

## Rola katastrofalnych wezbrań w kształtowaniu morfologii koryt w małych zlewniach górskich, na przykładzie zdarzenia z maja 2014 r. w zlewni górnej Skawicy\*

The role of catastrophic floods in shaping the morphology of river beds in small mountain catchment areas

Paweł Franczak

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

Tel. +48 12 6645263, e-mail: p.franczak@uj.edu.pl

**Abstract.** Mountain streams are subjected to continuous reshaping of their river beds during floods with the greatest changes occurring during extreme floods caused by sudden and heavy rainfall. Riverbed transformations during these flash floods are more severe in forest areas, where wooden logs carried by the swollen streams are more likely to be deposited on the ground, which in turn leads to a greater accumulation of other transported material and debris.

The study was conducted in the Rybny Potok catchment area (Babia Góra National Park). An extreme flash flood occurred on 15<sup>th</sup> – 16<sup>th</sup> May 2014 due to heavy rainfall, which, on 15<sup>th</sup> May amounted to 138 mm. The total amount of precipitation in the catchment area amounted to 216.5 mm in three days. This resulted in sudden and full spate streams, contributing to significant geomorphological transformation reaching all the way to the bottoms of the river beds. During the flash flood, already established river beds and streams increased in size and many new river courses were formed.

**Keywords:** extreme events, flash flood, geomorphological transformations, Carpathians, forest

\*Tezy zawarte w niniejszym artykule zostały zaprezentowane na II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”, zorganizowanej przez SGGW – Wydział Leśny, w Rogowie w dniach 16–17 czerwca 2015 r.

### 1. Wstęp

Potoki beskidzkie charakteryzują się dużymi wahaniami przepływów w ciągu roku, w związku z czym podlegają nieustannemu modelowaniu przez oddziałujące na nie procesy erozyjne i akumulacyjne. Jednak największe zmiany zachodzą w obrębie ich koryt i strefy zalewowej podczas gwałtownych wezbrań spowodowanych nawałnymi opadami deszczu. Gwałtowne wezbrania są jednak zjawiskami lokalnymi (Bryndal 2008), obejmującymi swym zasięgiem niewielkie obszary, przez co nie poświęcano im w literaturze znaczącej uwagi. Natomiast lokalnie stanowią one bardzo duże zagrożenie powodziowe (Bryndal 2008, 2011; Pociask-Karteczka, Żychowski 2014), które zwłaszcza na obszarach górskich może przybierać katastrofalne rozmiary.

Powodzie błyskawiczne występują w małych zlewniach objętych zasięgiem krótkotrwałych (trwających do kilku godzin), lecz bardzo intensywnych opadów deszczu (Parczew-

ski 1960), których zasięg przeważnie nie przekracza 100 km<sup>2</sup>. Ponadto w połowie przypadków obszar tych opadów nie osiąga 25 km<sup>2</sup> (Lenart 1993; Bryndal 2010), w związku z czym gwałtowne wezbrania występują w obrębie jednej bądź maksymalnie kilku przylegających do siebie małych zlewni.

Przemieszczająca się w obrębie zlewni wysoka fala wezbraniowa powoduje znaczne przekształcanie koryta oraz równiny zalewowej. Dodatkowo w zlewniach silnie zalesionych, gdy strefa zalewowa jest porośnięta zwartym drzewostanem a do koryta dostarczana jest duża ilość materii organicznej, wzrasta intensywność zachodzących podczas wezbrania przekształceń geomorfologicznych. Transportowany gruby rumosz drzewny deponowany jest w obrębie koryta i teras zalewowych, a powyżej jego zwałowisk zwiększa się akumulacja materiału mineralnego (Gurnell et al. 1995; Gippel 1995; Wyźga et al. 2003, 2012; Wyźga 2007). Z kolei poniżej powstałych dużych zwałowisk drewna zwiększa się erozja wgłębna (Franczak 2014a), a w wyniku ich oddziaływania zmiane ulegają warunki hydrauliczne (Wyźga et al. 2012).

Wpłynęło: 25.11.2015 r., recenzowano: 18.06.2016 r., zaakceptowano: 12.07.2016 r.

Badaniem występowania powodzi błyskawicznych w małych zlewniach górskich oraz zaszłych w ich wyniku przekształceń geomorfologicznych zajmowało się niewielu autorów. Zagadnienia te były dotychczas przedmiotem zaledwie pojedynczych opracowań. Dostępne w literaturze wyniki badań z tego zakresu koncentrują się przede wszystkim na opisie przebiegu wezbrania, wyrządzonych w jego wyniku strat materialnych, a także zaszłych przekształceniach geomorfologicznych (Dębski 1969; Ciepeliowski 1970; Żurawek 1999; Lach, Lewik 2002; Lach 2003; Gorczyca 2004; Bajgier-Kowalska, Ziętara 2008; Długosz, Gębica 2008; Gorczyca, Krzemień 2008; Gorczyca, Wrońska-Wałach 2008; Krzaklewski 2008; Izmailow et al. 2008; Bryndal 2009, 2011; Bucala Budek 2011; Starkel 2011; Bucala 2012; Franczak 2014a; Franczak, Listwan-Franczak 2015).

Celem badań było poznanie zmian geomorfologicznych w małych zlewniach górskich, o dużym zalesieniu strefy zalewowej, pod wpływem katastrofalnych wezbrań. Badania przeprowadzono na przykładzie wezbrania z maja 2014 r. w zlewni górnej Skawicy.

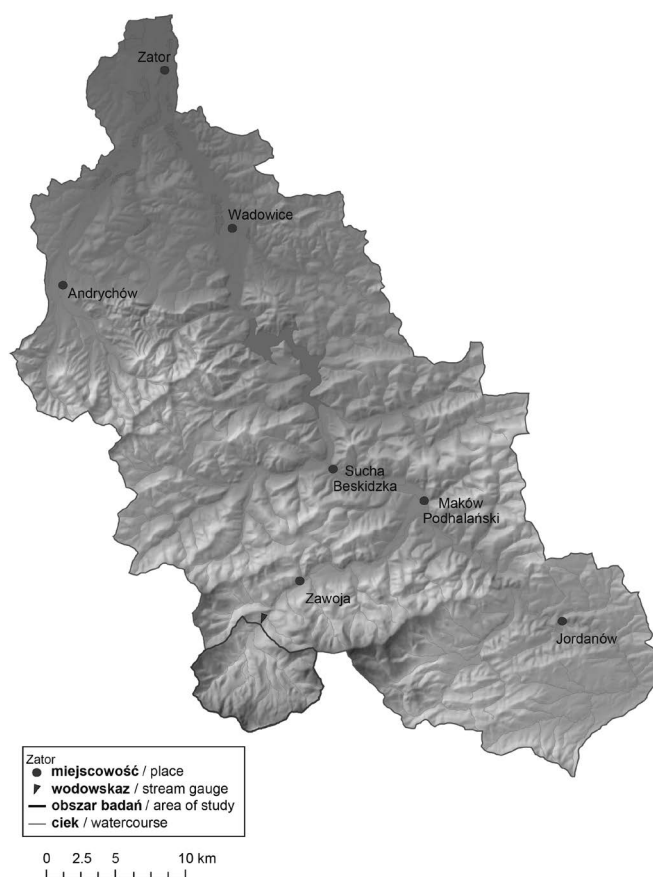
## 2. Obszar badań

Zlewnia górnej Skawicy o powierzchni 48,6 km<sup>2</sup> położona jest na północnych stokach Masywu Babiej Góry (ryc. 1). Górąjący ponad doliną Skawicy masyw Babiej Góry wydzwignięty został powyżej sąsiednich grzbietów górskich wskutek izostatycznego dźwignienia elementu wiszącego skrzydła, w systemie uskoków normalnych. W jego wyniku północne stoki utworzyły strefę krawędziową (Jankowski, Margielwski 2014), wznoszącą się ok. 500 m względem sąsiednich pasm górskich. Północne stoki masywu tworzą stok typu kuesty, o nachyleniu od 20 do ponad 45° (Ziętara 2004). Górne partie zlewni (powyżej ok. 1000 m n.p.m.) budują odporne gruboławicowe piaskowce magurskie, z kolei dolny jej fragment tworzą cienkoławicowe warstwy hieroglifowe. U podnóża masywu Babiej Góry, w obrębie dolin zalegają miększe pokrywy osadów czwartorzędowych tworzące terasy plejstoceńskie i holocenijskie oraz stożki napływowe (Książkiewicz 1983). Dominującym typem gleb na obszarze zlewni są słabo przepuszczalne gleby brunatne kwaśne (Miechówka et al. 2004), na których w obrębie stoków wykształcił się klasyczny układ pięter roślinnych: regiel dolny, regiel górny, piętro kosodrzewiny i piętro alpejskie (Wołoszyn et al. 2000; Pasiarek et al. 2009).

