

Janusz Siwek, Bartłomiej Rzonca, Eliza Płaczkowska,
Joanna Plenzler, Barbara Jaśkowiec
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 7, 30–387 Kraków
j.siwiek@uj.edu.pl, b.rzonca@geo.uj.edu.pl

Received: 27.01.2011
Reviewed: 7.06.2011

AKTUALNE KIERUNKI BADAŃ HYDROLOGICZNYCH W BIESZCZADACH WYSOKICH

The current course of the hydrological research in the High Bieszczady Mts.

Abstract: The paper presents main results of current hydrological studies which are carried out in the High Bieszczady Mountains (Outer Carpathians). The studies included: ground water outflows, hydrographic network pattern, water discharge in main streams, the factors controlling chemical composition of groundwater and streamwater. In 2007 detailed hydrological mapping in Upper Wołosatka catchment (8,32 km²) was conducted. This resulted with information about ground water outflows types, number, discharge, and also their water temperature, specific conductivity, pH and chemical composition. Relations between occurrence of outflows and geology and ground relief were also analyzed. Specific base flow was measured in 30 catchments (with area 3,21–42,95 km²) in October 2009. The recent studies are focused on mapping of springs in Polonina Wetlińska massif.

Key words: High Bieszczady Mountains, hydrology, springs, water chemistry.

Wstęp

Zróźnicowanie warunków hydrologicznych Bieszczadów Wysokich jest jednym z istotnych czynników decydujących o bioróżnorodności tego obszaru, a także o jego walorach krajobrazowych. Charakterystycznymi obiektami, których występowanie związane jest bezpośrednio z wodą, są m.in. torfowiska, źródła oraz wodospady. Te mniej spektakularne – jak na przykład warunki wilgotnościowe i skład chemiczny wód – wpływają istotnie na pozostałe komponenty środowiska przyrodniczego – zarówno biotyczne jak i abiotyczne. Dobre rozpoznanie i charakterystyka warunków obiegu wody w środowisku Bieszczadów Wysokich wydają się zatem przedsięwzięciem ważnym – zwłaszcza, że w porównaniu z innymi częściami Karpat fliszowych warunki hydrologiczne Bieszczadów są stosunkowo słabo rozpoznane i opisane w literaturze. Szczegółowego rozpoznania wymagają m.in. warunki krenologiczne Bieszczadów, ocena czynników kształtujących wielkość odpływu powierzchniowego i podziemnego ze zlewni bieszczadzkich, a także wpływ oddziaływań antropogenicznych na jakość wód. Warto podkreślić, iż obszar Bieszczadów jest dla hydrologa obszarem szczególnie ciekawym, ponieważ stopień przekształcenia stosunków wodnych

w skali Karpat jest tu stosunkowo niewielki. Dlatego uzyskane wyniki dają podstawy do poznania mechanizmów obiegu wody w warunkach naturalnych lub seminaturalnych.

Informacje o stosunkach wodnych Bieszczadów zawarte są w opracowaniach dotyczących obszaru całych Karpat lub dorzecza Górnej Wisły (m.in. Pawlik-Dobrowolski 1965; Dobija 1981; Dynowska 1983; Dynowska, Maciejewski 1991; Dynowska 1995; Chełmicki i in. 1998/1999). W ostatnim czasie ukazała się także monografia poświęcona warunkom hydrologicznym Bieszczadów (Rzonca, Siwek 2011). W poznaniu warunków hydrologicznych szczególnie cenne są prace oparte na badaniach terenowych. Do tego typu opracowań należy zaliczyć niepublikowane opracowanie Łajczaka (1996), przedstawiające charakterystykę hydrologiczną i krenologiczną wybranych części Bieszczadzkiego Parku Narodowego (BdPN). Szczegółowy charakter mają również prace magisterskie – np. prace Bogusz (2004) i Żurka (2005), prowadzone w zlewni potoku Głębokiego. Dotyczą one jednak niewielkich obszarów. Warunki hydrogeologiczne Bieszczadów zostały syntetycznie przedstawione na Mapie hydrogeologicznej Polski (MhP) 1:50 000 (MhP 2002a, b, c, d), ale w opisach tekstowych autorzy poszczególnych arkuszy podkreślają, iż dla tego obszaru nie ma szczegółowych danych hydrogeologicznych, które pochodziłyby z bezpośrednich pomiarów terenowych. Dlatego charakterystyki przedstawione w MhP zostały stworzone głównie na podstawie analogii do sąsiednich obszarów o podobnej budowie geologicznej (Chowaniec 2002; Chowaniec, Witek 2002a, 2002b; Witek 2002). W Bieszczadach zlokalizowane są także dwa źródła objęte monitoringiem Państwowej Służby Hydrogeologicznej (Kazimierski 2004–2010). Znajdują się one w Dwerniczku oraz Wetlinie. Arkusze Mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50 000, które obejmowałyby Bieszczady, do tej pory nie powstały.

