

GENEZA I PRZEBIEG WEZBRAŃ WE FLISZOWEJ ZLEWNI BYSTRZANKI W LATACH 1995–2009

Małgorzata Kijowska

Kijowska M., 2011: Geneza i przebieg wezbrań we fliszowej zlewni Bystrzanki w latach 1995–2009 (*Genesis and floods course in the flysz Bystrzanka catchment in the period 1995–2009*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 12, s. 59–68, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Wezbrania w małych ciekach są tematem licznych publikacji, zwłaszcza w ostatnich latach, kiedy zaznacza się wzrost zagrożeń ekstremalnymi zdarzeniami meteorologicznymi i hydrologicznymi. Wielkość wezbrań związana jest głównie z warunkami pogodowymi, wśród których za najważniejsze można uznać opady atmosferyczne. Badania związane z genezą i przebiegiem wezbrań prowadzono we fliszowej zlewni Bystrzanki posiadającej cechy rzeźby pogórskiej i beskidzkiej (pogranicze Beskidu Niskiego i Pogórza Karpackiego) w latach 1995–2009. W artykule określono typy, czas trwania, zmienność czasową oraz wielkość przepływów wezbraniowych w korycie potoku Bystrzanka w latach 1995–2009, w odniesieniu do czynnika powodującego przyrost wody w rzece w przedziałach półrocznych i rocznych. Analizowane wielolecie (1995–2009) pod względem genezy, liczby wezbrań, ich przebiegu dobrze odzwierciedla przejściowość środowiska zlewni z zachodu na wschód a także z obszaru Pogórza i Beskidów.

Słowa kluczowe: wezbranie, zlewnia Bystrzanki, Beskid Niski, Pogórze Karpackie.

Key words: *floods, Bystrzanka catchment, Low Beskid, Carpathian Foothill.*

Małgorzata Kijowska, Stacja Naukowo-Badawcza IGiPZ PAN, Szymbark 430, 38-311 Szymbark, e-mail: mkijowska@zg.pan.krakow.pl

1. Wprowadzenie

Głównym czynnikiem decydującym o wzroście przepływu w rzece są warunki pogodowe. Zarówno opady atmosferyczne (deszcze ulewne i rozlewne), jak i odwilże śródziemne oraz roztopy wiosenne, przyczyniają się do zmiany stanów wody w rzece. Przebieg wezbrań, oprócz wysokości i intensywności opadów, zależy od cech fizycznogeograficznych zlewni, długości okresu bezopadowego poprzedzającego wezbranie, wilgotności podłoża (stanu retencji zlewni), pokrycia zlewni przez szatę roślinną, a w okresie zimowym również od grubości pokrywy śnieżnej, zawartości wody w śniegu, intensywności jego topnienia oraz głębokości przemarznięcia gruntu (Froehlich, 1975, 1982; So-

czyńska, 1977; Soja, 1981; Żychowski, 1988; Ciepeliński, 1992; Kostrzewski i in., 1994; Cebulak, 1999; Punzet, 1999; Święchowicz, 2002; Bryndal i in., 2008; Ciupa, 2010). Wezbrania rzek są częstym zjawiskiem i mogą występować kilka lub kilkanaście razy w roku, przybierając co kilka lat rozmiary katastrofalne, wywołując powodzie. W nomenklaturze polskiej brak jest jednoznacznej interpretacji wezbrania oraz powodzi. Z. Mikulski (1963) wezbraniem nazywa znaczne i nagłe podniesienie się stanu wody w rzekach, które interpretowane jest jako zjawisko typu hydrologicznego. Powódź natomiast jest to cecha wezbrania typu gospodarczego. J. Lambor (1962) powodziami nazywa jednak wezbrania przekraczające stan średnich wielkich wód bez względu na wyrządzone szkody.

Wezbrania rzek różnią się od siebie genezą, charakterem przebiegu, okresem pojawienia się, lokalizacją i zasięgiem terytorialnym, a także towarzyszącymi warunkami pogodowymi (Lambor, 1962). Wymienione cechy wezbrań są ze sobą wzajemnie powiązane, jednak nie ma wezbrań uformowanych w takich samych warunkach. Często można dostrzec pewne podobieństwo formowania, przebiegu, kształtu fal wezbraniowych.

W Beskidzie Niskim najczęściej obserwuje się dwa podstawowe typy genetyczne wezbrań: roztopowe oraz opadowe. Wezbrania roztopowe w Polsce południowej występują głównie w marcu lub w kwietniu, choć znane są przypadki wystąpienia wezbrań roztopowych w lutym i styczniu. Wezbrania opadowe wywołane są przez lokalne deszcze nawalne lub deszcze rozlewne, trwające przez kilka dni z rzędu, o zmiennej intensywności i dużym zasięgu terytorialnym. Wezbrania wywołane deszczami rozlewnymi są w karpackiej części najmniej bezpieczniejsze, gdyż wywołują groźne powodzie na dużych obszarach (Punzet, 1999).

Celem pracy jest określenie typów, czasu trwania, zmienności czasowej, a także wielkości przepływów wezbraniowych w korycie Bystrzanki w latach 1995–2009, w przedziałach półrocznych i rocznych. W opracowaniu skupiono się głównie na wysokości opadu, a nie na charakterze opadu. Klasyfikację genetyczną wezbrań w Bystrzance wywołanych przez opady o różnym charakterze: ulewy, opady rozlewne o dużych sumach i długim czasie trwania oraz opady o małej wydajności i małych sumach przeprowadził R. Soja (1981). Ponadto w Beskidzie Niskim w małych zlewniach badania prowadził J. Żychowski (1988, 2000) w dorzeczu Jasionki (w zlewni Mszanki 27,5 km² oraz Bełczy 28 km²). Należy jednak zaznaczyć, że przeprowadzone dotąd analizy na tym obszarze opierają się głównie na danych ze stacji IMGW i dotyczą większych rzek (Dynowska, 1971; Punzet, 1983), a prace w małych zlewniach badawczych należą do rzadkości.

2. Metody badań

Charakterystykę wezbrań w korycie Bystrzanki sporządzono na podstawie analiz limnigraficznych zapisów stanów wody w profilu zamykającym jej zlewnię. Dane pozyskane ze stacji automatycznej Milos 500 (Vaisala) w Stacji Naukowo-Badawczej w Szymbarku były podstawą oceny warunków opadowych. Do szczegółowej analizy wybrano 15-letni (1995–2009) okres obserwacji hydrometeorologicznych.

Wybór kryterium określania przepływu granicznego wezbrania, który stanowi element definicji zjawiska, ma decydujący wpływ na uzyskane wyniki.