Układ sieci rzecznej po północnej stronie grzbietu Babiej Góry jest wachlarzowy, zbieżny (Łajczak 1998, 2004), a tworzą go potoki Jaworzyna i Czatożanka oraz ich główne dopływy: Urwisko, Marków Potok, Rybny Potok, Dejaków Potok i Norczak. Największa z badanych zlewni – Rybnego Potoku posiada powierzchnię 9,19 km<sup>2</sup>. Zlewnia Rybnego Potoku, położona w centralnej części masywu, posiada największą długość zlewni (5,11 km) oraz działu wodnego (19,77 km). Największą średnią szerokość zlewni osiągają zlokalizowane w zachodniej i wschodniej części masywu zlewnie Czatożanki (1,56 km) i Jaworzyny (1,55 km). Spośród badanych zlew-

ni najwyższej położona jest zlewnia Rybnego Potoku, która osiąga również największe deniwelacje (1041 m). W badanych zlewniach przeważają stoki o nachyleniach od 10 do 30°. Największy udział stoków o nachyleniu przekraczającym 40° występuje w zlewni Rybnego Potoku 3,9% (Franczak et al. 2015). Spadki źródłowych odcinków potoków znacznie przekraczają 250‰. Spadek potoków maleje z ich biegiem. Największy średni spadek posiada Marków Potok (170‰), z kolei najmniejszy Jaworzyna (75‰).

Lasy stanowią główny element środowiska przyrodniczego masywu Babiej Góry. Na obszarze Babiogórskiego Parku Narodowego (BgPN) zajmują one powierzchnię 2868 ha, co łącznie z obszarem zajęтым przez zarośla kosodrzewiny (327 ha) sprawia, że zbiorowiska leśne i zaroślowe pokrywają 95% masywu znajdującego się w granicach parku narodowego (Holeksa et al. 2004). W lasach tych rośnie 16 gatunków drzew. Jednak skład gatunkowy i struktura drzewostanów są niejednorodne. Do ich zróżnicowania przyczyniają się lokalne uwarunkowania rzeźby, jak zróżnicowanie wysokości bezwzględnej nad poziomem morza i ekspozycja. Ważne znacznie odgrywa także działalność człowieka, która na przestrzeni wieków prowadzona tu była z różnym nasileniem (od



Rycina 1. Lokalizacja obszaru badań

Figure 1. Location research area

Źródło: opracowanie własne

Source: author's own work

intensywnej gospodarki leśnej do stopniowo wprowadzanej ochrony). Lasy porastające północne stoki masywu Babiej Góry na obszarze badań rozciągają się w skali pionowej od około 700 m n.p.m. w dolnym odcinku Rybnego Potoku aż po jego górną granicę przebiegającą średnio na wysokości 1370 m n.p.m. (Czaja, Kaczka 2014).

Największe zróżnicowanie struktury i składu gatunkowego lasu na obszarze badań występuje w obrębie regla dolnego. Rosną tam na siedliskach żyznej buczyny górskiej (*Dentario enneaphylli-Fagetum* i *Dentario glandulosae-Fagetum*) lasy bliskie pierwotnym oraz wtórne monokultury świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst). Liczebnie dominuje świerk, który tworzy 52% drzewostanu, następnie buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) – 34% i jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) – 7%. Jednak wewnątrz regla dolnego wyróżnić można dwa obszary. Dolny, w którym drzewostany świerkowe tylko nieznacznie przekraczają 40% i w niewielkim stopniu ustępujący im buk. Z kolei jodła stanowi 8%, a po 1% drzewostanu tworzą jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), olsza szara (*Alnus incana* (L.) Moench) i jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.). Natomiast w górnej części dolnego regla udział świerka jest już znacznie większy i przekracza 60% drzewostanów. To zróżnicowanie wynika z faktu, iż najniżej położona część regla dolnego przyłączona została do parku dopiero w 1997 r., a we wcześniejszym okresie była intensywnie wykorzystywana gospodarczo. Zagęszczenie drzew wynosi w tej części lasu 785 sztuk/ha (miąższość – 312 m<sup>3</sup>/ha), podczas gdy w wyżej położonej części regla dolnego jest ono znacznie większe 986 sztuk/ha (miąższość – 431 m<sup>3</sup>/ha). Równocześnie drzewostany regla górnego są zdecydowanie bardziej jednorodnie gatunkowo od porastających regiel dolny. Dominuje w nim świerk, który występuje tam naturalnie, a jego domieszki stanowi jarzębina (*Sorbus aucuparia* L.). Zagęszczenie drzewostanu jest znacznie niższe 414 sztuk/ha niż w reglu dolnym, jednak miąższość jest wyższa 431 m<sup>3</sup>/ha (Holeksa et al. 2004). Wynika to z faktu, że występuje tam drzewostan naturalny znajdujący się w stadium optymalnym i w początkowej fazie rozpadu (Szwagrzyk et al. 1999). W reglu dolnym drzewa są znacznie cieńsze i ich zagęszczenie jest znacznie większe niż w starszych drzewostanach regla górnego (Holeksa et al. 2004).

W dolnych częściach zlewni, nad korytami głównych potoków znaczną powierzchnię zajmują zbiorowiska nadrzeczne olszyny górskiej (*Alnetum incanae*) i bagiennej olszyny górskiej (*Caltho-Alnetum*). Pierwsze z nich tworzą rozległe płaty w obrębie niskich teras nad korytami Marków Potoku i Jaworzyny. Występują one do wysokości 780 m n.p.m. Z kolei zbiorowiska olszyny bagiennej rosną głównie w zagłębieniach w obrębie stoków oraz u ich podnóża w dolinach potoków Markowego, Rybnego i Jaworzyny. Zajmują one łącznie powierzchnię 34 ha i rozciągają się w pasie od 650 do 1005 m n.p.m. (Parusel et al. 2004).

Na badanym obszarze prócz zróżnicowania składu gatunkowego i struktury drzewostanów występuje zróżnicowanie w ilości zalegającego martwego drewna. Największa liczba

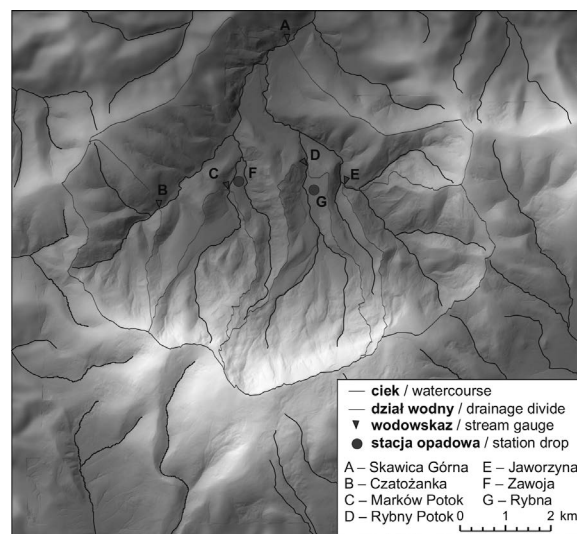
martwych drzew zgromadzona jest w rezerwach ścisłych, gdzie zalega średnio 96 sztuk/ha (o średniej miąższości 63 m<sup>3</sup>/ha). Na większości obszaru BgPN, który objęty został ochroną w 1954 r., średnia liczba martwego drewna wynosi 74 sztuki/ha (miąższość – 39 m<sup>3</sup>/ha), natomiast na obszarze przyłączonym do parku w 1997 r. – zaledwie 41 sztuk/ha, a miąższość 4 m<sup>3</sup>/ha (Holeksa et al. 2004).

