochronne oraz rekreacyjne funkcje obszarów górskich. Cechą charakterystyczną jest stopniowe zwiększanie udziału obszarów zalesionych, choć w przypadku zlewni Białej Wody zalesienia mają bardziej charakter młodników i zakrzewień niż zwartych, jednorodnych kompleksów leśnych.

Stosunki hydrologiczne w porównywanych ze sobą zlewniach są wyraźnie różnicowane (tab. 2). Różnice średnich z wielolecia wartości parametrów hydro-

**Tabela 2.** Wybrane parametry hydrologiczne badanych zlewni (średnie z lat 1970–2008)**Table 2.** Selected hydrological parameters of investigated catchments (mean from years 1970–2008)

Parametr Parameter	Zlewnia Catchment	
	Białej Wody	Czarnej Wody
Średni odpływ, mm Average outflow, mm	508	601
Współczynnik odpływu Outflow coefficient	0,57	0,67
Średni roczny odpływ jednostkowy, dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> Mean annual unit outflow, dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup>	16,2	19,0
Maksymalny roczny odpływ jednostkowy, dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> Maximum annual unit outflow, dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup>	20,0	26,2
Minimalny roczny odpływ jednostkowy, dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> Minimum annual unit outflow, dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup>	12,8	16,1

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

logicznych omawianych zlewni są między innymi następstwem wcześniejszego, wieloletniego zróżnicowania sposobu użytkowania ich powierzchni [FIGUŁA 1966b; KOPACZ 2003; 2004; KOPACZ, TWARDY 2011; TWARDY i in. 2002]. Od kilkunastu lat różnice sposobu wykorzystywania terenu stopniowo się zacierają, co jest m.in. związane z ograniczaniem działalności rolniczej, zwłaszcza uprawy płuźnej. Proces ten jest zauważalny na całym obszarze Małych Pienin [KAIM 2009].

## CEL I METODY BADAŃ

Celem pracy jest przedstawienie relacji, zachodzących między opadami atmosferycznymi a odpływami z dwóch, zbliżonych do siebie pod względem powierzchni, zlewni potoków górskich, które są częściowo zróżnicowane sposobem przestrzennego użytkowania (tab. 1).

Opady atmosferyczne rejestrowano na stacji klimatologicznej Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego (dawniej IMUZ) zlokalizowanej w pobliżu miejsca łączenia się obu potoków na wysokości 600 m n.p.m. Pomiarów wykonywano za pomocą deszczomierza Hellmana oraz pluwiografu, zgodnie z metodyką stosowaną przez IMGW.

Odpływy mierzono w sposób ciągły na przelewach Thomsona (Biała Woda) i Ponceleta (Czarna Woda). Ponadto, codziennie, na latach wodowskazowych odczytywano stany wód i równocześnie kontrolowano prawidłowość funkcjonowania limnigrafów. Odpływy określano na podstawie krzywych konsumcyjnych, rejestrując wyniki w przedziałach godzinowych ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) i przeliczając je także na okresy dobowe ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ). Sumaryczne dane umożliwiały określenie wartości przepływów dekadowych, miesięcznych i rocznych. Stanowiły też podstawę obliczania odpływów jednostkowych ( $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). Szczegółowe dane liczbowe uzyskiwano na podstawie dodatkowej analizy zapisów na paskach limnigraficznych.

Po każdym wezbraniu z górnych stanowisk przelewów pomiarowych usuwano rumosz skalny, szacując równocześnie jego ilość. Określano objętość ( $\text{m}^3$ ) materiału mineralnego z poszczególnych zlewni i przeliczano ją na masę (Mg), stosując przelicznik  $1,75 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Przelicznik ten, ustalony na podstawie bezpośrednich pomiarów, odnosi się do lekko wilgotnej mieszaniny piasku, żwiru oraz kamieni.