Bieszczady Wysokie posiadają kilka charakterystycznych cech różniących ich warunki hydrologiczne od Beskidów Zachodnich. Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych są tu jedne z najwyższych w całych polskich Beskidach i wynoszą około 1100 mm (Michna, Paczos 1987/88), natomiast pokrywa śnieżna pojawia się zwykle wcześniej i zanika później niż na terenach położonych na zbliżonej wysokości, ale bardziej na zachód (Leśniak 1980). Bieszczady cechuje niewielka zdolność retencyjna, której wynikiem jest płytkie krążenie oraz szybki odpływ wody opadowej (Dynowska 1995; Łajczak 1996). Zlewnie bieszczadzkie odznaczają się przeważnie prostym reżimem odpływu z wezbraniem roztopowym (Dynowska 1971).

Celem niniejszego opracowania jest przegląd głównych nurtów badawczych z zakresu hydrologii, realizowanych w ostatnich latach w Bieszczadach Wysokich. W pracy scharakteryzowano główne wyniki dotychczasowych badań jak i wskazano zagadnienia wymagające dalszych prac w przyszłości. W sposób szczególnie skoncentrowano się na badaniach prowadzonych od 2007 r. przez ze-

spół pracowników, doktorantów oraz studentów Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Podjęte badania obejmują m.in. zagadnienia związane z warunkami zasilania cieków wodami podziemnymi, występowaniem i zasilaniem źródeł, a także zagadnienia z zakresu hydrochemii – np. dotyczące czynników kształtujących skład chemiczny wód źródłanych oraz oceny wpływu działalności człowieka na chemizm wód rzecznych.

Odływ jednostkowy

Projekt dotyczący odpływu jednostkowego miał na celu uzyskanie informacji o wielkości i przestrzennym zróżnicowaniu tej podstawowej charakterystyki hydrologicznej na obszarze całych Bieszczadów Wysokich (Plenzler i in. 2010). W dniach 3–6 października 2009 roku wykonano pomiary przepływu cieków w profilach zamykających 30 zlewni, o powierzchniach od 3,21 do 42,95 km². Pomiary prowadzono w czasie długotrwałej głębokiej niżówki, podczas której przepływ Sanu w Zatwarnicy był zbliżony do średniego z minimalnych z wielolecia (SNQ). Pozwoliło to otrzymane wartości odpływu jednostkowego utożsamiać z podziemnym odpływem bazowym, czyli najtrwalszą składową podziemnego zasilania cieków.

Podziemny odływ jednostkowy wyniósł w poszczególnych zlewniach od 0,9 do 6,8 dm³/s/km², przy czym w 60% zlewni zawierał się w przedziale 1–3 dm³/s/km². Najwyższymi wartościami charakteryzowały się zlewnie o głęboko wciętych dolinach, a także takie, w obrębie których znajdują się rozległe osuwiska i związane z nimi źródła osuwiskowe (np. północne stoki Pasma Połonin oraz Pasma Granicznego). Natomiast stosunkowo niskie wartości modułu odpływu podziemnego wystąpiły w zlewniach odwadnianych przez płytko wcięte, krótkie potoki, położone na południowych stokach połonin Wetlińskiej i Caryńskiej. Nie stwierdzono statystycznych zależności pomiędzy podziemnym odpływem jednostkowym a innymi charakterystykami zlewni, a zwłaszcza budową geologiczną (Plenzler i in. 2010).

Pomiary przepływu cieków wykonano również podczas kartowania zlewni górnej Wołosatki w 2007 roku – także w warunkach głębokiej niżówki (Siwek i in. 2009). Otrzymane wyniki pokazują, że nawet w obrębie niewielkiej zlewni wielkość odpływu jednostkowego może być silnie zróżnicowana (od 1,76 do 9,76 dm³/s/km²) w poszczególnych zlewniach cząstkowych. Wskazuje to na złożoność procesów kształtujących odływ w tej części Bieszczadów.