### 3. Materiały i metoda badań

#### 3.1. Monitoring hydrologiczny i meteorologiczny

Monitoring hydrologiczny w zlewni górnej Skawy prowadzony jest od 1973 r. przez IMGW-PIB poniżej miejsca połączenia wszystkich potoków odwadniających masyw Babiej Góry, na posterunku wodowskazowym w Zawoi. Szczegółowymi badaniami objęto zlewnie czterech potoków: Czatożanki, Marków Potoku, Rybnego Potoku i Jaworzyny. Monitoring prowadzono w latach hydrologicznych 2012–2014 na posterunkach zlokalizowanych na granicy Babiogórskiego Parku Narodowego (ryc. 2), z zastosowaniem pływakowego czujnika poziomu wody z rejestratorem Thalimedes firmy OTT. Dodatkowo u ujścia Dejakowego Potoku oraz potoku Urwisko prowadzono monitoring stanu wody na łacie wodowskazowej. Monitoring opadów atmosferycznych na obszarze BgPN prowadzono na Rybnej Polanie (710 m.p.m.) z wykorzystaniem deszczomierzy typu SEBA RG 50, firmy SEBA Hydrometrie GmbH. Wyniki uzupełniono o dane pozyskane z IMGW-PIB dla stacji meteorologicznych w Zawoi (697 m n.p.m.).

W czasie wystąpienia wezbrania w maju 2014 r. zwiększono zakres prowadzonych pomiarów. W dniach 16–19 maja 2014 r. przeprowadzono pomiary parametrów fali



Rycina 2. Lokalizacja posterunków wodowskazowych  
Figure 2. Location of stream gauges

Źródło: opracowanie własne  
Source: author's own work

wezbraniowej, a także wykonano dokumentację fotograficzną. Bezpośrednio po przejściu fali wezbraniowej podczas prowadzenia badań terenowych wybrano miejsca lokalizacji przekrojów poprzecznych doliny w celu obliczenia przepływu maksymalnego. Przepływ maksymalny obliczono wg wzoru:

$$Q_{max} = P \cdot v$$

gdzie:

$P$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego koryta [ $m^2$ ],

$v$  – średnia prędkość przepływu [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Średnią prędkość przepływu ( $v$ ) obliczono, korzystając ze wzoru Manninga (formuły Manninga). Obliczone przepływy porównano z przepływami charakterystycznymi, obliczonymi zgodnie z zaleceniami IMGW za pomocą formuły opadowej (Biernat et al. 1991).

### 3.2. Kartowanie geomorfologiczne

W drugim etapie badań dokonano oceny przekształceń geomorfologicznych zaszłych w dniach 22–30 maja 2014 r., a następnie wykonano kartowanie geomorfologiczne koryta Rybnego Potoku i Marków Potoku, w których zaszły największe przekształcenia. Badania przeprowadzono z zastosowaniem metody kartowania terenowego opartego o rapularz i instrukcję przygotowaną w Zakładzie Geomorfologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego (Krzemień 2012). Na podstawie kartowania scharakteryzowano powstałe formy geomorfologiczne a następnie podzielono koryta na odcinki erozyjne, akumulacyjne oraz transportowe. Określono także ich cechy ilościowe i jakościowe. W obrębie zaszłych przekształceń den dolin za pomocą odbiornika GPS skartowano także położenie drzew oraz zakumulowanych kłód.

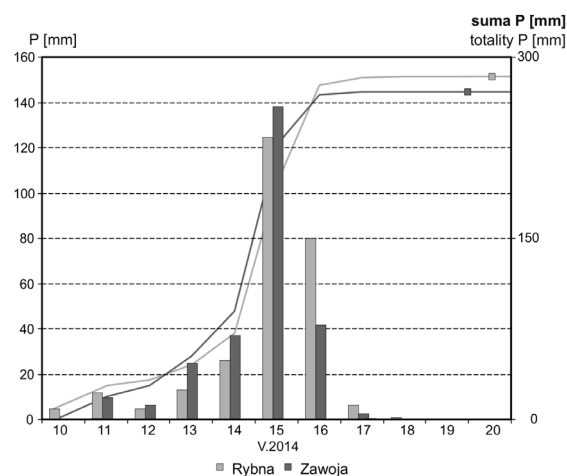
## 4. Wyniki

### 4.1. Uwarunkowania meteorologiczne

W drugiej dekadzie maja 2014 r. warunki meteorologiczne nad Europą kształtował niż „Yvette”, który przemieszczał się znad Półwyspu Bałkańskiego nad południowo-zachodnią Rumunię. Równocześnie z północnego zachodu zaczęły napływać nad Polskę chłodne masy powietrza polarno-morskiego znad Atlantyku, w rezultacie czego z południowego wschodu napłynęły nad Karpaty wilgotne masy powietrza powodujące w zachodniej ich części intensywne opady deszczu (Franczak 2015). W Zawoi dwudniowe (13–14 maja) opady wyniosły 62 mm i spowodowały wypełnienie retencji w zlewni górnej Skawicy.

W dniu 15 maja 2014 r. napływający znad Węgier i Rumunii ośrodek niżowy spowodował wzrost intensywności opadów deszczu, których natężenie dochodziło do 9,1 mm/godzinę. W zlewni górnej Skawicy (na posterunku w Zawoi) opad dobowy wyniósł 138,0 mm. Intensywny opad trwał jeszcze następnego dnia do godz. 6.00, a następnie zaczął stop-

niowo zanikać, choć przelotne opady deszczu trwały jeszcze przez cały dzień. Drugiego dnia (16 maja) suma opadów wyniosła od 41,5 mm w Zawoi do 80,1 mm na Rybnej Polanie. Na Rybnej Polanie odnotowano także najwyższą dwudniową sumę opadów (204,6 mm), natomiast łączna suma opadów w dniach 13–16 maja wyniosła w zlewni górnej Skawicy od 241,5 do 243,5 mm opadu (ryc. 3).



**Rycina 3. Dobowe opady atmosferyczne w dniach 10–20 maja 2014 r. na badanym obszarze**

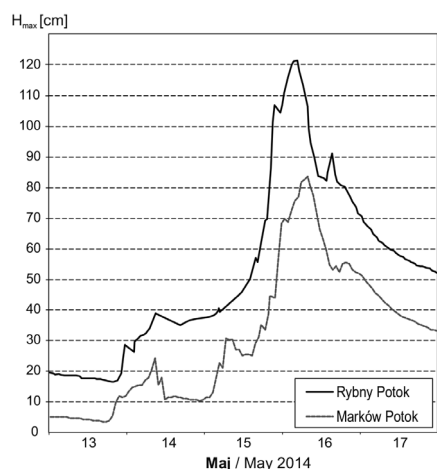
Figure 3. The daily precipitation on 10–20 May 2014. in the study area

**Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB i własnych danych**

Source: author's own work based on data from IMGW-PIB and own data

### 4.2. Przebieg wezbrania

W pierwszej dekadzie maja 2014 r. poziom wody górnej Skawicy kształtował się w strefie stanów niskich. Intensywny opad deszczu spowodował gwałtowną reakcję cieków, co przyczyniło się do uformowania wysokiej fali wezbraniowej. W dniu 13 maja o godz. 19.00 rozpoczął się ciągły przybór wody. Gwałtowny wzrost poziomu wody w ciekach rozpoczął się w dniu 15 maja o godz. 15.00 i trwał do godz. 7.00 dnia następnego, gdy nastąpiła kulminacja fali wezbraniowej. Przepływ maksymalny Skawicy w Zawoi wyniósł 76,6  $m^3 \cdot s^{-1}$ , a maksymalny odpływ jednostkowy 1,15  $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ . Największy odpływ jednostkowy wystąpił ze zlewni Rybnego Potoku 2,15  $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ , a przepływ maksymalny osiągnął 19,7  $m^3 \cdot s^{-1}$ . W zlewni Markowego Potoku odpływ jednostkowy był nieco niższy 2,10  $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$  (ryc. 4). Maksymalny odpływ jednostkowy w dniu 16 maja w zlewni górnej Skawicy na posterunku w Zawoi był najwyższy w zlewni górnej Skawy. Nieznacznie niższy maksymalny odpływ jednostkowy odnotowano w zlewni Stryszawki, w której podczas majowego wezbrania stwierdzono najwyższy maksymalny przepływ w historii prowadzenia badań (219,0  $m^3 \cdot s^{-1}$ ). Znacznie niższy  $q_{max}$  zaledwie 0,7  $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$  zaobserwowano w zlewni Skawicy na posterunku w Skawicy



**Rycina 4. Hydrogram Rybnego Potoku i Markowego Potoku w dniach 13–17 maja 2014 r.**

Figure 4. Hydrograph of Rybny Potok and Marków Potok of 13–17 May 2014

**Źródło: opracowanie własne**

Source: author's own study

Dolnej (tab.1). Przyczyną tego były znacznie mniej intensywne opady w dolnej części zlewni. Najintensywniejsze opady miały miejsce nad masywem Babiej Góry oraz nad przylegającą do niego od zachodu Grupą Mędralowej.