Zgodnie z definicją przyjętą za M. Ozgą-Zielińską i J. Brzezińskim (1994) wezbranie to okres, w którym przepływy są równe i większe od przepływu granicznego wezbrania $Q \geq Q_{gr}$, obliczanego według formuły $1/2 (NWQ + WSQ)$, gdzie NWQ to przepływ minimalny z maksymalnych wartości z wielolecia, WSQ to przepływ najwyższy ze średnich wartości z wielolecia. Jest to również wartość progowa wezbrania małego. Przepływ wezbrania zwykłego stanowił: NWQ (najniższy przepływ z maksymalnych wartości z wielolecia) i wielkiego: SWQ (średni przepływ z maksymalnych wartości z wielolecia).

Szczegółowej analizie poddano genetyczne typy wezbrań w zlewni Bystrzanki: opadowe (ulewne i rozlewne), związane głównie z okresem letnim, oraz roztopowe, spowodowane wiosennym topnieniem śniegu i odwilżami śródzimowymi. Wezbrania kwalifikowano według klasyfikacji A. Byczkowskiego (1999). W przypadku występowania wezbrań spowodowanych równoczesnym nakładaniem się opadu deszczu i topnienia pokrywy śnieżnej wezbrania zaliczono do typu mieszanego. W zlewni Bystrzanki nie zaobserwowano wezbrań zatorowych, sryżowych oraz lodowych.

W celu przeanalizowania zmian sezonowych wykorzystano miesięczny współczynnik przepływu, tj. stosunek średniego przepływu miesięcznego do modułu, czyli przepływu średniego rocznego.

Obliczono także prawdopodobieństwo przepływów maksymalnych rocznych. Zgodnie z ustaleniami Z. Kaczmarka (1956, 1970) 15-letni ciąg obserwacyjny pozwala na określenie wiarygodnych wartości Q_{max} dla $p > 2\%$. Przepływ maksymalny o prawdopodobieństwie p ($Q_{p\%}$) obliczono z wykorzystaniem metody decylów, opublikowanej przez K. Dębskiego (1954). Maksymalne przepływy roczne o określonym prawdopodobieństwie pojawienia się obliczono, opierając się na rozkładzie Pearsona typu III i metodzie decyli, korzystając ze wzoru:

$$Q_{p\%} = Q_{50\%} [1 + \Phi(p,s)Cv],$$

$Q_{p\%}$ – przepływ ($m^3 \cdot s^{-1}$), którego prawdopodobieństwo osiągnięcia lub przekroczenia w roku wynosi $p\%$,

$Q_{50\%}$ – wartość środkowa w ciągu rozdzielczym maksimum rocznych,

$\Phi(p,s)$ – funkcja odczytywana z tablic (wg Kaczmarka, 1970),

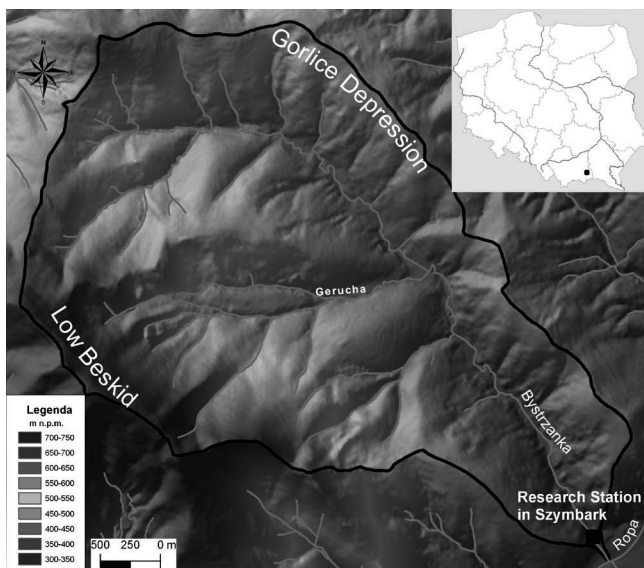
Cv – współczynnik zmienności.

Wybór rozkładu Pearsona typu III został sprawdzony testem Kołmogorowa, który bada zgodność rozkładu empirycznego z rozkładami teoretycznymi.

3. Metody badań

Zlewnia Bystrzanki, o powierzchni 13,59 km² leży na granicy Pogórza Karpackiego i Beskidu Niskiego (ryc. 1). Region beskidzki obejmuje grzbiet Trzech Kopców (Zielona, Maślana i Jelenia Góra), wznoszący się 500–750 m n.p.m., stanowiący północno-zachodnią część zlewni (Kotarba, 1970, Starkel, 1973), zbudowany z piaskowcowych serii warstw magurskich (Kozikowski, 1956). Pozostałą część zlewni tworzą pogórskie garby Taborówka – Bucze – Bieśnik o szerokich, spłaszczonych wierzchołkach wznoszących się 350–500 m n.p.m. Garby te zbudowane są w większości z łupkowo-piaskowcowych serii warstw inoceramiowych. Pokrywy zwietrzelinowe w części pogórskiej stanowią utwory o charakterze glin średnich i ciężkich, w części beskidzkiej – płytkie pokrywy z dużym udziałem rumoszu skalnego (Kotarba, 1970; Adamczyk i in., 1973). Średnie nachylenie stoków w zlewni Bystrzanki wynosi 10° (Gil, 1994).

Zlewnia Bystrzanki posiada asymetryczny kształt w odniesieniu do przebiegu koryta cieków głównych. Długość cieków głównych wynosi 7,1 km, a średni spadek w korycie 26‰ (Dauksza i in., 1970).



Ryc. 1. Obszar badań
Fig. 1. Research area

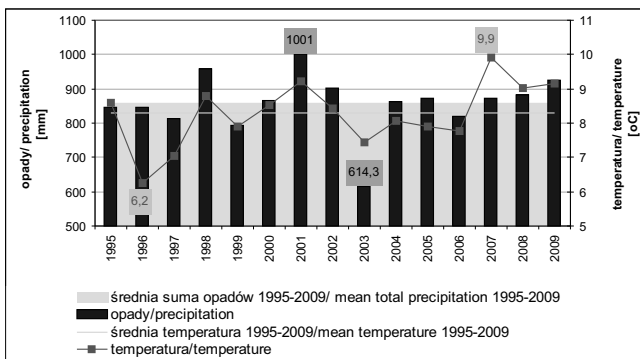
Brzegi w korycie porośnięte są drzewami i krzewami, a umocnienia siatkowo-kamiennie występują jedynie w dolnym biegu. Na całej swojej długości potok Bystrzanka otrzymuje 6 dopływów lewobrzeżnych, o łącznej długości 2,9 km i 9 dopływów prawobrzeżnych, o długości 16,1 km. Dopływy do cieków głównych odgrywają istotną rolę w przebiegu oraz wy-

sokości wezbrań zarówno w okresie zimowym, jak i letnim. Zakłócają one w sposób naturalny przebieg fali, doprowadzając do opóźnienia lub przyspieszenia kulminacji przepływu głównego cieków poniżej swego ujścia. Największe wezbranie na cieków głównym, doprowadzające zwykle do katastrofalnych skutków, występuje najczęściej, kiedy kulminacja dopływu zbiega się z kulminacją recypienta. Najdłuższym dopływem prawobrzeżnym jest potok Gerucha (3,1 km) na 3,6 km biegu rzeki Bystrzanki (ryc. 1). Gęstość cieków stałych w zlewni Bystrzanki wynosi około 1,5 km•km⁻², natomiast okresowych i epizodycznych odpowiednio 1,08 km•km⁻², 0,4 km•km⁻² (Dauksza i in., 1970).