## WYNIKI BADAŃ

W obu półroczach roku hydrologicznego 2010 sumy opadów atmosferycznych bardzo wyraźnie odbiegały od wartości średnich z wielolecia 1956–2006 (tab. 3). W półroczu zimowym omawianego roku opady wyniosły prawie 400 mm i były wyższe od średniej z wielolecia o ponad 109 mm (tj. 37,6%). W półroczu letnim sumaryczne opady atmosferyczne wyniosły 1203 mm i przewyższyły średnie

z wielolecia o blisko 600 mm, tj. aż o 99,3%. Było to przyczyną rekordowo wysokich rocznych opadów atmosferycznych (1602 mm), wyższych od średnich z wielolecia o 709 mm, to jest o 79,3% (tab. 3). W półroczu letnim bardzo duże było też średnie godzinowe natężenie opadów atmosferycznych (0,27 mm), dużo większe niż średnie natężenie opadu z wielolecia (0,14 mm).

**Tabela 3.** Sumy miesięcznych, półrocznych i rocznych opadów atmosferycznych (mm) w roku hydrologicznym 2010

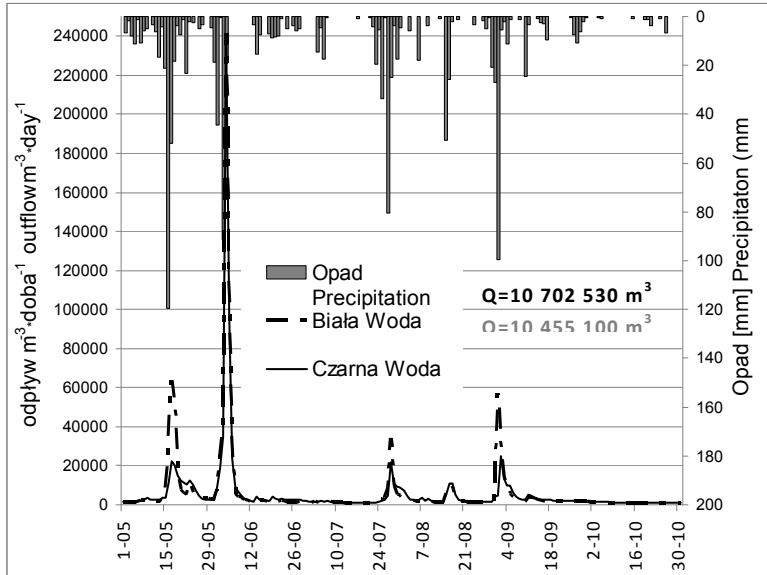
**Table 3.** The sums of monthly, semi-annual and annual precipitation (mm) in the hydrological year 2010

Półrocze zimowe Winter season	XI	XII	I	II	III	IV	∑ XI-IV
Rok hydrologiczny 2010 Hydrological year 2010	103	43	39	52	33	129	399
Średnia z lat 1956–2006 Average from the years 1956–2006	47	50	46	40	44	64	291
Różnica od średniej Deviation from the mean	56	-7	-7	12	-11	65	108
Półrocze letnie Summer season	V	VI	VII	VIII	IX	X	∑ V-X
Rok hydrologiczny 2010 Hydrological year 2010	363	233	233	166	192	16	1 203
Średnia z lat 1956–2006 Average from the years 1956–2006	97	134	135	111	71	56	604
Różnica od średniej Deviation from the mean	266	99	98	55	121	-40	599
Suma opadów za rok hydrologiczny 2010 (mm) Sum of precipitation for hydrological year 2010 (mm)							1 602
Opady średnie z wielolecia 1956–2006 (mm) Mean precipitation from the years 1956–2006 (mm)							895

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Bardzo wysokie opady dobowe w omawianym półroczu występowały zwłaszcza w połowie maja i na początku czerwca, a także pod koniec lipca. Największe z nich to, między innymi, 80 mm z 27.07.2010, 100 mm z 1.09.2010, a nawet 120 mm z 16.05.2010 (rys. 1). Dobowe sumy opadów w wybranych pentadach (charakteryzujących się długotrwałym kilkudniowym opadem atmosferycznym) z półrocza letniego roku hydrologicznego 2010 (tab. 4) były wysokie, choć wyraźnie zróżnicowane i wynosiły od 32,9 mm (18–22.06.2010) do 214,1 mm (15–19.05.2010).