### 4.3. Przekształcenia geomorfologiczne

Wezbranie z 15 na 16 maja 2014 r. spowodowało duże przeobrażenia w zlewni górnej Skawicy, jednak ich wielkość w poszczególnych subzlewniach była bardzo zróżnicowana. Stwierdzono największe zmiany w zlewni Rybnego Potoku (ryc. 5), w pozostałych zlewniach przeobrażenia geomorfologiczne były znacznie mniejsze i objęły głównie dolne odcinki biegu potoków. Największe zmiany wystąpiły spośród nich w zlewni Marków Potoku (ryc. 6A) a najmniejsze w zlewni Czatożanki.

Nie zaobserwowano znaczących zmian struktury koryt, a jedynie wystąpił wyraźny wzrost liczby i rozmiarów form. W górnych odcinkach koryt stwierdzono wzrost długości i wysokości form erozyjnych, natomiast w dolnych odcinkach powstało wiele nowych form erozyjnych oraz nastąpił wzrost powierzchni istniejących form akumulacyjnych, którym towarzyszyło powstanie form erozyjnych.

W zlewni Rybnego Potoku największe przeobrażenia koryta i strefy zalewowej wystąpiły w dolnym odcinku biegu potoku (odcinek 5), gdzie powierzchnia zajmowana przez formy akumulacyjne wzrosła z 1000 do 5730 m<sup>2</sup> (tab. 1; ryc. 6B). Największa powstała w tym odcinku koryta forma mierzyła 2170 m<sup>2</sup>. Duży wzrost liczby i powierzchni form akumulacyjnych (4-krotny) wystąpił również na całej pozostałej długości doliny, jednak powstałe tam formy mierzyły zazwyczaj do 50 m<sup>2</sup> powierzchni. Największy wzrost

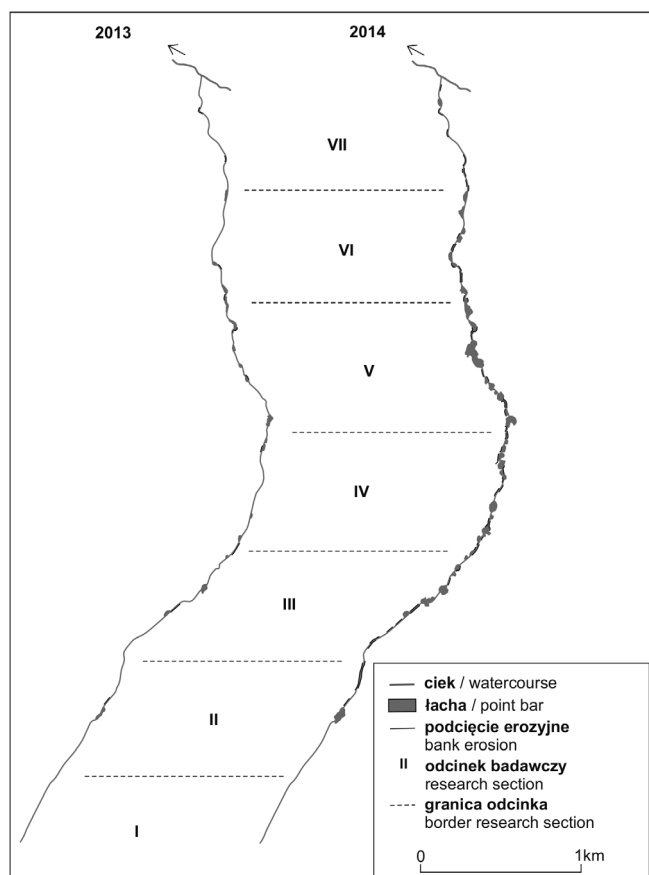
**Tabela 1. Maksymalny odpływ jednostkowy ze zlewni górnej Skawy w dniach 10–20 maja 2014 r.**

Table 1. The maximum outflow unit from the catchment of the upper Skawa on 10–20 May 2014

Data Date	Nazwa rzeki (nazwa posterunku) / Name of the river (hydrological station)					
	Skawa (Jordanów)	Skawa (Osielec)	Skawa (Sucha Beskidzka)	Stryszawka (Sucha Beskidzka)	Skawica (Skawica)	Skawica (Zawoja)
	96,6 km <sup>2</sup>	244,0 km <sup>2</sup>	468,0 km <sup>2</sup>	139,7 km <sup>2</sup>	139,0 km <sup>2</sup>	48,6 km <sup>2</sup>
	$q_{\max}$ [dm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ]					
10.V	7,1	5,5	9,0	4,9	12,9	17,9
11.V	6,4	5,0	8,2	4,5	11,7	16,1
12.V	7,9	5,8	9,1	5,5	13,6	19,5
13.V	7,4	5,4	8,7	5,3	13,3	19,5
14.V	13,6	8,6	24,8	43,0	57,6	67,5
15.V	332,3	227,0	114,7	458,3	295,7	539,1
16.V	1480,3	881,1	1149,6	1575,5	697,8	1576,1
17.V	156,3	150,0	237,2	313,0	94,2	216,1
18.V	70,3	69,7	120,1	130,9	67,6	116,5
19.V	38,5	41,4	52,1	75,5	49,2	74,5
20.V	23,1	28,8	33,3	48,3	38,1	65,0

**Źródło: opracowanie własne**

Source: author's own work



**Rycina 5. Przekształcenia geomorfologiczne w zlewni Rybnego Potoku**

Figure 5. Geomorphological transformations in the Rybny Potok catchment

Źródło: Franczak (2015); zmienione

Source: Franczak (2015); changed

liczby podcięć brzegowych miał miejsce w górnym odcinku biegu koryta (powyżej Stonowa), gdzie ich łączna długość wrosła 2-, 3-krotnie (tab. 2). Najdłuższe podcięcia erozyjne o średniej długość 80 m odnotowano w odcinku 2. Powstanie w wąskim odcinku biegu doliny licznych podcięć o wysokości dochodzącej do 7 m spowodowało dostanie się do koryta dużej liczby drzew, które utworzyły rozległe zwałowiska. W środkowym i dolnym biegu potoku długość powstałych podcięć erozyjnych wyniosła od 12 do 20 m, a ich wysokość – 1–1,5 m. Jedynie w obrębie zakoli, u podnóża wysokich teras nadzalewowych ich wysokość dochodziła do 6 m.

W zlewni Markowego Potoku największe przekształcenie dna doliny nastąpiło w dolnym biegu potoku, gdzie wykształcił się ciąg łach o powierzchni od kilku do 490 m<sup>2</sup> (ryc. 6A). Średnia powierzchnia powstałych tam form mierzyła 60 m<sup>2</sup>. Formom tym towarzyszyły podcięcia erozyjne o średniej długości 11 m i wysokości 4 m. Najwyższe powstałe formy mierzyły po powodzi błyskawicznej do 9 m wysokości.

W dolnym odcinku biegu Rybnego Potoku (ryc. 7B) w obrębie łóżyska potoku zdeponowanych zostało 129 kłód drzew. Większość z nich (67%) dostała się do koryta w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca ich zdeponowania, w wyniku powstania podcięć erozyjnych. Z kolei 33% zdeponowanych w korycie Rybnego Potoku kłód została przetransportowana z wyżej położonych części zlewni (ryc. 8B). Zdecydowaną większość stanowił świerk (*Picea abies*) (89%), przy 11% udziale kłód olszy szarej (*Alnus incana*) (ryc. 8A). W badanym odcinku zlewni Marków Potoku zinventaryzowano 25 kłód drzew (ryc. 7A), spośród których 72% stanowiły kłody olszy szarej, a 28% kłody świerka (ryc. 8A). Około połowa (52%) kłód zdeponowanych w łóżysku Marków Potoku dostała się do koryta w miejscu ich akumulacji, a 48% została przytransportowana z wyższej części zlewni (ryc. 8B).