4. Warunki meteorologiczne

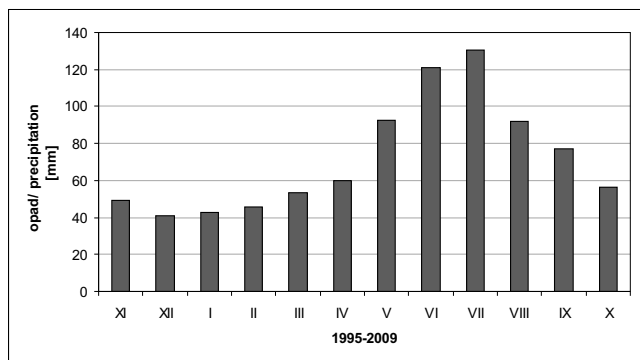
Średnia roczna temperatura powietrza w latach hydrologicznych 1995–2009 wyniosła 8,3°C (ryc. 2). Najcieplejszy był rok 2008, ze średnią roczną temperaturą powietrza 9,7°C, a najchłodniejszy – 1996 (6,6°C). Średnia suma opadów w roku hydrologicznym, w wieloleciu 1995–2009 wyniosła 858 mm, wykazując zmienność od 614,3 mm (2003 r.) do 1000,5 mm (2001 r.) (ryc. 2). Rok 2003 zgodnie z klasyfikacją opadową Z. Kaczorowskiej (1962) był rokiem bardzo suchym (614 mm), natomiast lata 1998 i 2001 były wilgotne. Suma opadów wyniosła odpowiednio 956,9 mm i 1000,5 mm. W badanych 12 latach opady oscylowały około średniej wieloletniej opadów (wyjątkiem są lata 1998, 2001, 2003). W latach hydrologicznych 1995–2009 średnio w ciągu roku występowało 207 dni z opadem, przy czym w półroczu letnim zanotowano 108 dni z opadem, o 10 więcej niż w półroczu zimowym. R. Soja (1981) wydzielił dwie kategorie opadów pod względem ich wysokości. Pierwsza związana jest z opadami, które całkowicie przechwytywane są przez glebę i roślinność i nie mają wpływu na zmianę przepływu w cieków, natomiast druga dotyczy opadów, które powodują wzrost przepływu wody w wyniku powstania opadu efektywnego. Według R. Soi (1981) opady o wysokości do 3 mm w ciągu doby są opadami, które nawet przy dużym uwilgotnieniu zlewni nie zaznaczają się w natężeniu przepływu (z wyjątkiem okresu zalegania pokrywy śnieżnej). Opady wyższe w granicach 3,1–5 mm mogą sporadycznie powodować minimalny wzrost przepływu, który jest rozłożony w przeciągu kilku godzin, natomiast opady od 5,1–10 mm powodują zwiększony wzrost przepływu trwający kilkadziesiąt godzin, a kształt fali wezbraniowej nie ma wyraźnie zarysowanej kulminacji. Wezbrania wywołane opadami do 10 mm formują się najczęściej bez udziału splotu wody po powierzchni te-

renu, są natomiast kształtowane przez wody pochodzące m.in. z powierzchni o warunkach sprzyjających spływowi, np. z dróg polnych, asfaltowych, dachów zabudowań itp., których powierzchnia w zlewni Bystrzanki wynosi ok. 1 km². W Karpatach dostawa nawet małych ilości wody do koryta następuje bardzo szybko, co związane jest z przebiegiem dróg wzdłuż cieków. W latach 1995–2009 sumy opadów dobowych do 3 mm stanowiły ok. 15,1% sumy opadów od maja do października, natomiast opady w granicach 3,1–5 mm stanowiły 3,3%. Opady w granicach 5,1–10 mm i powyżej 10 mm wyniosły odpowiednio 4% i 4,9%. Najwyższe miesięczne sumy opadu notowano w lipcu oraz czerwcu średnio: 130,8 mm oraz 121,2 mm (ryc. 3). Najwyższe dobowe sumy opadów w omawianym okresie wystąpiły: 20.05.1996 r. – 76,3 mm, 15.08.2002 – 68,3 mm, 3.06.2006 – 65,1 mm oraz 28.07.2004 – 62,3 mm.



Ryc. 2. Roczne sumy opadów oraz średnia roczna temperatura powietrza na tle wartości średnich w latach hydrologicznych 1995–2009

Fig. 2. Total annual precipitation and mean annual temperature compared to average values in the period 1995–2009

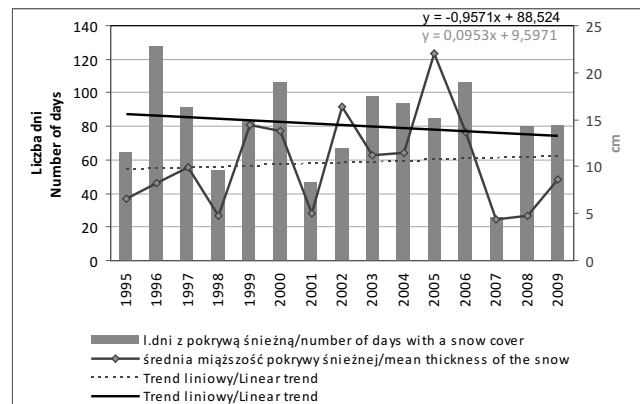


Ryc. 3. Średnia miesięczna suma opadów w latach hydrologicznych 1995–2009

Fig. 3. Average monthly total rainfall in the hydrological years 1995–2009

W Beskidzie Niskim napływ ciepłych wiatrów z sektora południowego powoduje stosunkowo późne pojawienie się pokrywy śnieżnej, a także jej częste tajanie, a zarazem wzmoczony odpływ zimowy. Późne ustalanie się pokrywy śnieżnej stwarza większe prawdopodobieństwo wkraczania jej na nieprzepuszczalne, zamrożone podłoże. W wyniku zmniejszenia infiltracji następuje zwiększony odpływ w okresie odwilży śródziemnych (Ziemońska, 1973). W zlewni Bystrzanki pokrywa śnieżna formowała się najczęściej w trzeciej dekadzie listopada. Pokrywa śnieżna o grubości do 5 cm stanowiła 39,1% wszystkich przypadków, 20,2% – o grubości 5–10 cm, 24,8% – o grubości 10–20 cm, natomiast powyżej 20 cm – 15,9%. Maksymalną miąższość pokrywy śnieżnej – 52 cm, odnotowano w 1999 roku.