Badania źródeł

Badania w zlewni górnej Wołosatki

Prace prowadzone w zlewni górnej Wołosatki w 2007 roku miały kilka aspektów badawczych. Głównym celem było szczegółowe rozpoznanie wypły-

wów wód podziemnych wraz ze zbadaniem cech fizykochemicznych wody. Potok Wołosatka jest źródłowym odcinkiem potoku Wołosaty, który jest dopływem Sanu. Górna część jej zlewni, o powierzchni 8,32 km², jest położona pomiędzy grupami Tarnicy, Halicza i Rozsypańca. Podłoże geologiczne zlewni stanowią utwory fliszowe wieku oligoceńskiego należące do jednostki śląskiej. Wśród nich przeważają warstwy krośnieńskie, zbudowane z gruboławicowych piaskowców otryckich oraz fliszu drobnorytmicznego z wkładkami czarnych łupków.

Kartowanie hydrologiczne przeprowadzono we wrześniu i październiku 2007 r., w trzech kilkudniowych terminach. Prace terenowe polegały na zlokalizowaniu w terenie wszystkich wypływów wód podziemnych. Określano rodzaj wypływu, opisywano jego położenie i otoczenie, mierzono lub szacowano wydajność oraz wykonywano pomiar temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) i odczynu wody. Z wód powierzchniowych oraz wybranych wypływów pobierano próbki wody do analiz chemicznych.

Łącznie zinwentaryzowano 196 wypływów wód podziemnych, wśród których dominowały źródła (52,3%) i młaki (35,2%). Wskaźnik krenologiczny, uwzględniający wszystkie typy wypływów, wyniósł 23,56 wypływów na km² i był znacznie zróżnicowany, zarówno w obrębie poszczególnych zlewni cząstkowych, jak i przedziałów wysokości. Największa liczba wypływów wystąpiła w przedziale 800–900 m n.p.m. Dominowały wypływy o niskiej wydajności - do 1 dm³/s. Zlokalizowano jedynie kilka źródeł o wydajności powyżej 1 dm³/s (Rzonca i in. 2008). Niewielka wydajność źródeł oraz szybkie wzrastanie ich liczby i wydajności po opadach deszczu jest wynikiem słabszych niż w innych częściach Beskidów właściwości filtracyjnych skał oraz związanych z tym słabszych właściwości retencyjnych terenu (Dynowska 1995).

Na podstawie wyników analiz chemicznych próbek wody pobranych w terenie, wyznaczono średni skład chemiczny wód podziemnych (Rzonca, Siwek 2009), zakres tła hydrochemicznego (Siwek, Rzonca 2009) oraz określono czynniki kształtujące skład chemiczny wody w zlewni (Siwek i in. 2010). Tło hydrochemiczne zostało wyznaczone dla wszystkich wód w zlewni oraz dodatkowo osobno dla cieków, wód źródłanych oraz podmokłości (młak i wysięków), jednak wody w obrębie tych klas nie wykazały znaczącego zróżnicowania stężeń większości jonów. Wody podziemne w zlewni górnej Wołosatki cechowały się mineralizacją ogólną od 31,1 do 314,3 mg/dm³. Przeważnie były to wody trzyjonowe HCO₃–Ca–Mg lub czterojonowe HCO₃–SO₄–Ca–Mg. Pomimo małej powierzchni zlewni i względnie jednolitej budowy geologicznej widoczne jest zróżnicowanie przestrzenne cech fizykochemicznych, nie wykazujące jednak prostych prawidłowości. Nie stwierdzono również prostych statystycznych zależności pomiędzy cechami fizykochemicznymi a wysokością terenu nad poziomem morza (Rzonca, Siwek 2009). Według analizy czynnikowej podstawowymi

czynnikami kształtującymi skład chemiczny wód w zlewni są litologia warstwy wodonośnej oraz zespół czynników uwarunkowanych wysokością nad poziomem morza, m.in. takich jak wielkość opadów czy położenie w obrębie danego piętra roślinnego (Siwek i in. 2010). Niska mineralizacja, prosta struktura składu chemicznego oraz obojętny odczyn wody wskazują na płytke zasilanie oraz krótki czas krążenia wód infiltracyjnych (Rzonca, Siwek 2009).