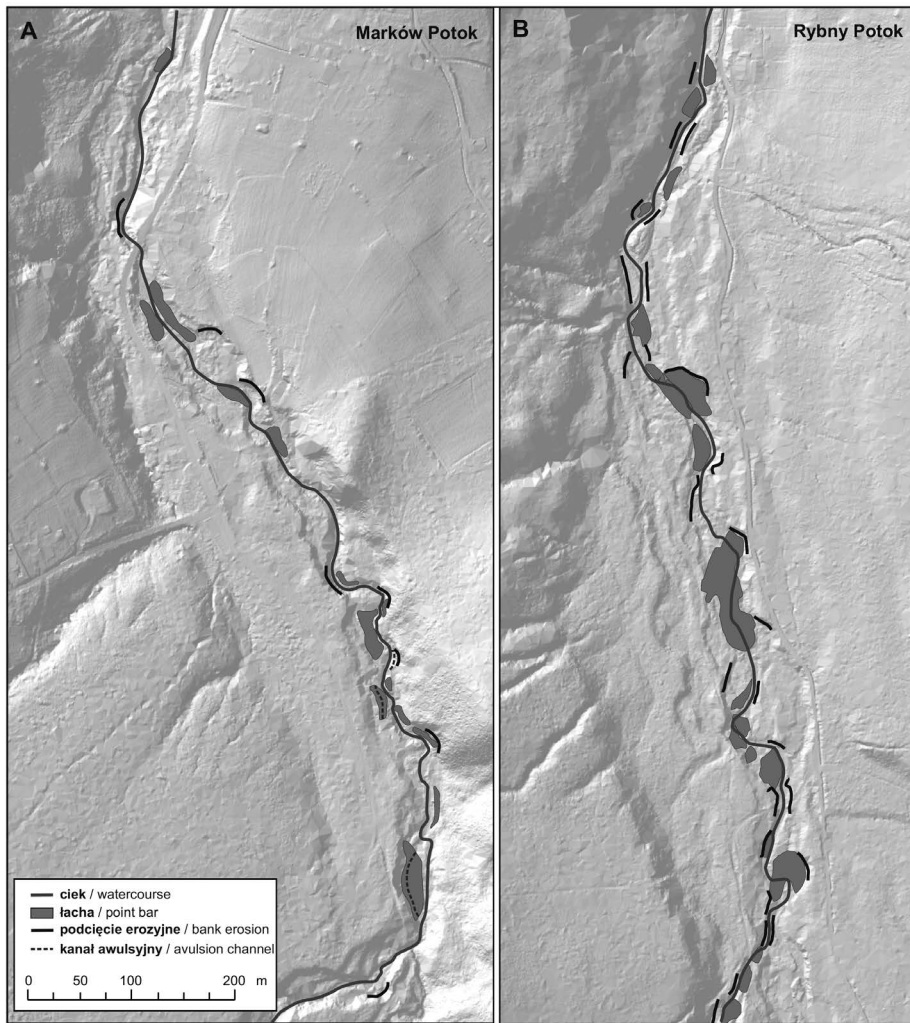
**Tabela 2. Zmiany długości podcięć erozyjnych [m] i powierzchni łach [m<sup>2</sup>] w korycie Rybnego Potoku w wyniku powodzi błyskawicznej w maju 2014 r.**

Table 2. Changes to bank erosion length [m] and b point bar area [m<sup>2</sup>] in the trough Rybny Potok as a result of flash flood in May 2014

Nr odcinka badawczego Number of tested zone	Długość pocięć erozyjnych [m] Bank erosion length [m]		Powierzchnia łach [m <sup>2</sup> ] Point bar area [m <sup>2</sup> ]	
	Lata / Years			
	2013	2014	2013	2014
I	0	0	0	0
II	50	420	150	665
III	60	136	200	850
IV	130	290	300	1 455
V	100	280	1 000	5 730
VI	20	106	150	770
VII	10	72	40	200

Źródło: opracowanie własne

Source: author's own work



**Rycina 6. Przekształcenia geomorfologiczne dolnego odcinka koryta Markowego Potoku (A) i Rybnego Potoku (B) w 2014 r.**

Figure 6. Geomorphological transformations of the lower part of Marków Potok (A) and Rybny Potok (B) channel in 2014.

**Źródło: opracowanie własne**  
Source: author's own work

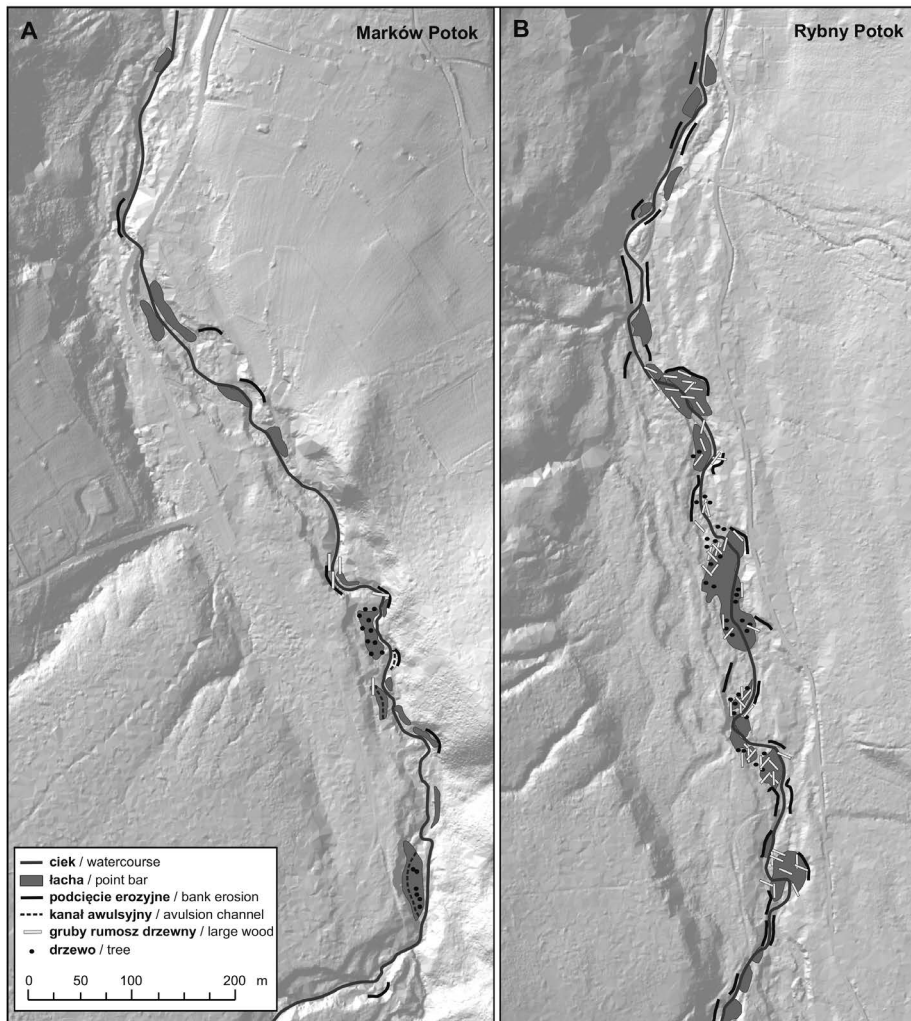
## 5. Dyskusja

Intensywne opady deszczu, które wystąpiły w połowie maja 2014 r. w rejonie masywu Babiej Góry, były jednymi z największych w historii stacji w Zawoi (pomiar od 1961), a opad z 15 maja był najwyższy 138,0 mm. Opad ten był o 15% wyższy od dotychczas najwyższego dobowego opadu z lipca 1970 r. (120,1 mm), gdy w zlewni górnej Wisły wystąpiła jedna z największych powodzi w historii (Franczak 2013, 2014b). Podobnie wysokie dobowe sumy opadów odnotowano w zlewni górnej Skawy podczas innych siedmiu zdarzeń w latach: 1934, 1958, 1960, 1970, 1983, 2001 i 2010 (Franczak 2013). Suma dobowego opadu, który spadł w zlewni górnej Skawicy 15 maja 2014 r. była jednak znacznie niższa od rekordowego opadu, który odnotowano 18 lipca 1970 r. na Leskowcu (275,1 mm). Tego samego dnia w Bieńkówce (zlewnia Paleczki) dobowy suma opadu wyniosła 209,1 mm, a w Zubrzycy Górnej (zlewnia Orawy) – 226,0 mm (Stach 2009). Jednak jak już wspomniano wcześniej, podczas tamtej fali opadowej maksymalna dobowy suma opadów w zlewni górnej Skawicy była niższa niż w 2014 r. Opady jakie odnotowano w Zawoi w maju 2014 r. nie pokrywają się jednak z miesiącami o najwyższych miesięcznych sumach opadów odnotowywanych w Karpatach Zachodnich.