Czas trwania odwilży śródziemnych i roztopów wiosennych uzależniony był od typów roztopów. Częstsze w Beskidzie Niskim niż w obszarach położonych na zachód występowanie roztopów adwekcyjnych przyczynia się do powolnego spływu wód roztopowych. W latach hydrologicznych 1995–2009 pokrywa śnieżna zalegała średnio przez 81 dni w roku, wykazując zróżnicowanie od 26 dni w 2007 roku do 128 dni w 1996 roku (ryc. 4). Zaobserwowano także tendencję spadkową liczby dni z pokrywą śnieżną oraz tendencję wzrostową średniej miąższości pokrywy śnieżnej. W ciągu zimy pokrywa śnieżna zanikała kilkakrotnie w sezonie zimowym na skutek odwilży śródziemnych, które są typowe dla Karpat fliszowych. Nieprzerwanie pokrywa śnieżna zalegała przez 96 dni w 2006 roku (od 17 grudnia 2005 roku do 22 marca 2006 roku).



Ryc. 4. Liczba dni z pokrywą śnieżną oraz średnia miąższość śniegu wraz z trendami w Szymbarku w latach hydrologicznych 1995–2009

Fig. 4. Number of days and mean thickness of snow cover with a trends in Szymbark in the hydrological years 1995–2009

5. Wyniki

5.1. Wezbrania

W omawianym wieloleciu badano wezbrania małe, zwykle oraz wielkie występujące w półroczu hydrologicznym letnim oraz zimowym. Stosując kryteria podane w rozdziale Metody badań przyjęto, że wezbranie występuje, gdy przepływ kulminacyjny jest większy niż $0,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w półroczu zimowym oraz $0,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w półroczu letnim. Ustalono również wartości przepływu dla wezbrania zwykłego i wielkiego (tab. 1).

Zbadano także jak często występuje dany przepływ, jaki przepływ pojawia się najczęściej w potoku Bystrzanka i jak długo utrzymuje się powyżej lub poniżej określonego poziomu. Średnio przez około 108 dni w roku występował przepływ w granicach ($0,1-0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), natomiast przepływy ($0,01-0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) > 4 dni krócej (ryc. 5). Przepływ powyżej $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ notowano przez 9,5 dnia. Ilość, frekwencja oraz czas trwania poszczególnych typów wezbrań uzależniona jest przede wszystkim od przebiegu warunków pogodowych. W latach 1995–2009 odnotowano 120 przepływów wezbraniowych. Średnio na każdy rok hydrologiczny przypada po 8 wezbrań. Najwięcej przepływów wezbraniowych odnotowano w 2009 roku. Zaobserwowano tendencję do zmniejszania się liczby wezbrań w półroczu hydrologicznym zimowym oraz do wzrostu ich liczby w półroczu letnim, jednak były one nieistotne statystycznie.

W Bystrzance przepływy wezbraniowe trwały średnio przez 25,5 dnia w roku, co stanowi jedynie 7% roku hydrologicznego. Wezbrania opadowe w półroczu letnim trwały średnio 2 dni i 7 h, natomiast w półroczu

zimowym 5 godzin krócej, wezbrania roztopowe 4 dni 21 h, a mieszane 5 dni 7 h. Jak wynika z badań prowadzonych przez R. Soję (1981), w zlewni Bystrzanki czas koncentracji stanowi 36–37% czasu trwania całego wezbrania, bez względu na wielkość przepływu maksymalnego. Podobne wyniki uzyskał J. Żychowski (2000) dla rzek Bełczy i Mszanki (Beskid Niski). W 15-letnim okresie dominowały wezbrania opadowe, które wystąpiły 74 razy (24 razy w półroczu hydrologicznym zimowym), natomiast wezbrania mieszane 33, a roztopowe 13 razy, co stanowi odpowiednio 61,7%, 27,5% oraz 10,8% wszystkich wezbrań (ryc. 6).

Przepływy wezbraniowe małe stanowiły ok. 15% wszystkich wezbrań zarówno w półroczu hydrologicznym letnim, jak i zimowym. Najczęściej występowały wezbrania zwykłe, w półroczu zimowym stanowiły 36,7% wszystkich wezbrań, o 13,4% więcej niż w półroczu letnim. Wezbrania wielkie w całym wieloleciu stanowiły jedynie 9,2% (ryc. 6).

Fale wezbraniowe występujące w południowej Polsce cechuje różnorodność typów. Występują fale krótkotrwałe o wysokiej kulminacji, są fale długotrwałe o niższych kulminacjach, ale mające objętość odpływu znacznie większą. Są też fale wielokrotne, przede wszystkim podwójne, gdy nowa fala wezbraniowa powstaje w czasie, kiedy poprzednia nie zdążyła jeszcze spłynąć. Wezbrania w potoku Bystrzanka charakteryzowały się występowaniem najczęściej jednej fali kulminacyjnej. Ciepeliowski (1987) dzieli hydrogramy wezbrań na: pojedyncze, bliźniacze, podwójne rosnące i zanikające, potrójne oraz bezkształtne. W korycie Bystrzanki stwierdzono występowanie wszystkich kształtów fali wezbraniowej, ale większą różnorodność

Tab. 1. Charakterystyka ilościowa wezbrań w korycie Bystrzanki w latach 1995–2009
Tab. 1. Quantitative character of floods in the Bystrzanka channel in period 1995–2009