Najwyższe opady dekadowe zanotowano w drugiej dekadzie maja (252 mm) oraz trzeciej dekadzie lipca (194,8 mm). W tym czasie rejestrowano okresy jeszcze wyraźniej nasilonych opadów, których dobową zmienność przedstawiono w układzie pentadowym (tab. 4). I tak przykładowo, w pentadzie 15–19 maja spadło sumarycznie 214 mm, a w dniach 31.05–04.06.2010 r. – 173 mm. Natężenie opadów



Rys. 1. Relacje opad – odpływ w zlewni Czarnej i Białej Wody w półroczu letnim roku hydrologicznego 2010; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Rainfall – runoff relationships in the Biała and Czarna Woda catchments in summer season of the hydrological year 2010; source: own elaboration

**Tabela 4.** Sumy opadu atmosferycznego (mm) w kolejnych dobach w wybranych pentadach półroczu letniego roku hydrologicznego 2010

**Table 4.** The sums of rainfall (mm) in succeeding days of selected five-days periods of summer season in the hydrological year 2010

Miesiąc Month	Data wystąpienia Date of occurrence	Kolejne dni Succeeding days					Suma pentady The sum of five-days period
		1	2	3	4	5	
Maj May	15.05–19.05	21,0	119,3	51,8	18,3	3,7	214,1
	31.05–04.06	18,5	44,3	0,4	91,3	18,0	172,5
Czerwiec June	18.06–22.06	7,1	8,7	8,5	7,8	0,8	32,9
	21.07–25.07	0,4	4,2	19,5	5,2	33,8	63,1
Lipiec July	26.07–30.07	0,5	80,5	25,0	3,7	17,3	127,0
	30.08–03.09	20,6	27,0	99,5	5,6	2,1	154,8
Wrzesień September	25.09–29.09	0,6	7,3	10,7	6,3	2,1	27,0

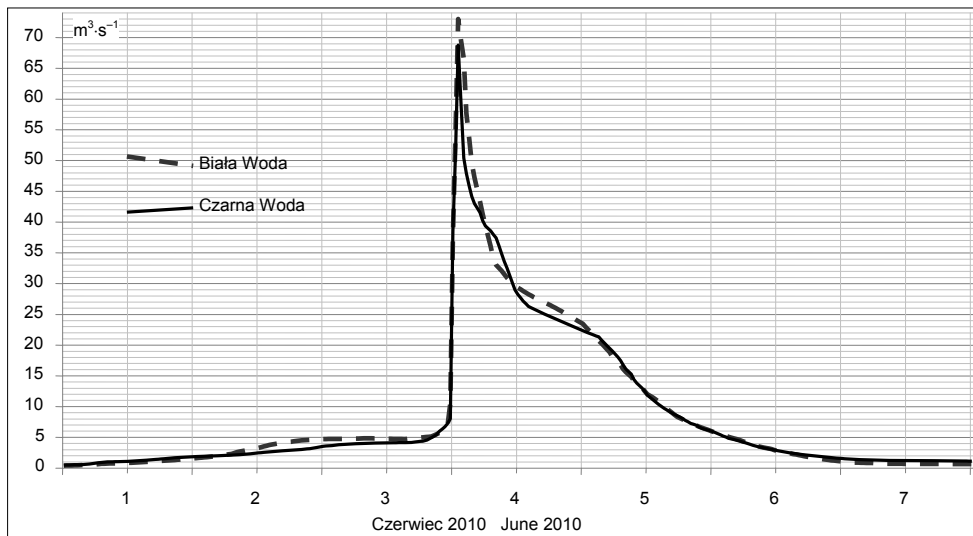
Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

w podanych pentadach zmieniało się od 0,02 do 4,97 mm·h<sup>-1</sup>, co odpowiada zmianom średniego opadu dobowego od 0,4 mm do 119 mm.