Na tym obszarze najczęściej występują one w czerwcu i lipcu. Pomimo tego maj zalicza się jeszcze do okresu (od maja do września) o najwyższych miesięcznych sumach opadów atmosferycznych. Właśnie w maju odnotowano na pobliskiej stacji w Makowie Podhalańskim najwyższą miesięczną sumę opadów 521,1 mm (Cebulska, Twardosz 2012; Woźniak 2013). W maju 2014 r. suma opadów w Zawoi wyniosła 354,1 mm.

Wykształcona w rezultacie nawalnych opadów deszczu fala wezbraniowa charakteryzowała się bardzo stromym nachyleniem fazy przyboru, a czas jej koncentracji wyniósł zaledwie 14 godzin. Przepływ Skawicy w Zawoi wzrósł do 76,6 m<sup>3</sup>/s, a maksymalny odpływ jednostkowy wyniósł 1,57 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·km<sup>-2</sup>. Wyższe wartości  $q_{max}$  odnotowano natomiast w jej subzlewniach, a maksymalną wartość osiągnęły w zlewni Szumiącej Wody 2,25 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·km<sup>-2</sup>. Wartości te były jednak znacznie mniejsze od średniego maksymalnego odpływu jednostkowego obliczonego przez Bryndala (2014) dla polskiej części Karpat.

W czasie przemieszczania się fali wezbraniowej doszło do znacznego przemodelowania łóżysk babiogórskich potoków, spośród których największe przeobrażenia wystąpiły w zlewni Rybnego Potoku. Znaczące zmiany morfologii koryt odnotowano także w dolnym odcinku Marków Potoku oraz na Jaworzynie. Zmiany te były analogiczne jak wykazane przez licznych innych



**Rycina 7. Miejsca akumulacji grubego rumoszu drzewnego w dolnym odcinku koryta Marków Potoku (A) i Rybnego Potoku (B) po powodzi błyskawicznej w maju 2014 r.**

Figure 7. Accumulation places of large wood the lower part of Marków Potoku (A) and Rybny Potoku (B) channel after flash floods in May 2014

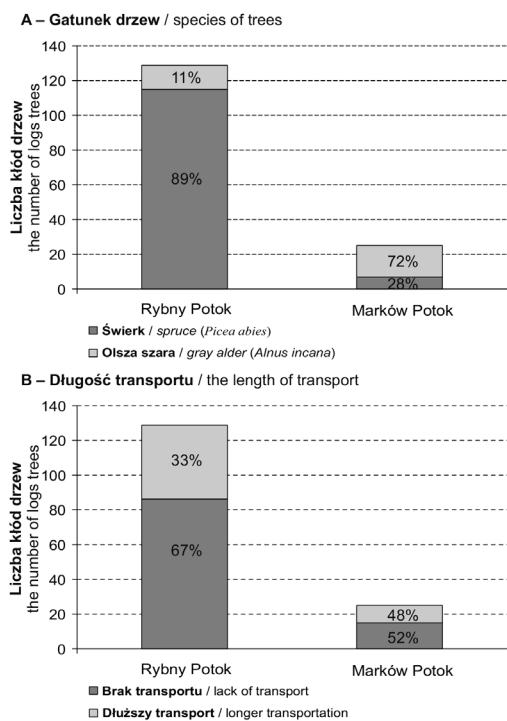
**Źródło: opracowanie własne**  
Source: Author's own work

autorów badających w polskich Karpatach wpływ wezbrań na zmiany morfologii koryt (m.in. Ziętara 1968; Krzemień 1992; Starkel 1996; Gorczyca 2004; Izmailow et al. 2008; Krzemień, Gorczyca 2010; Gorczyca et al. 2013). Zdecydowanie najmniejsze przeobrażenia wystąpiły w zlewni Czatożanki, gdzie jedynie miejscami doszło do pogłębienia koryta. Nie odnotowano natomiast w zlewni Czatożanki żadnych zmian w obrębie teras. Największe przekształcenia dna doliny wystąpiły w środkowej części biegu Rybnego Potoku we wspomnianym już odcinku 5 (ryc. 5B). W miejscu wyraźnego rozszerzenia dna doliny powstał szereg rozległych form akumulacyjnych. Przyczyniło się do tego intensywne porośnięcie brzegów koryta oraz terasy zalewowej przez płyty olszy szarej oraz świerka, na których nastąpiła akumulacja niesionego podczas przemieszczania się fali wezbraniowej materiału. Uformowały się zwałowiska materii organicznej o wysokości dochodzącej 3 m, które przegradzając światło przepływu wód wezbraniowych, powodowały tworzenie się powyżej wielkopowierzchniowych żwirowisk. Z kolei poniżej nich powstawały rozcięcia erozyjne o głębokości dochodzącej do 1,5 m. Jak wykazali już liczni autorzy (m.in. Mosler 1981; Wyżga et al. 2003; Wyżga, Zawiejska 2005; Kasprzak 2010) zatory zbudowane z rumoszu drzewnego są główną przyczyną zmian zachodzących w obrębie koryt.

Znaczny wzrost powierzchni zajętych przez formy akumulacyjne w dolinie Rybnego Potoku w przeciwieństwie do sąsiednich dolin, gdzie nie osiągnęły one tak znacznych rozmiarów (ryc. 8A), wynikał z morfologii dna doliny Rybnego Potoku oraz z rozmieszczenia na jej obszarze drzew (ryc. 8B). Zlewnia Rybnego Potoku charakteryzuje się wyraźną dwudzielnością. Stoki w górnej części zlewni cechują się dużym nachyleniem, a koryta dużymi spadkami przekraczającymi 350‰ (Franczak et al. 2015). Z kolei poniżej polany Słonów (Stonów) na długości ok. 1,5 km potok płynie stosunkowo szeroką doliną, której dno mierzy od 40 do 60 m szerokości, a miejscami dochodzi do 90 m. Spadek koryta zmniejsza się do zaledwie 80‰. Rozciągające się wzdłuż koryta terasy holocenne mierzą 0,5–1,5 m wysokości, a całą ich powierzchnię porastają zwarte drzewostany świerkowe i płyty olszy szarej.

Podczas wezbrania w maju 2014 r. w górnej części zlewni w wyniku powstania licznych pocięć erozyjnych do koryta dostała się znaczna ilość materii organicznej, w tym kłód drzew, z których część była następnie transportowana w dół doliny. W środkowym i dolnym biegu potoku wezbrane wody rozlały się na obszarze terasy zalewowej, a transportowany materiał organiczny został zdeponowany na porastających terasę drzewach. Dodatkowo swobodny przepływ wód wez-





Rycina 8. Gatunki drzew zdeponowanych w korycie (A) i odległość ich transportu (B) w dolnych odcinkach koryta Marków Potoku i Rybnego Potoku podczas powodzi w maju 2014 r.

Figure 8. Species of trees deposited in the trough (A) and the length of their transport (B) in the lower sections of the Marków Potok and Rybny Potok channel during the flood in May 2014.