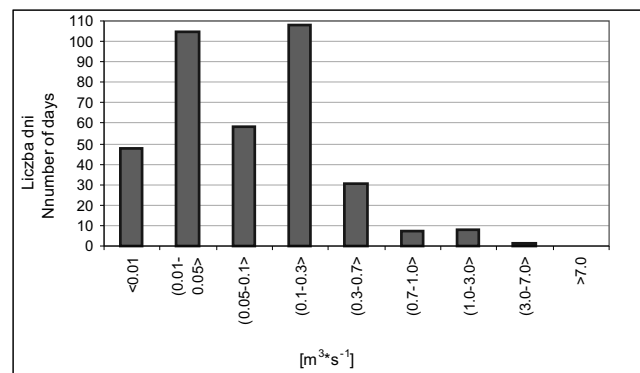
Średni przepływ/ <i>Mean discharge</i>		$0,176 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Średni przepływ jednostkowy/ <i>Mean specific discharge</i>		$0,014 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$
Maksymalny średni przepływ dobowy/ <i>Daily mean maximum discharge</i>		$8,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Półrocze hydrologiczne zimowe/ <i>Winter hydrological half year</i>	wezbranie małe/ <i>small flood</i>	$0,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} - 0,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	wezbranie zwykłe/ <i>ordinary flood</i>	$0,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} - 2,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	wezbranie wielkie/ <i>great flood</i>	$>2,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Półrocze hydrologiczne letnie/ <i>Summer hydrological half year</i>	wezbranie małe/ <i>small flood</i>	$0,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} - 1,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	wezbranie zwykłe/ <i>ordinary flood</i>	$1,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} - 3,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	wezbranie wielkie/ <i>great flood</i>	$>3,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Przepływ ekstremalny/ <i>Extreme discharge</i>		$37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Maksymalny czas trwania wezbrania/ <i>Maximum duration of the flood</i>		16 dni
Średni czas trwania przepływów wezbraniowych/ <i>Mean duration of the rising</i>		3 dni 5 godz.
Maksymalna ilość kulminacji wezbrania/ <i>Number of the flood peak</i>		4

cechuje półrocze hydrologiczne zimowe. Fale pojedyncze stanowiły tu 73% wszystkich kształtów wezbrań, złożone podwójnie rosnące i bliźniacze, odpowiednio 8,6%, 7,1%, natomiast złożone podwójnie zanikające 5,7%, a bezkształtne oraz potrójne po 2,9%. W półroczu hydrologicznym letnim zanotowano fale pojedyncze, złożone podwójnie rosnące oraz złożone podwójnie malejące i potrójne stanowiące odpowiednio 90%, 6%, 2%, 2%.

Przebiegi wezbraniowe były ściśle związane ze sposobem zasilania koryta rzeczno. Wysokość i przebieg wezbrań w okresie zimowym związany jest z ilością wody powstałej z topnienia śniegu w jednostce czasu. Gwałtowne topnienie śniegu jest często przyczyną poważnych powodzi wiosennych. W rejonach górskich powódź wiosenna nie przybierają wprawdzie tak znacznych rozmiarów jak letnie wezbrania opadowe, lecz obserwuje się większą częstotliwość pojawiania się pojedynczych wezbrań roztopowych (styczeń–marzec) oraz wezbrań o zasilaniu mieszanym (kwiecień) (Soczyńska, 1977). W zlewni Bystrzanki na formowanie się wezbrań z roztopów (zwłaszcza z roztopów radiacyjnych) decydujący wpływ ma południowa ekspozycja zlewni. W półroczu hydrologicznym zimowym zanotowano 70 wezbrań, o 20 więcej niż w półroczu letnim. Cechował je również dłuższy czas trwania (średnio 4 dni 2 h), co związane było z zasilaniem koryta przez wody opadowo-roztopowe pochodzące z różnych części asymetrycznej zlewni. Należy jednak zaznaczyć, że w analizowanym wieloleciu w półroczu zimowym wezbrania opadowe stanowiły aż 34% wszystkich wezbrań. Najdłużej trwające wezbranie zanotowano w marcu i kwietniu 2000 roku (16 dni). Wzrost wody w rzece związany był początkowo z powolnym topnieniem pokrywy śnieżnej o miąższości 50 cm, a następnie z rozlewnymi opadami deszczu, których dobową sumę dochodziła nawet do 45 mm. Marzec na przestrzeni piętnastolecia odznaczał się największą liczbą wezbrań (19). Dominowały wezbrania zwykłe, stanowiące 68% przepływów wezbraniowych notowanych w tym miesiącu.

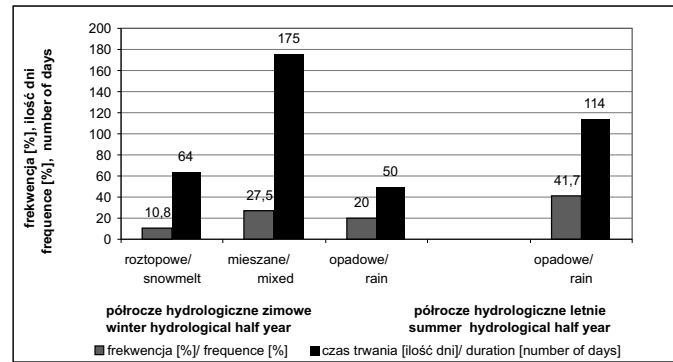
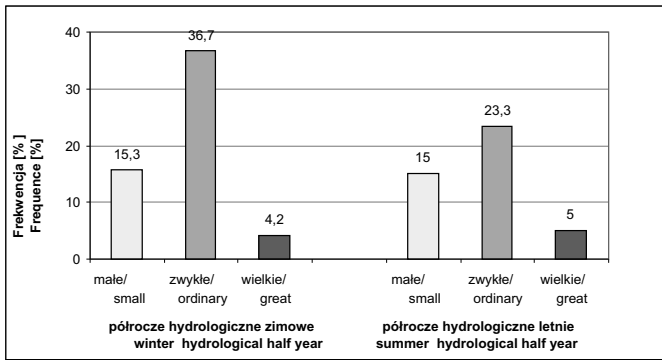
Wezbrania letnie są groźniejsze w skutkach od wezbrań zimowych i charakteryzowały się większą dynamiką. W analizowanym wieloleciu w półroczu hydrologicznym letnim zanotowano łącznie 50 wezbrań, które spowodowane były opadami rozlewnymi oraz ulewnymi, ze znaczącymi wzrostami przepływów wody. Wysokość wezbrań opadowych zależy oprócz intensywności i wydajności opadu również od powierzchni objętej opadem w stosunku do całej zlewni, cech fizycznogeograficznych zlewni, stanu retencyjnego zlewni oraz rozłożenia ujść ważniejszych dopływów

wzdłuż biegu recypienta. Położenie zlewni Bystrzanki w brzeżnej części Beskidu Niskiego, gdzie opady ulewne występują bardzo często, powoduje, że ten rodzaj opadów decyduje o wielkości odpływu ze zlewni w okresie letnim. W artykule nie rozdzielano jednak wezbrań opadowych wywołanych przez opady o różnym charakterze, gdyż tego typu badania prowadził R. Soja (1981) w zlewni Bystrzanki oraz Ropy. Wezbrania letnie występowały w korycie Bystrzanki nieregularnie i trwały krócej od wezbrań w miesiącach zimowych (średnio 2 dni). Najczęściej zdarzały się w czerwcu (14 wezbrań) i lipcu (11 wezbrań). Średnia wartość maksymalnego przepływu dobowego podczas wszystkich wezbrań wyniosła: $4,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a absolutny maksymalny przepływ wezbraniowy o wartości $37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zanotowano 4 lipca 2002 roku. Był on 209 razy większy od średniego przepływu z wielolecia ($0,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Godzinna suma opadu zanotowana tego dnia na Stacji Naukowo-Badawczej IGiPZ PAN wyniosła 24 mm, co zgodnie ze skalą K. Chomicza (1951) świadczy o wystąpieniu deszczu ulewnego III stopnia. Na tak wysoki przepływ miały jednak w znacznej mierze wpływ opady deszczu, które wystąpiły głównie w zachodniej części zlewni Bystrzanki. Okres poprzedzający lipcowe wezbranie charakteryzował się występowaniem również opadów o dobowej sumie dochodzącej nawet do 35,8 mm (28.06.2002), co doprowadziło do znacznego wzrostu wilgotności gleb i szybkiego spływu wód, szczególnie z beskidzkich obszarów zlewni.