Gęstość uźródłowienia w zlewni górnej Wołosatki ma wyraźny związek z kierunkiem zapadania warstw skalnych w stosunku do nachylenia stoku. Szczególnie licznie źródła występowały w miejscach, gdzie warstwy skalne są nachylnie przeciwnie do kierunku nachylenia stoków. Rolę warstwy wodonośnej pełnią tutaj piaskowce otryckie o dobrych właściwościach filtracyjnych, występujące na przemian ze słaboprzepuszczalnymi łupkami. Nachylenie tych warstw – przeciwne do nachylenia stoku – stwarza warunki do gromadzenia wód i powstania źródeł przelewowych. Ciekawym obiektem jest wyraźnie widoczna w terenie linia źródeł o kilkusetmetrowej długości, która znajduje się bezpośrednio na uskoku Halicza. Położone w odległościach 10–20 m od siebie źródła występują na granicy słabo przepuszczalnej brekcji, towarzyszącej uskokowi, i mają charakter źródeł przelewowych (Rzonca i in. 2008).

Badania w masywie Połoniny Wetlińskiej

W 2009 roku rozpoczęła się realizacja nowego projektu badawczego. Polega on na zaplanowanej na kilka lat inwentaryzacji źródeł i innych wypływów wód podziemnych w masywie Połoniny Wetlińskiej, w górnych częściach zlewni dopływów Sanu i Wetliny.

Pierwsze kartowanie przeprowadzono w lipcu 2009 roku, z założeniem objęcia badaniami wypływów wód podziemnych w najwyższych częściach wszystkich zlewni odwadniających masyw Połoniny Wetlińskiej wraz ze Smerekiem. Przyjęto, że skartowane zostaną obszary źródłiskowe, choć brak było ścisłego zdefiniowania granic opracowania. Zasięg opracowania ustanawiano subiektywnie, inaczej w każdej zlewni. Po analizie wyników z całego obszaru okazało się, że w efekcie skartowano masyw powyżej rzędnych 950–1000 m n.p.m. (w zależności od zlewni). W trakcie trwania badań wystąpiły znaczne opady i dlatego po zakończeniu prac uznano, że uzyskane wyniki nie są w pełni miarodajne i porównywalne.

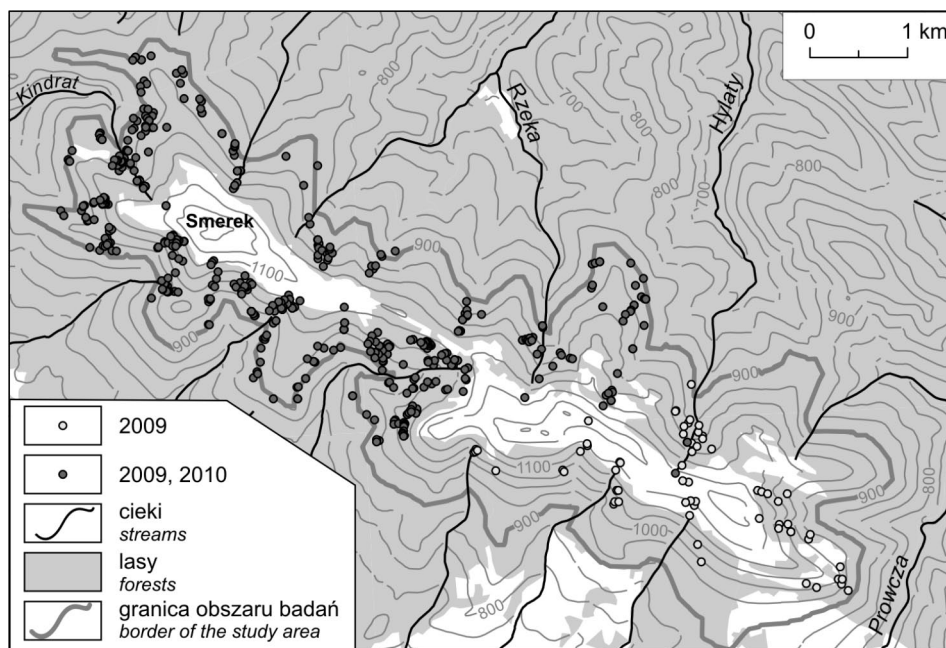
W kolejnym, 2010 roku, rozpoczęto powtórne kartowanie obszaru, połączone z weryfikacją wyników z 2009 roku, prowadzone ściśle według ujednoliconej metody. Jednoznacznie określono granicę obszaru badań – obejmując kartowaniem cały obszar Połoniny położony powyżej 900 m n.p.m. – tj. ok. 18,6 km². Zrezygnowano z wyróżniania źródlisk (czyli zespołów źródeł lub źródeł i młak) jako osobnej klasy obiektów. Duży nacisk został położony na porównywalność i reprezentatywność wyników, dlatego prace terenowe prowadzone są tylko