Wysokie opady atmosferyczne generowały znaczne wezbrania, które były potęgowane zazwyczaj obfitymi opadami w kolejnych dniach. Na przykład, 16 maja

spadło w ciągu doby około 120 mm, w drugiej dobie – 52 mm, a w następnej dalsze 18 mm (tab. 4, rys. 1). W ciągu zaledwie 72 godzin spadło zatem aż 190 mm opadów atmosferycznych. Zlewnie na takie opady odpowiadały zwiększonymi odpływami wód powierzchniowych (rys. 1).

W półroczu letnim omawianego roku hydrologicznego zarejestrowano cztery okresy wezbraniowe, przy czym największe wezbranie wystąpiło w pierwszych dniach czerwca (rys. 1, 2).



Rys. 2. Przepływy Białej Wody i Czarnej Wody w dniach 1–7 czerwca 2010 roku; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Flows in the Biała and Czarna Woda streams, on 1–7 June 2010; source: own elaboration

Największa fala wezbraniowa w roku hydrologicznym 2010 miała bardzo gwałtowny charakter (rys. 2, fot. 2). Spowodowały ją wcześniejsze kilkudniowe opady rozlewne, zakończone intensywnymi, o charakterze deszczów nawalnych. Wówczas w ciągu jednej doby (03.06.2010) spadło 91 mm. Obie zlewnie zareagowały gwałtownymi wezbraniem – przepływy wynoszące 2,0–3,0 m³·s⁻¹, szybko zwiększyły się do 5–10 m³·s⁻¹, aby następnie gwałtownie osiągnąć wartości kulminacyjne. W przypadku Białej Wody maksymalny przepływ wyniósł 73 m³·s⁻¹, a Czarnej Wody – 69 m³·s⁻¹. Podczas kulminacji potokami Biała Woda i Czarna Woda w ciągu doby odpłynęło po około 240 tysięcy m³ wody (rys. 2). Na obu potokach w ciągu około 12 godzin od kulminacji przepływy zmniejszyły się do 30 m³·s⁻¹, a po kolejnych 12 godzinach – do 23–24 m³·s⁻¹. Po dalszych 24 godzinach zmniejszyły one się już do około 5,0 m³·s⁻¹, a w ciągu kolejnej doby ukształtowały na poziomie przed wezbraniem (rys. 2).





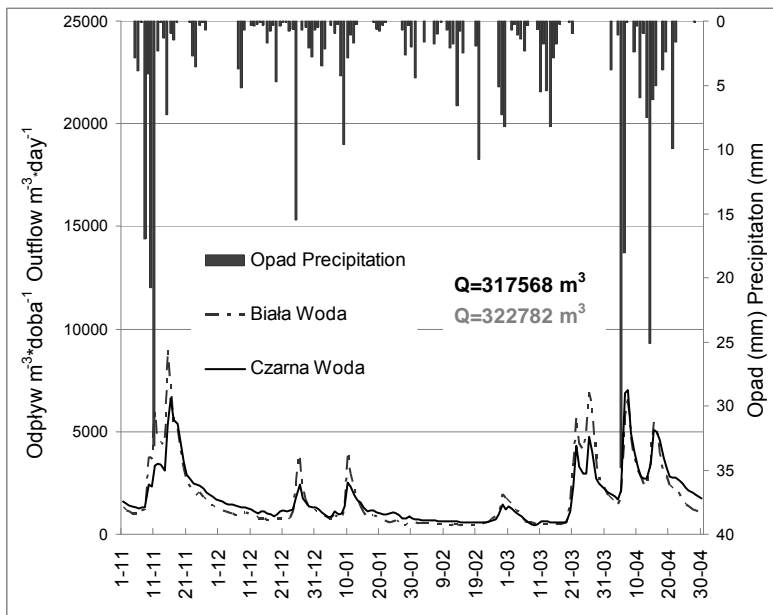
Fot. 2. Zaporka pomiarowa na Czarnej Wodzie podczas wezbrania w 2010 r. (fot. S. Twardy)