Źródło: opracowanie własne

Source: author's own work

braniowych blokowały zatory złożone z rumoszu drzewnego, który dostawał się do koryta w dolnej części doliny. W wyniku nagromadzenia większej ilości kłód i drobnej materii organicznej utworzył się szereg zwałowisk, powyżej których wystąpiła akumulacja transportowanego materiału skalnego. Poniżej zwałowisk utworzyły się kotły eworsyjne i rynny erozyjne o głębokości dochodzącej do 2 m. Taki sam wpływ dużych zwałowisk rumoszu drzewnego obserwowany był w innych zlewniach karpacczych, m.in. w zlewni Bystrzanki (Kijowska-Strugała 2015).

W obrębie powstałych zwirowisk i podcięć erozyjnych nastąpiła także depozycja transportowanych kłód drzew. Największa ich ilość zdeponowana została w obrębie zwirowisk powstałych na szerokich zakolach potoku. W obrębie pojedynczych form ich liczba dochodziła do kilku-, kilkunastu sztuk, natomiast w obrębie największego zwałowiska do 20 sztuk (Franczak 2014a). W pozostałych dolinach ich liczba w obrębie poszczególnych form nie przekraczała kilku sztuk. Wśród zdeponowanych w obrębie koryta Rybnego Potoku dominowały kłody świerka, co wynikało z dostania się ich do koryta w miejscach powstania podcięć erozyjnych w obrębie terasy nadzalewowej. Olsza szara ze względu na porastanie terasy zalewowej dominowała wśród

rumoszu drzewnego zdeponowanego w korytach, w których brak było dostawy drzew z wyższych teras nadzalewowych. Taka sytuacja miała miejsce w zlewni Marków Potoku, gdzie stanowiła ona 72% rumoszu drzewnego zdeponowanego w korycie.

Gruby rumosz drzewny, który w wyniku wystąpienia wezbrania dostał się do koryt spotęgował powstanie rozległych form akumulacyjnych w dnie doliny. Występowanie dużych zwałowisk może jednak w przyszłości przyczynić się do dalszego rozwoju tych form. W przypadku wystąpienia dużego wezbrania formy te będą zaburzać przepływ hydrauliczny i zatrzymywać niesiony materiał, powodując ich wzrost.

## 6. Podsumowanie

Intensywne opady deszczu, które wystąpiły w maju 2014 r. w zlewni górnej Skawicy, wywołały znaczne przekształcenia geomorfologiczne w obrębie łóżek potoków babiogórskich. Przekształcenia w obrębie poszczególnych dolin były jednak różne. Największe przekształcenia odnotowano w zlewni Rybnego Potoku odwadniającego kopułę szczytową masywu Babiej Góry. Uzyskane wyniki badań sugerują iż przyspieszony odpływ z górnych partii masywu wywołał niską infiltracją i dużymi spadkami spowodował znaczny wzrost energii wody, która powodowała znaczną erozję brzegów koryt i transportowała porwany materiał skalny i organiczny. Występowanie w środkowym i dolnym biegu potoku niskich teras zalewowych o dużym zagęszczeniu drzew spowodowało powstanie licznych zwałowisk o wysokości dochodzącej do kilku metrów. Powyżej nich rozwinął się szereg form akumulacyjnych, a poniżej erozyjnych.

W pozostałych dolinach w zlewni górnej Skawicy było znacznie mniej rozszerzeń dolin z gęsto zadrzewionymi terasami zalewowymi, co nie sprzyjało rozwojowi na ich obszarze wielkopowierzchniowych przekształceń łóżek potoków. W obrębie ich zlewni w górnych odcinkach dolin zachodziła silna erozja, a formy akumulacyjne powstały jedynie w obrębie zakoli potoków.

Niekiedy duże zwałowiska rumoszu drzewnego tworzące się w korytach mogą być wynikiem prowadzonej gospodarki leśnej. Podczas dużych wezbrań pozostałości kłód i gałęzi mogą przemieszczać się i tworzyć zatory, przyczyniając się do dalszych zmian w obrębie koryta.

## Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

## Źródła finansowania badań

Badania terenowe sfinansowano ze środków własnych Autora, natomiast monitoring hydrologiczny przeprowadzono z wykorzystaniem sprzętu zakupionego w ramach finansowania NFOŚiGW w ramach umowy 298/2011/Wn-50/OP-MN/D.

## Literatura

- Bajgier-Kowalska M., Ziętara T. 2008. Wpływ gwałtownych opadów na modelowanie rzeźby w Dolinie Kościeliskiej w Tatrach Zachodnich. *Landform Analysis* 8: 5–8.
- Biernat B., Bogdanowicz E., Czarnecka H., Dobrzyńska I., Fal B., Karwowski S., Skorupska B., Stachy J. 1991. Zasady obliczania maksymalnych rocznych przepływów rzek polskich o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Bryndal T. 2008. Parametry zlewni, w których wystąpiły lokalne powodzie. *Annales UMCS, Sectio B, Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 63: 177–200.
- Bryndal T. 2009. Przepływy maksymalne odnotowane podczas gwałtownych wezbrań, spowodowanych krótkotrwałymi ulewnymi opadami deszczu w małych zlewniach karpaccich, w: *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych* (red. R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda). Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 329–334.
- Bryndal T. 2010. Parametry hydrologiczne wezbrań spowodowanych krótkotrwałymi intensywnymi opadami deszczu w Polsce. *Annales UMCS, Sectio B, Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 65: 43–71.
- Bryndal T. 2011. Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań (na przykładzie Pogórza Dynowskiego, Strzyżowskiego i Przemyskiego). *Przegląd Geograficzny* 83(1): 27–49.
- Bryndal T. 2014. Parametry hydrologiczne wezbrań opadowo-nawalnych w polskiej, słowackiej i rumuńskiej części Karpat. *Przegląd Geograficzny* 86(1): 5–21.
- Bucała A. 2012. Współczesne zmiany środowiska przyrodniczego dolin potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach. *Prace geograficzne IGiPZ PAN* 231: 1–145.
- Bucała A., Budek A. 2011. Zmiany morfologii koryt wskutek opadów ulewnych na przykładzie potoku Suszanka, Beskid Średni. *Czasopismo Geograficzne* 82(4): 321–332.
- Cebulski M., Twardosz R. 2012. Zmienność czasowa najwyższych miesięcznych sum opadów atmosferycznych w Polskich Karpatach Zachodnich (1951-2005). *Prace Geograficzne* 128: 123–134. DOI 10.4467/20833113PG.12.010.0359.
- Ciepielowski A. 1970. Maksymalne wielkości spływów jednostkowych z deszczów nawalnych. *Przegląd Geograficzny* 15(2): 179–193.
- Czaja B., Kaczka R.J. 2014. Dendrochronologiczna charakterystyka górnej granicy lasu na Babiej Górze w strefie jej progresu. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 40(4): 42–52.
- Dębski K. 1969. O potencjalnym najwyższym odpływie z krótkotrwałych deszczów nawalnych. *Rozprawy Hydrotechniczne* 23: 51–63.
- Długosz M., Głębińska P. 2008. Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progu Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z czerwca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Młp.). *Landform Analysis* 8: 13–20.
- Franczak P. 2013. Zagrożenie powodziowe w zlewni górnej Skawy. Praca magisterska. Zakład Hydrologii IGiP, Uniwersytet Jagielloński.
- Franczak P. 2014a. Geomorfologiczna rola katastrofalnych wezbrań w transformacji górskich koryt na przykładzie Rybnego Potoku (Masyw Babiej Góry): wstępne wyniki badań. *Zarządzanie Ochroną Przyrody w Lasach* 8: 82–94.
- Franczak P. 2014b. Rola wielkich wezbrań powodziowych w kształtowaniu życia ludności w zlewni górnej Skawy od XV wieku, w: *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii* (red. P. Krąż) 2, Kraków, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, 117–129.
- Franczak P. 2015. Hydrologiczne i geomorfologiczne skutki ekstremalnego opadu w maju 2014 roku w zlewni Rybnego Potoku (Masyw Babiej Góry). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio B – Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 70(2): 63–81.
- Franczak P., Hudyka M., Buczek K., Górnik M. 2015. Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność odpływu ze zlewni fliszowych na obszarze Masywu Babiej Góry. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio B – Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* 70(1): 96–116.
- Franczak P., Listwan-Franczak K. 2015. Zmiany geomorfologiczne i krajobrazowe zachodzące w małych zlewniach górskich pod wpływem katastrofalnych wezbrań i ich trwałość w krajobrazie. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 39: 33–44.
- Gippel C. 1995. Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers. *Journal of Environmental Engineering* 121: 388–444.
- Gorczyca E. 2004. Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe, podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny). Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 102 s.
- Gorczyca E., Krzemień K. 2008. Morfologiczne skutki ekstremalnego zdarzenia opadowego w Tatrach Regłowych w czerwcu 2007 r. *Landform Analysis* 8: 21–24.
- Gorczyca E., Wrońska-Wałach D. 2008. Transformacja małych zlewni górskich podczas opadowych zdarzeń ekstremalnych (Bieszczady). *Landform Analysis* 8: 25–28.
- Gorczyca E., Krzemień K., Wrońska-Wałach D., Sobucki M. 2013. Channel changes due to extreme rainfalls in the Polish Carpathians, w: *Geomorphological Impacts of Extreme Weather, Case Studies from Central and Eastern Europe* (red. D. Lóczy). Dordrecht, Springer, 23–35.
- Gurnell A.M., Gregory K.J., Petts G.E. 1995. The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5: 143–166.
- Holeksa J., Szwagrzyk J., Musiałowicz W., Parusel J. 2004. Struktura i dynamika lasów Babiogórskiego Parku Narodowego, w: *Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza* (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Babiogórski Park Narodowy, Kraków, 528–596.
- Izmałow B., Kamykowska M., Krzemień K. 2008. Geomorfologiczna rola katastrofalnych wezbrań w transformacji górskiego systemu korytowego na przykładzie Wilszni (Beskid Niski), w: *Przyroda – Człowiek – Bóg* (red. B. Izmałow) IGiP UJ, Kraków: 69–81.
- Jankowski L., Margielewski W. 2014. Strukturalne uwarunkowania rozwoju rzeźby Karpat zewnętrznych – nowe spojrzenie. *Przegląd Geologiczny* 62(1): 29–35.
- Kasprzak M. 2010. Geomorfologiczne i ekologiczne skutki wezbrań, w: *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki* (red. P. Migoń). Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, 141–203.
- Kijowska-Struga M. 2015. Transport zawiesiny w warunkach zmieniającej się antropopresji w zlewni Bystrzanki (Karpaty Fliszowe). *Prace geograficzne IGiPZ PAN* 247: 1–140.
- Krzaklewski P. 2008. Rola zdarzeń ekstremalnych w kształtowaniu meandrowych koryt górskich na przykładzie Czarnej Orawy w okresie 2007–2008. *Landform Analysis* 8: 45–48.