Ryc. 5. Częstość średnich dobowych przepływów w profilu wodowskazowym zamykającym zlewnię Bystrzanki w latach 1995–2009

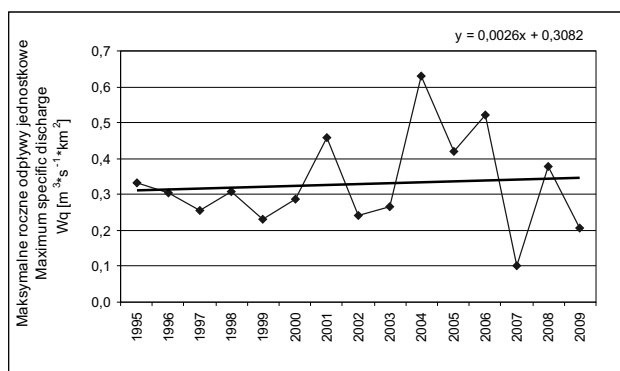
Fig. 5. The frequency of the average daily flow in hydrological section in Bystrzanka river in the period 1995–2009



Ryc. 6. Frekwencja oraz czas trwania różnych typów wezbrań w profilu wodowskazowym zamykającym zlewnię Bystrzanki w półroczu hydrologicznym zimowym (XI–IV) i letnim (V–X) w latach 1995–2009
 Fig. 6. Frequency and the duration of flood types in the hydrological section Bystrzanka channel in the winter (XI–IV) and summer hydrological half year (V–X) in the period 1995–2009

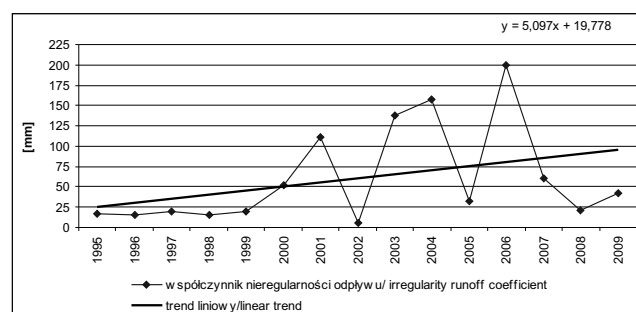
5.2. Odplyw

Średni odpływ jednostkowy (W_q) dla okresu 1995–2009 wyniósł $0,013 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ i był podobny do notowanego we wschodnich częściach Beskidów (Ziemońska, 1973), ale wyższy o około 50% od przepływów jednostkowych notowanych na Pogórze Wiśnickim w Starej Rzece (Świąchowicz, 2002). Najwyższy odpływ jednostkowy: $0,63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ odnotowano w lipcu 2004 roku (ryc. 7). Tak wysoki odpływ związany był z najwyższą zanotowaną miesięczną sumą opadów w całym analizowanym piętnastolecu – ponad 270 mm. Również wartości maksymalnych odpływów jednostkowych przewyższały maksymalne odpływy jednostkowe notowane w małych zlewniach na Pogórze (Chelmiński, 1995; Świąchowicz, 2002), wykazując tendencję wzrostową, która była jednak nieistotna statystycznie.



Ryc. 7. Maksymalne roczne odpływy jednostkowe (W_q) wraz z trendem w okresie 1995–2009
 Fig. 7. The maximum specific discharge (W_q) with a trend in the period 1995–2009

Współczynnik nieregularności odpływu, liczony jako iloraz maksymalnego do minimalnego odpływu w danym roku, kształtował się na poziomie od 5,9 mm (2002 r.) do 200,1 mm (2006 r.) i wykazywał tendencję wzrostową (ryc. 8). Tak wysoka wartość współczynnika w 2006 roku związana była między innymi z dużym zróżnicowaniem sum opadów atmosferycznych w poszczególnych miesiącach roku, a co za tym idzie – znacznym zróżnicowaniem odpływu, który w listopadzie wynosił 2,8 mm, a w czerwcu 134,3 mm. W porównaniu do innych rzek karpackich współczynnik ten nie jest wysoki, o czym decyduje w miarę stałe zasilanie w okresach letnich i jesiennych niżówek. Duże wartości współczynnika nieregularności odpływu obserwuje się w zlewniach o małej zdolności do wyrównywania odpływu w czasie, co związane jest z małą zdolnością retencyjną. Najwyższą nieregularnością odpływów odznaczają się małe



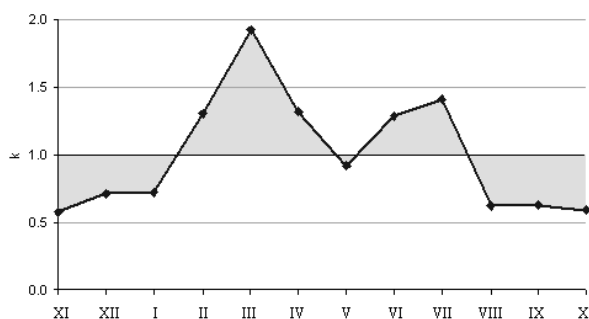
Ryc. 8. Współczynnik nieregularności odpływu dla Bystrzanki w latach 1995–2009
 Fig. 8. Irregular runoff coefficient for Bystrzanka stream in period 1995–2009

potoki, funkcjonujące okresowo. W pogórskiej części Karpat notuje się wartości często wyższe niż w rzekach beskidzkich, co związane jest z zanikiem przepływów w okresie niżówek w małych zlewniach, zwłaszcza wylesionych (Ziemońska, 1973). W potoku Bystrzanka obserwuje się zatem cechy charakterystyczne dla Makroregionu Wschodniego, obejmującego region beskidzki i pogórski (Ziemońska, 1973).