Phot. 2. The measuring dam in the Czarna Woda stream during flood in 2010 (photo: S. Twardy)

W półroczu zimowym odpływy wód z obu potoków były wielokrotnie mniejsze, a ich rozkład bardziej równomierny niż w lecie (rys. 3). Zwiększone przepływy notowano w listopadzie 2009 roku, ponieważ w ciągu dwóch dni tego miesiąca (10 i 11) wystąpiły opady o łącznej wysokości 54 mm, a także w kwietniu 2010 r., kiedy 5. i 6. dnia miesiąca spadło 53 mm opadów, a kilka dni później (13–15.04.) – dalsze 39 mm.

W wyniku prac porządkujących zaporki pomiarowe po przebytej powodzi, oszacowano masę rumoszu skalnego przemieszczonego podczas jej trwania. Było to możliwe dzięki wydobyciu z dna przed zaporką nagromadzonego mułu i kamieni. Wyniki tej oceny są jednak obarczone dużym błędem, ponieważ nie uwzględniono części materiału, która została przetransportowana poniżej zaporek pomiarowych. W sumie z basenu spowalniającego przepływ przed zaporką na potoku Biała Woda wybrano około 2600 Mg rumoszu, a z basenu przed zaporką Czarnej Wody – ponad 1800 Mg. Na 1 km<sup>2</sup> zlewni Białej Wody przypadało około 237 Mg, a Czarnej Wody – 156 Mg rumoszu. Składał się on głównie z drobnego i średniego piasku oraz żwiru, w nieco mniejszym stopniu z kamieni otoczków oraz pojedynczych większych głazów.

Z poczynionych obserwacji wynika, że podczas dużych wezbrań powodziowych z nurtem wody przemieszczane są kamienie, a nawet większe głazy, co świadczy o ogromnej sile wody przepływającej korytem potoku w takich warunkach. Podczas niskich i średnich przepływów, w korytach potoków górskich jest przenoszona zawiesina, a także drobny piasek i żwir.



Rys. 3. Relacje opad–odpływ w zlewni Czarnej i Białej Wody w półroczu zimowym roku hydrologicznego 2010; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Rainfall–outflow relationships in the Biała and Czarna Woda catchments in winter season of hydrological year 2010; source: own elaboration

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Opady atmosferyczne w obszarach górskich w Polsce są na ogół duże. W najwyższej położonych masywach górskich sumaryczne roczne opady atmosferyczne w przeciętnym roku przekraczają nawet 1500 mm [OBREBSKA-STARKŁOWA i in. 1995]. W niższych, tj. rozciągających się w pasie 500–1000 m n.p.m., oscylują zazwyczaj w zakresie 700–1100 mm. Na pograniczu Małych Pienin i Pasma Radziejowej, w dolinie Grajcarka, gdzie na wysokości 600 m n.p.m. jest zlokalizowana stacja klimatologiczna Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego (dawniej IMUZ), średnie z wielolecia opady atmosferyczne nie przekraczają 900 mm (tab. 3).