- Krzemień K. 1992. The high mountain fluvial system the western Tatra perspective. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* 60: 51–65.
- Krzemień K., Gorczyca E. 2010. Ewolucja systemów korytowych pod wpływem antropopresji (na przykładzie wybranych rzek karpaccich), w: Przekształcenia struktur regionalnych, Aspekty społeczne, ekonomiczne i przyrodnicze (red. S. Cioka, P. Migoń). Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego UW, Wrocław, 431–439.
- Lach J., Lewik P. 2002. Powódź w lipcu 2001 na Ślądczyźnie i jej skutki, w: Geomorfologiczne uwarunkowania rozwoju Małopolski (red. Z. Górka, A. Jelonek) Instytut Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 199–204.
- Lenart W. 1993. Opad atmosferyczny, w: Podstawy hydrologii Dynamicznej (red. U. Soczyńska). Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 101–116.
- Lach J. 2003. Zmiany w morfologii den dolinnych Nysy Kłodzkiej i Białej Łądeckiej powstałe w wyniku powodzi w lipcu 1997 roku. Praca doktorska. Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski.
- Łajczak A. 1998. Charakterystyka hydrograficzna, zasoby wodne, zagrożenie wód i wykonanie szczegółowej mapy hydrograficznej Babiogórskiego Parku Narodowego, w: Plan ochrony Babiogórskiego Parku Narodowego, Dyrekcja BgPN, Zawoja, 1–118.
- Łajczak A. 2004. Wody Babiej Góry, w: Babiogórski Park Narodowy. Monografia Przyrodnicza (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Białogórski Park Narodowy, Zawoja-Kraków, 153–177.
- Miechówka A., Niemyska-Lukaszuk J., Zaleski T., Mazurek R. 2004. Gleby Babiogórskiego Parku Narodowego, w: Babiogórski Park Narodowy. Monografia Przyrodnicza (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Białogórski Park Narodowy, Zawoja-Kraków, 193–207.
- Mosler M.P. 1981. The influence of organic debris on channel morphology and bedload transport in a New Zealand forest stream. *Earth Surface Processes and Landforms* 6: 571–579.
- Pasterniak K. 1983. Wody powierzchniowe, w: Park narodowy na Babiej Górze. Przyroda i człowiek (red. K. Zabierowski). PWN, Warszawa-Kraków, 63–78.
- Parusel J., Kasprowicz M., Holeksa J. 2004. Zbiorowiska leśne i zaroślowe Babiogórskiego Parku Narodowego, w: Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza (red. B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk). Białogórski Park Narodowy, Zawoja-Kraków, 431–475.
- Pociask-Karteczka J., Żychowski J. 2014. Powodzie błyskawiczne (flash floods) – przyczyny i przebieg, w: Woda w mieście (red. T. Ciupa, R. Suligowski). Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce, 213–226.
- Stach A. 2009. Analiza struktury przestrzennej i czasoprzestrzennej maksymalnych opadów dobowych w Polsce w latach 1956–1980. Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań, Seria Geografia 85: 1–323.
- Starkel L. 2011. Złożoność czasowa i przestrzenna opadów ekstremalnych – ich efekty geomorfologiczne i drogi przeciwdziałania im. *Landform Analysis* 15: 65–80.
- Szwagrzyk J., Holeksa J., Musiałowicz W. 1999. Operat ekosystemów leśnych i nieleśnych wraz z elementami ochrony gatunkowej roślin, w: Plan ochrony Babiogórskiego Parku Narodowego, Dyrekcja BgPN, Zawoja, 1–109.
- Wołoszyn B.W., Baranowska-Janota M., Holeksa J., Łajczak A., Musiałowicz W., Szczęsny B., Szwagrzyk J., Celary W., Postawa T., Wołoszyn D. 2000. Synteza planu ochrony Babiogórskiego Parku Narodowego, w: Plan ochrony Babiogórskiego Parku Narodowego, Dyrekcja BgPN, Zawoja.
- Woźniak A. 2013. Opady w 2010 roku w Karpatach Polskich na tle wielolecia 1881–2010. *Prace Geograficzne* 133: 35–48.
- Wyźga B. 2007. Gruby rumosz drzewny: depozycja w rzece górskiej, postrzeganie i wykorzystanie do rewitalizacji cieków górskich. Wydawnictwo Instytutu Ochrony Przyrody PAN, Kraków, 1–176.
- Wyźga B., Zawiejska J. 2005. Wood storage in a wide mountain river: Case study of the Czarny Dunajec, Polish Carpathians. *Earth Surface Processes and Landforms* 30(12): 1475–1494.
- Wyźga B., Kaczka R.J., Zawiejska J. 2003. Gruby rumosz drzewny w ciekach górskich – formy występowania, warunki depozycji i znaczenie środowiskowe. *Folia Geographica. Series: Geographica-Physica* 33/34: 117–138.
- Wyźga B., Kaczka R., Zawiejska J. 2012. Zróżnicowanie depozycji grubego rumoszu drzewnego w ciekach górskich o średniej i dużej szerokości. *Prace i Studia Geograficzne* 50: 159–169.
- Ziętara T. 1968. Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. *Prace Geograficzne* 60: 1–116.
- Ziętara T. 2002. Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby terenu oraz niszczeniu infrastruktury osadniczej w górnej części dorzecza Wisły, w: Geomorfologiczne uwarunkowania rozwoju Małopolski (red. Z. Górka, A. Jelonek) Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 37–45.
- Żurawek R. 1999. Zmiany erozyjne w dolinach rzek Sudetów Kłodzkich wywołane powodziami w lipcu 1997 r. oraz w lipcu 1998 r. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich* 45: 45–61.