5.3. Reżim

Do charakterystyki reżimu rzecznego wykorzystano średnie z wielolecia wartości przepływów miesięcznych, jako podstawę do obliczenia współczynników przepływu ($k = SQ_m / SQ_r$). Po raz pierwszy współczynnik przepływu zastosował M. Pardé (1957) dla wydzielenia typów reżimów rzecznych, których podstawą klasyfikacji był rodzaj zasilania. Dzięki temu współczynnikowi w potoku Bystrzanka porównano odchylenia wartości średnich miesięcznych od średnich rocznych oraz wskazano okresy małego i dużego zasilania. Współczynnik przepływu przyjmujący wartość większą od 1 oznacza, że średnia miesięczna wielkość przepływu jest większa od średniego przepływu rocznego.

W potoku Bystrzanka stwierdzono występowanie ustroju rzecznego złożonego, pierwotnego, śnieżno-deszczowego. Zwiększony odpływ wód ze zlewni Bystrzanki odnotowuje się głównie w drugiej połowie półrocza zimowego oraz w półroczu letnim (ryc. 9). Odpływ w półroczu zimowym stanowił 54% odpływu rocznego. Wysoki odpływ wody spowodowany był głównie przez gwałtowne roztopy (marzec) oraz intensywne opady deszczu (czerwiec, lipiec), natomiast niskie przepływy w miesiącach sierpień–styczeń są konsekwencją niewielkich opadów jesienią oraz reten-



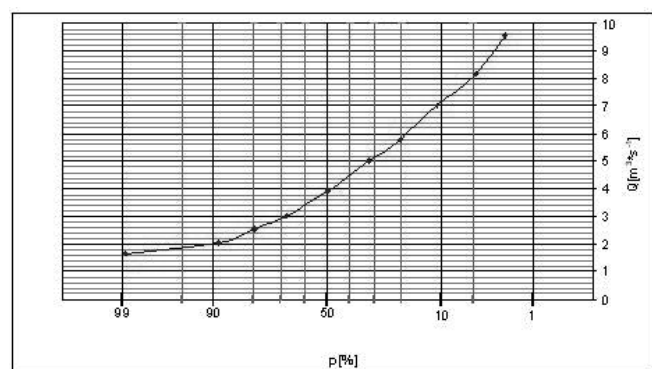
Ryc. 9. Zróżnicowanie przebiegu miesięcznego współczynnika przepływu (k) dla Bystrzanki

Fig. 9. Differences of the monthly annual course of the discharge coefficient (k) for the Bystrzanka stream

cji śniegowej. Z tego względu Bystrzanka przynależy raczej do Karpat Zachodnich, gdzie wysoki odpływ w miesiącach wiosenno-letnich jest typowy, pierwsza kulminacja występuje zazwyczaj w marcu lub kwietniu, natomiast druga, niższa kulminacja (opadowa) występuje na przełomie czerwca i lipca. W maju w całych Beskidach przepływy średnie miesięczne utrzymują się na wysokości przepływu średniego rocznego lub nieznacznie poniżej. Niżówka majowa w rzekach zasilanych wyłącznie z fliszu jest bardzo wyraźna (Chełmicki i in., 1999). W Bystrzance w maju występuje obniżenie średnich miesięcznych przepływów rzędu 53% w stosunku do marca. Wartości współczynnika przepływu w Bystrzance były w okresie wiosennym zbliżone do $k = 2,0$, co jest charakterystyczne dla rzek karpaccich położonych na wschód od Dunajca (Chełmicki i in., 1999). Wartości współczynnika przepływu podczas drugiego (letniego) maksimum są nieco niższe, a tzw. niżówka jesienna rozpoczyna się już sierpniu.

5.4. Prawdopodobieństwo przepływów maksymalnych

Na podstawie 15-letnich obserwacji przepływów wody w Bystrzance wykreślono teoretyczną krzywą prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych, wykorzystując rozkład Pearsona (typ III), począwszy od wartości 2%. Prawdopodobieństwo wystąpienia przepływu $8,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (najwyższy przepływ dobowy w półroczu letnim) wynosi 5%, czyli przeciętny okres powtarzalności (T) wynosi 20 lat, natomiast przepływu $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (najwyższy przepływ dobowy w półroczu zimowym) – 30%, $T = 3,3$ roku (ryc. 10).



Ryc. 10. Krzywa teoretyczna prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych notowanych w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię potoku Bystrzanka w latach 1995–2009

Fig. 10. The theoretical probability curve of maximum discharge in hydrometric section in Bystrzanka stream in the period 1995–2009

6. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie analizy przepływów w korycie Bystrzanki z okresu 15 lat można stwierdzić, że dominującym typem wezbrań w tej zlewni są zwykle wezbrania opadowe o przepływie granicznym w okresie zimowym od $0,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $2,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a w okresie letnim od $1,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $3,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wezbrania występują stosunkowo rzadko (jedynie 7% roku hydrologicznego), są krótkotrwałe (3,2 dnia), z jedną falą kulminacyjną, najczęściej pojedynczą. Wezbrania zimowe są dłuższe, co wiąże się ze sposobem zasilania koryta rzeczno-ego przez wody pochodzące z powolnego na ogół tajnienia pokrywy śnieżnej i różnych części asymetrycznej zlewni. Przepływy notowane w Bystrzance są typowe dla Makroregionu Wschodniego – z przewagą odpływu w półroczu zimowym (54%). Oznaczają się dwoma okresami wezbraniowymi z przewagą wezbrania wiosennego, a maksymalny miesięczny odpływ notowany jest w marcu. Współczynnik przepływu wskazuje na ustrój rzeczny złożony, pierwotny, śnieżno-deszczowy.

Geneza oraz przebieg wezbrań w korycie Bystrzanki przedstawia podstawowe prawidłowości obserwowane w małych zlewniach w Polskich Zewnętrznych Karpatach Zachodnich. Równocześnie odzwierciedla graniczne położenie zlewni Bystrzanki, prezentując cechy charakterystyczne zarówno dla Beskidów, jak i Pogórza. Wartości odpływów jednostkowych średnich oraz maksymalnych zdecydowanie przewyższają odpływy jednostkowe notowane w małych zlewniach na Pogórzu, natomiast przebieg przepływów wezbraniowych, z wyraźnie zaznaczonym okresem wezbrań wiosennych i letnich, charakterystyczny jest dla regionu pogórskiego, gdyż rzeki w obszarach beskidzkich odznaczają się wysokim wiosennym wezbraniem roztopowym i tylko słabo zaznaczonym wezbraniem opadowym. Liczba wezbrań i ich dynamika w potoku Bystrzanka jest natomiast większa niż w innych potokach na obszarach regionu pogórskiego. Analizowany piętnastoletni okres (1995–2009) pod względem genezy, liczby wezbrań, ich przebiegu jest typowy na tle innych małych potoków, ale odzwierciedla dobrze przejściowość środowiska zlewni z zachodu na wschód, a także z obszaru Pogórza i Beskidów.