Odpiły są wyraźnie związane z opadami atmosferycznymi. Według DYNOWSKIEJ [1995] w Karpatach odpiły te (średnie z lat 1951–1970) są zróżnicowane od 357 mm (Beskid Niski) do 661 mm (Tatry i Podhale). Współczynniki odpiłów, czyli stosunek odpiły wód z danej zlewni do opadów, wynoszą odpowiednio 0,42 i 0,62. Oznacza to, że z ogólnej ilości docierających do powierzchni zlewni wód opadowych od 42 do 62% szybko odpiływa do potoków i rzek. Pozostała

część opadów jest retencjonowana w zlewni i wykorzystywana między innymi przez roślinność oraz na potrzeby gospodarcze.

Często występują wyraźne odstępstwa od przytaczanych wartości. W rozważanym roku hydrologicznym odpływ ze zlewni Białej Wody wynosił aż 1010 mm, a Czarnej Wody – 924 mm. Pomimo tego, współczynniki odpływów rocznych były zbliżone do podawanych przez wspomnianą autorkę dla obszarów podhalańskich i wynosiły odpowiednio 0,63 oraz 0,58.

Z przeglądu danych meteorologicznych należy wnioskować, że analizowany rok hydrologiczny 2010 był wyjątkowo obfity w opady atmosferyczne. Zarówno w półroczu zimowym, jak i letnim były one zdecydowanie wyższe niż średnie z wielolecia (tab. 3). Wysokie opady atmosferyczne, znacznie przekraczające średnie, rejestrowano we wszystkich wiosennych i letnich miesiącach, dlatego w sezonie wegetacyjnym (IV–IX) zanotowano łączny opad 1315 mm, ponad dwa razy większy od średniego z wielolecia (612 mm). Wskaźnik względnego opadu *RPI*, definiowany jako stosunek opadu rzeczywistego do średniego z wielolecia w danym okresie, wyniósł 215%, co oznacza, że okres wegetacyjny 2010 r. można zaliczyć (według klasyfikacji opadowej Kaczorowskiej) do skrajnie wilgotnego [KACZOROWSKA 1962].

Z dotychczasowych wieloletnich pomiarów pluwiometrycznych wynika, że opad w sezonie wegetacyjnym 2010 r. był rekordowy i tak duży nie wystąpił od 1960 r. [TWARDY, KUŹNIAR 2002].

Tak duże opady atmosferyczne spowodowały odpływy w badanych przekrojach znacznie większe niż przeciętne roczne. W przypadku Białej Wody odpływ wyniósł 11,02 mln m<sup>3</sup>, a Czarnej Wody – prawie 10,78 mln m<sup>3</sup> (tab. 5). Odpływ w Białej Wodzie był większy niż średni z wielolecia 1970–2009 o 87,2%, a w Czarnej Wodzie – o 50,4%.

**Tabela 5.** Odpływ roczny i średnie odpływy jednostkowe z Białej i Czarnej Wody

**Table 5.** Annual discharge and mean unit outflows from the Biała and Czarna Woda streams

Wyszczególnienie Specification	Rok hydrologiczny 2010 Hydrological year 2010		Średnia z wielolecia Mean from the years 1970–2009	
	Biała Woda	Czarna Woda	Biała Woda	Czarna Woda
Odpływ roczny, tys. m <sup>3</sup> Annual outflow, thous. m <sup>3</sup>	11 020	10 778	5 886	7 166
Średni roczny odpływ jednostkowy Mean annual unit outflow dm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup>	32,03	29,31	17,00	19,36

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Odnotowano również bardzo duże średnie roczne odpływy jednostkowe – 32,03 i 29,31 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·km<sup>-2</sup>, odpowiednio w Białej i Czarnej Wodzie.

Masa przemieszanego z nurtem potoków Biała Woda i Czarna Woda materiału mineralnego oszacowana na ponad 4000 Mg jest porównywalna z wynikami wcześniejszych badań LIPSKIEGO i RYCZKA [2007], a także TWARDEGO i LIPSKIEGO [2007], prowadzonych w układzie całorocznym na podobnych orograficznie zlewniach badawczych.