w stabilnych warunkach hydrometeorologicznych – przy niskich stanach wód.

W bazie danych gromadzone są następujące informacje: współrzędne geograficzne wraz z rzędną, wydajność wypływu (zmierzona lub oszacowana), cechy fizykochemiczne wody (temperatura, PEW i pH), klasyfikacja wypływu według różnorodnych kryteriów, a także informacje opisowe.

Aktualnie (stan po sezonie 2010 roku) ten etap projektu, czyli weryfikacja danych z 2009 r., uszczegółowienie oraz rozszerzenie obszaru badań, został wykonany w około 50% (Ryc. 1). Baza liczy obecnie 611 rekordów (obiektów), ale niewątpliwie będzie się jeszcze powiększać. Wśród zinwentaryzowanych obiektów dominują charakterystyczne dla Karpat fliszowych wypływy o małych i bardzo małych wydajnościach. Niewielki odsetek wypływów charakteryzuje się wydajnością powyżej 1 dm³/s.

Dużym zaskoczeniem jest obecność na badanym terenie kilku źródeł bardzo wydajnych – nietypowych na fliszu. Co ciekawe, występują one na znacznych wysokościach bezwzględnych, w pobliżu górnej granicy lasu. Pomiar wydajności takich źródeł, w trudnych warunkach terenowych, na obszarze objętym ochroną (co wyklucza ingerencję w koryto odprowadzające wodę) są niezwykle trud-



Ryc. 1. Wypływy wód podziemnych skartowane w masywie Połoniny Wetlińskiej w latach 2009–2010.

Fig. 1. Grounwater outflows mapped in the Polonina Wetlińska massif in years 2009–2010.

nym zadaniem. Dlatego też w ramach projektu wydzielono osobną grupę osób, które nie biorą udziału w bieżącym kartowaniu, a zajmują się jedynie pomiarami wydajności dużych źródeł, ujawnionych podczas kartowania przez inne zespoły. Badania te wykonywane są przy niskim stanie wód, metodą wolumetryczną. Pomiary przeprowadzone dotychczas wykazały obecność na badanym obszarze dziesięciu źródeł o wydajności powyżej 4 dm³/s, spośród których cztery miały wydajność nawet powyżej 10 dm³/s, zaś jedno – najwydajniejsze – ok. 20 dm³/s. Jedynym wcześniej zidentyfikowanym i znanym źródłem z tej grupy jest źródło nazwane „Przy Szlaku”, zlokalizowane w pobliżu górnej granicy lasu, przy szlaku turystycznym z Suchych Rzek na Przełęcz Orłowicza. Jednak jest to jedno z najmniejszych źródeł w grupie dziesięciu najwydajniejszych wypływów – jego wydajność wynosiła 4,92 dm³/s.