7. Literatura

- Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973:** *Gleby gromady Szymbark i ich wartość użytkowa*. Dokumentacja Geograficzna, 1: 15–71.
- Byczkowski A., 1999:** *Hydrologia*. SGGW. Warszawa.

- Bryndal T., Cabaj W., Ciupa T., 2008:** *Gwałtowne wezbrania w małych ciekach w Niece Nidziańskiej*. Przegląd Geograficzny, 80, 1: 101–120.
- Cebulak E., 1999:** *Charakterystyka wysokich opadów wywołujących wezbrania rzek karpackich*. Folia Geographica ser. Geographica-Physica, vol. 29–30.
- Chelmiński W., Skąpski R., Soja R., 1999:** *Reżim rzek karpackich w Polsce*. W: W. Chelmiński, R. Soja (red.), *Hydrologia karpacka z perspektywy końca XX wieku*, Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys., 29–30: 67–80.
- Chomicz K., 1951:** *Ulewy i deszcze nawalne w Polsce*. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, 2(3): 17–88.
- Ciepielowski A., 1987:** *Badania związków pomiędzy podstawowymi parametrami fal wezbraniowych w wybranych profilach rzek*. SGGW-AR, Warszawa.
- Ciepielowski A., 1992:** *Charakterystyka zjawisk powodziowych w Polsce*. W: *Ochrona przed powodzią*, Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Ciupa T., 2010:** *Roczny cykl odpływu i transportu fluwialnego w zlewni zurbanizowanej i leśno-rolniczej na przykładzie Silnicy i Sufragańca (Góry Świętokrzyskie)*. W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Kielce: 261–272.
- Dauksza L., Gil E., Kotarba A., Kramarz K., Niemirowska J., Słupik J., Starkel L., 1970:** *Badania fizyczno-geograficzne otoczenia Stacji Naukowo-Badawczej Instytutu Geografii PAN w Szymbarku*. W: L. Starkel (red.), *Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN*, Warszawa: 3.
- Dębski K., 1954:** *Prawdopodobieństwo zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych*. PIHM, Warszawa.
- Dynowska I., 1971:** *Typy reżimów rzecznych w Polsce*. Zesz. Nauk. UJ, Pr. IG, 50: 1–155.
- Froehlich W., 1975:** *Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej*. Prace Geograficzne IG i PZ PAN, 114: 1–122.
- Froehlich W., 1982:** *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*. Prace Geograficzne IG i PZ PAN, 143: 1–144.
- Gil E., 1994:** *Rzeźba okolic Szymbarku*. W: E. Gil, L. Starkel (red.), *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego – Stacja Bazowa Szymbark (Karpaty Fliszowe)*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 27–31.
- Kaczmarek Z., 1956:** *Obliczanie okresowych średnich przepływów na podstawie okresowych średnich stanów*. Archiwum Hydrotechniki, Warszawa, t. III, 2.
- Kaczmarek Z., 1970:** *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. WKiŁ, Warszawa.

GENESIS AND FLOODS COURSE
IN THE FLYSCH BYSTRZANKA CATCHMENT
IN THE PERIOD 1995–2009

- Kaczorowska Z., 1962:** *Opady w Polsce w przebiegu wieloletnim*. Prace Geograficzne PAN, 33.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994:** *Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni*. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań: 101–106.
- Kotarba A., 1970:** *Charakterystyka rzeźby okolic Szymbarku*. Dokumentacja Geograficzna, 3: 7–24.
- Kozikowski H., 1956:** *Geologia płaszczowiny magurskiej i jej okien tektonicznych na południowy zachód od Gorlic*. Biul. IG, 110.
- Lambor J., 1962:** *Metody prognoz hydrologicznych*. WKiŁ, Warszawa.
- Mikulski Z., 1963:** *Transport zawiesiny mineralnej w rzekach polskich*. Gospodarka Wodna, 10.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994:** *Hydrologia stosowana*. PWN, Warszawa.
- Parde M., 1957:** *Rzeki*. PWN, Warszawa.
- Punzet J., 1983:** *Zasoby wodne dorzecza górnej Wisły. Przepływy średnie – rozkład sezonowy oraz zmienność w czasie i przestrzeni*. Roczniki Nauk Rolniczych, Monografie, PWN, Warszawa, t. 192.
- Punzet J., 1999:** *Występowanie katastrofalnych wezbrań w karpackiej części dorzecza Wisły*. Folia Geographica ser. Geographica-Physica, 29–30.
- Soczyńska U., 1977:** *Prognoza wezbrań roztopowych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Soja R., 1981:** *Analiza odpływu z Fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski)*. Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 1.
- Starkel L., 1973:** *Cel i zakres studiów nas środowiskiem geograficznym okolic Szymbarku*. Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 1.
- Świąchowiec J., 2002:** *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej. Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, 3: 1–134.
- Ziemońska Z., 1973:** *Stosunki wodne w Polskich Karpatach Zachodnich*. Prace Geograficzne, 103: 1–124.
- Żychowski J., 1988:** *Wpływ wybranych elementów środowiska geograficznego na kształtowanie wezbrań w małych zlewniach wschodniej części Beskidu Niskiego*. Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich, Warszawa.
- Żychowski J., 2000:** *Przyczyny różnej transformacji opadów w odpływy w dwóch zlewniach Beskidu Niskiego*. W: Z. Ziolo (red.), *Działalność człowieka i jego środowisko*, Wyd. Nauk. AP, Kraków: 93–121.

Summary

Floods in small streams are the subject of numerous publications, especially in recent years, when marked the increase extreme meteorological and hydrological risk. The size of the floods is related mainly with weather conditions, especially with the precipitation and the other elements e.g. the period prior the floods, the state of the catchment retention, the manner and condition of the vegetation cover, the catchment parameters and in the winter: the water content in snow or depth of the soil freeze. Studies on the genesis and floods course were conducted in the flysch Bystrzanka catchment in the period 1995–2009. The catchment location makes two relief types to interweave. These are the relief of the Carpathian Foothills and of the Beskidy Mts., controlled by geologic structures and tectonics.

The predominate type of the floods in the catchment are normal floods inducted by rainfall. The discharge with the high water level represent mean 7% of the hydrological year, are short (3,2 day) with one discharge wave, usually single. Floods which occur in the winter half year have a longer duration. It is related with the way of water supply to the main stream by the slowly snowmelt from the different and asymmetric part of the catchment. The discharge which are notice in the Bystrzanka stream are typical of the Eastern Macrorregion – with the runoff predominance in the winter half year (November–April) (54%). The discharge coefficient show the complex regime, snow-rain. Analyzed period (1995–2009) in terms of the genesis, the number of floods, course, is typical in comparison to the other small stream but well reflects the environment transient from west to east and from Carpathian Foothills to Beskidy Mts.