## WNIOSKI

1. W latach skrajnie wilgotnych, średnie roczne odpływy jednostkowe ze zlewni potoków górskich mogą osiągać bardzo duże wartości, dwukrotnie przekraczające średnie z wielolecia. W omawianym roku wyniosły 32,0 (Biała Woda) oraz 29,3  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$  (Czarna Woda).

2. Największe opady i odpływy występują w półroczu letnim. W analizowanym roku hydrologicznym 2010 w półroczu letnim zarejestrowano opady sięgające aż 1203 mm, tj. około 75% opadów całorocznych, a odpływy notowane w badanych potokach były ściśle związane z wartościami tych opadów.

3. O procesach erozyjnych w potokach górskich decydują nawalne i długotrwałe opady atmosferyczne, których skutkiem są bardzo duże przepływy wód powierzchniowych i przemieszczanie, w ich wyniku, materiału mineralnego wymywanego w zlewni.

4. W warunkach ekstremalnie wysokich opadów atmosferycznych oraz odpływów wód, szczegółowe pomiary przeniesionego rumoszu mineralnego są trudne do wykonania bez specjalnie przygotowanego basenu, umożliwiającego przechwylenie całej objętości rumoszu. W omawianych warunkach część materiału mineralnego była wynoszona z górnych stanowisk przekrojów pomiarowych.

## LITERATURA

- DYNOWSKA I. 1995. Wody. W: Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność. Pr. zbior. Red. J. Warszńska. Kraków. Wydaw. UJ s. 49–67.
- FIGUŁA K. 1958. Badania nad gospodarką wodną górskich użytków zielonych. Cz. I. Wyniki obserwacji nad stosunkami wodnymi terenów wypasowych w Jaworkach. Roczniki Nauk Rolniczych. T. 72. Ser. F. Z. 3 s. 1131–1187.
- FIGUŁA K. 1965. Wyniki badań nad wpływem lasu na stosunki hydrologiczne w górach. Komitet Zagospodarowania Ziemi Górskich. Z. 9.
- FIGUŁA K. 1966a. Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich zalesionych i nie zalesionych. Cz. I. Stosunki opadowe w górnej części dorzecza Grajcarka. Roczniki Nauk Rolniczych. T. 118. Ser. D s. 11–50.
- FIGUŁA K. 1966b. Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich zalesionych i nie zalesionych. Cz. II. Kształtowanie się odpływów w zlewniach potoków Biała Woda i Czarna Woda. Roczniki Nauk Rolniczych. T. 118. Ser. D s. 51–90.