Sieć rzeczna

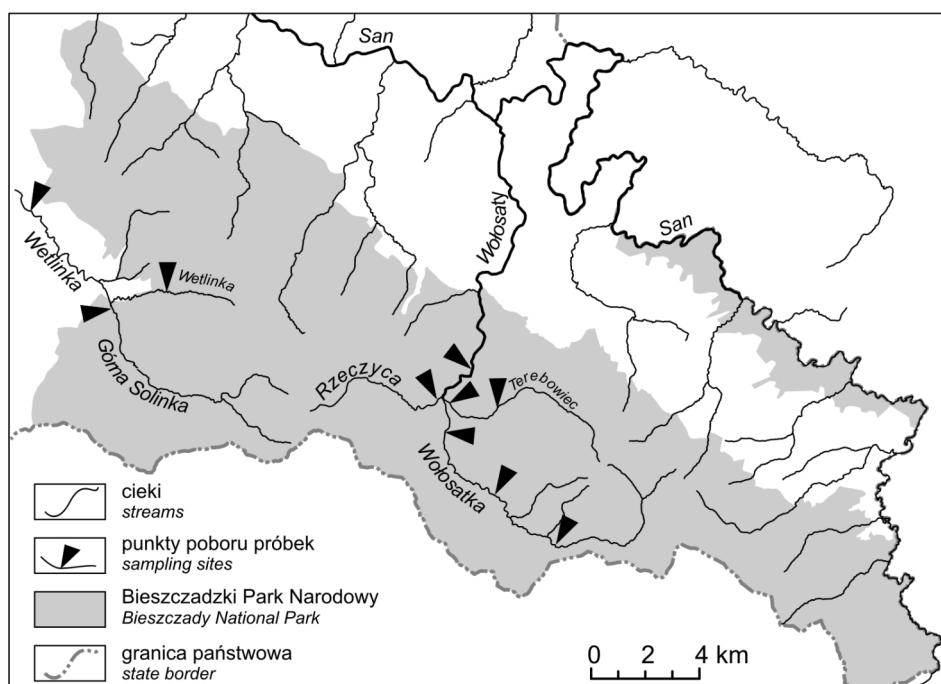
Wyniki kartowania zlewni górnej Wołosatki pozwoliły również na przeprowadzenie analizy jej sieci rzecznej (Siwek i in. 2009). Wykształcenie sieci rzecznej jest uwarunkowane przede wszystkim litologią i tektoniką. Średnia gęstość sieci rzecznej wynosi 3,45 km/km², jednakże jest różna w poszczególnych zlewniach cząstkowych i zależy przede wszystkim od przebiegu cieków głównego względem biegu warstw skalnych. Stwierdzono występowanie dolin odwadnianych stale i okresowo oraz takich, w których na pewnych odcinkach woda znika z powierzchni płynąc w rumoszu – po czym ponownie wypływa. Charakterystycznym elementem badanej zlewni jest występowanie w korytach cieków nawet kilkumetrowej wysokości progów skalnych, tworzących malownicze wodospady.

Jakość wód powierzchniowych

Skład chemiczny wód rzecznych w Bieszczadach kształtowany jest przede wszystkim pod wpływem naturalnych cech środowiska przyrodniczego oraz zmiennych w czasie warunków hydrometeorologicznych. Jednakże, wraz z ciągłym rozwojem sieci osadniczej oraz infrastruktury turystycznej, w ciekach bieszczadzkich zaznaczają się lokalnie wpływy antropogeniczne. Znaczna część ścieków odprowadzanych w BdPN podlega oczyszczaniu – głównie w małych oczyszczalniach mechaniczno-biologicznych o maksymalnej przepustowości nie przekraczającej zwykle kilkudziesięciu metrów sześciennych na dobę. Wpływ zrzutów oczyszczonych ścieków oddziałuje na jakość wód rzecznych nawet na odcinku do kilkuset metrów poniżej miejsc zrzutu. Zanieczyszczone w ten sposób wody charakteryzują się podwyższonym stężeniem chlorków, jonu amonowego, ortofosforanów, a także pogorszonymi warunkami tlenowymi (Kukuła, Stachowicz-Kawalec 1996; Kukuła 1997; Kukuła, Prędkie 1997; Kukuła 1999).

Względnie niewielka objętość ścieków odprowadzanych do potoków o znacznym przepływie ulega rozcieńczeniu, przy czym stopień tego rozcieńczenia wyraźnie wzrasta z biegiem potoku – wraz z coraz większym przepływem związanym z dostawą wód z kolejnych dopływów oraz z zasilania podziemnego. Z tego względu pełna ocena wpływu poszczególnych miejscowości na chemizm wód rzecznych powinna uwzględniać zarówno stężenia zanieczyszczeń, jak i ich odprowadzane ładunki.