- KACZOROWSKA Z. 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Tendencje, okresowość oraz prawdopodobieństwo wystąpienia niedoboru i nadmiaru opadu. *Prace Geograficzne PAN IG*. Nr 33. Warszawa. Wydaw. Geol. ss. 112.
- KAIM D. 2009. Zmiany pokrycia terenu na pograniczu polsko-słowackim na przykładzie Małych Pienin. *Przegląd Geograficzny*. T. 81 s. 93–106.
- KONDRACKI J. 2000. *Geografia regionalna Polski*. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 83-01-13050-4 ss. 440.
- KOPACZ M. 2003. Wody powierzchniowe potoków karpaccich w warunkach zmian strukturalno-środowiskowych. *Falenty*. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-88763-27-X ss. 88.
- KOPACZ M. 2004. Koncepcja uproszczonego modelowania relacji „użytkowanie terenu – zanieczyszczenie wód” w małych zlewniach górskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 4. Z. 2a (11) s. 465–479.
- KOPACZ M., TWARDY S. 2011. Factors reducing agricultural pollution of water and soil environment in the upper Dunajec River Basin. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 20. No. 4A ss. 136–140.
- KUREK S., PAWLIK-DOBROWOLSKI J. 1990. Określenie zmian odpływu w zróżnicowanych warunkach środowiska przyrodniczego małych zlewni w dorzeczu górnego Grajcarka. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*. Z. 29 s.135–141.
- LIPSKI Cz., RYCZEK M. 2007. Ocena erozji wodnej w zlewni Biała Woda. W: *Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej*. Pr. zbior. Red. S. Twardy. Kraków. Wydaw. AR s. 97–105.
- OBREBSKA-STARKLOWA B., HESS M., OLECKI Z., TREPIŃSKA J., KOWANETZ L. 1995. *Klimat*. W: *Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność*. Pr. zbior. Red. J. Warszyńska. Kraków. Wydaw. UJ s. 31–47.
- TWARDY S., KOPACZ M. 2001. Ocena ilościowo-jakościowych zasobów wodnych zlewni pokrytych trwałą szatą roślinną. W: *Trwała okrywa roślinna jako podstawa zrównoważonego rozwoju rolnictwa w zlewniach karpaccich*. Pr. zbior. Red. S. Twardy. Mater. Konf. Nauk. Jaworki 9–11.10.2001 r. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 147–158.
- TWARDY S., KUŹNIAR A. 2002. Charakterystyka warunków klimatycznych na obszarze Pienin w okresie wegetacyjnym. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 2. Z. 2(5) s. 59–72.
- TWARDY S., KOPACZ M., KOSTUCH M. 1998. Wpływ zagospodarowania przestrzennego małych zlewni górskich na przebieg powodzi w lipcu 1997 roku. W: *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*. Pr. zbior. Red. L. Starkel, J. Grela. Mater. Konf. Nauk. Kraków 7–9.05.1998 r. Kraków. Wydaw. PAN s. 169–175.
- TWARDY S., KOPACZ M., JAGUŚ A. 2002. Charakterystyka przyrodnicza zlewni Grajcarka ze szczególnym uwzględnieniem środowiska wodnego i użytkowania terenu. Falenty–Kraków. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-88763-14-8 ss. 88.
- TWARDY S., LIPSKI Cz. 2007. Odpływ materiału mineralnego (rumoszu i zawiesiny) z małych zlewni karpaccich w warunkach ekstensywnego użytkowania ziemi oraz dominacji szaty darniowo-leśnej. W: *Wpływ użytkowania małych zlewni górskich na występowanie i natężenie erozji wodnej*. Pr. zbior. Red. S. Twardy. Kraków. Wydaw. AR s. 135–145.

Stanisław TWARDY, Marek KOPACZ

**THE DYNAMICS OF THE RAINFALL – RUNOFF RELATIONS  
IN THE BIAŁA WODA AND CZARNA WODA STREAMS  
IN THE HYDROLOGICAL YEAR 2010**

**Key words:** precipitation, small catchment, The Pieniny Mts., water outflows

**S u m m a r y**

This paper concerns the relations between the amount of precipitation and the dynamics of surface water runoff from small mountain catchments. We analysed two well-identified sub-basins of streams: Biała and Czarna Woda. Both are spring inflows to the Grajcarek stream which is a right-bank tributary of the Dunajec River. For a detailed diagnosis of the rainfall – runoff relationship the hydrological year 2010 was selected. In this year total rainfall recorded at the weather station at Jaworki (Small Pieniny, 600 m a.s.l.) exceeded 1602 mm while in the summer season the rainfall exceeded 1202 mm. In these meteorological conditions high flows and very high average unit outflows were recorded, which in the hydrological year 2010 ranged from 29.3 to 32.0  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ . Relational analysis showed that during long and intensive precipitation forests and grasslands acted as a protection for shallow mountain soils. However, vegetation cover and soil did not have any clear influence on the differences between outflows. Under such weather conditions the effect of land use is smaller, mainly as a result of specific retention capacity of soils.

**Do cytowania For citation:** Twardy S., Kopacz M. 2012. Dynamika relacji opad – odpływ w potokach Biała Woda i Czarna Woda w roku hydrologicznym 2010. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 3 (39) s. 197–210.