W celu wstępnej oceny wpływu miejscowości turystycznych na skład chemiczny głównych potoków w BdPN wykonano w dniach 6 i 9 lipca 2010 roku jednorazowy pobór próbek wody z głównego nurtu cieku w dziesięciu punktach hydrometrycznych (Ryc. 2). Punkty pomiarowe zlokalizowane były powyżej i poniżej trzech najbardziej popularnych miejscowości turystycznych, tj. Ustrzyk Górnych, Wołosatego i Wetliny. Pobór wykonany w okolicach Ustrzyk Górnych i Wołosatego (6 lipca 2010 r.) przeprowadzono w warunkach stanów niskich. Natomiast pobór próbek wód z Wetlinki (9 lipca 2010 r.) wykonano w warunkach opadania fali wezbraniowej. Wraz z poborem próbki wody wykonano w terenie pomiar jej temperatury, odczynu oraz PEW, a także mierzono przepływ cieku

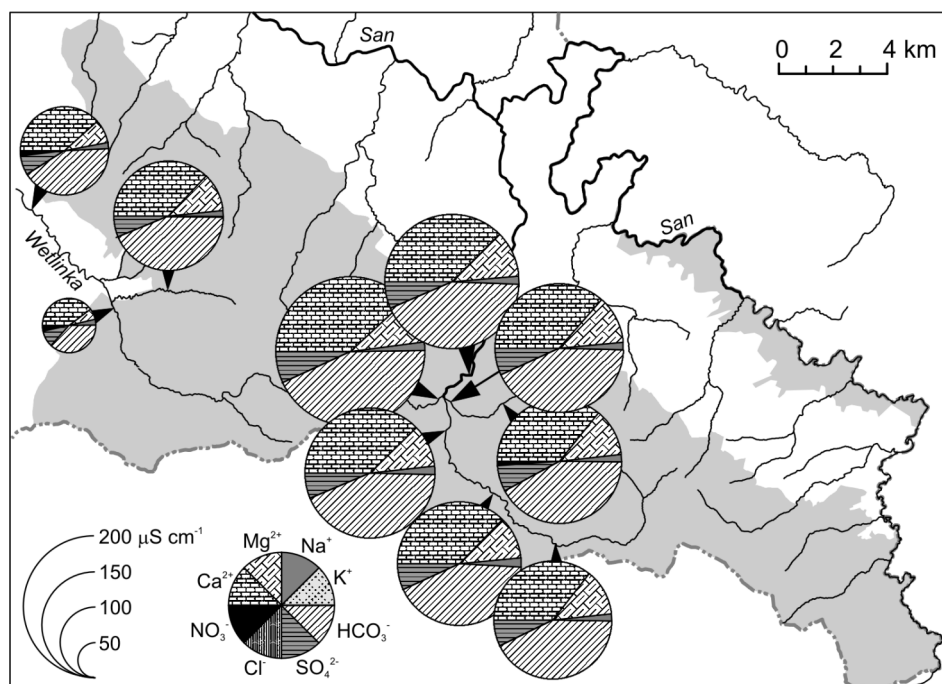


Ryc. 2. Punkty poboru próbek wód rzecznych.

Fig. 2. Streamwater sampling sites.

przy pomocy młynka hydrometrycznego. Wykonane pomiary przepływu pozwoliły nie tylko na porównanie stężeń poszczególnych związków chemicznych w cieku powyżej i poniżej potencjalnych ognisk zanieczyszczeń, lecz także na ocenę dostawy ładunku zanieczyszczeń pochodzących z poszczególnych miejscowości. Oznaczenia laboratoryjne obejmowały stężenia jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , PO_4^{3-} , NH_4^{+} , NO_2^{-} , oraz NO_3^{-} i zostały wykonane przy użyciu chromatografu jonowego ICS-2000 firmy Dionex, z kolumnami analitycznymi AS18 (4 mm) oraz CS16 (5 mm).

W zlewni potoku Wołosaty wody rzeczne charakteryzowały się najczęściej mineralizacją ogólną od 140 do 160 mg/dm^3 , jedynie wody Rzeczyca miały nieco większą mineralizację (189 mg/dm^3). Niższą mineralizacją odznaczały się wody w zlewni Wetlinki (60–130 mg/dm^3); należy jednak pamiętać, że próbki wody pobrane zostały po parodniowych opadach – w trakcie opadania fali wezbraniowej. We wszystkich wodach wśród kationów dominował jon wapniowy (70–80% równoważnikowej sumy kationów) oraz magnezowy (13–25%). Wśród anionów dominowały wodorowęglany (73–86% równoważnikowej sumy anionów) oraz siarczany (12–20%) (Ryc. 3).



Ryc. 3. Przewodność elektrolityczna właściwa i skład chemiczny badanych wód.

Fig. 3. Specific conductivity and chemical composition of streamwater.

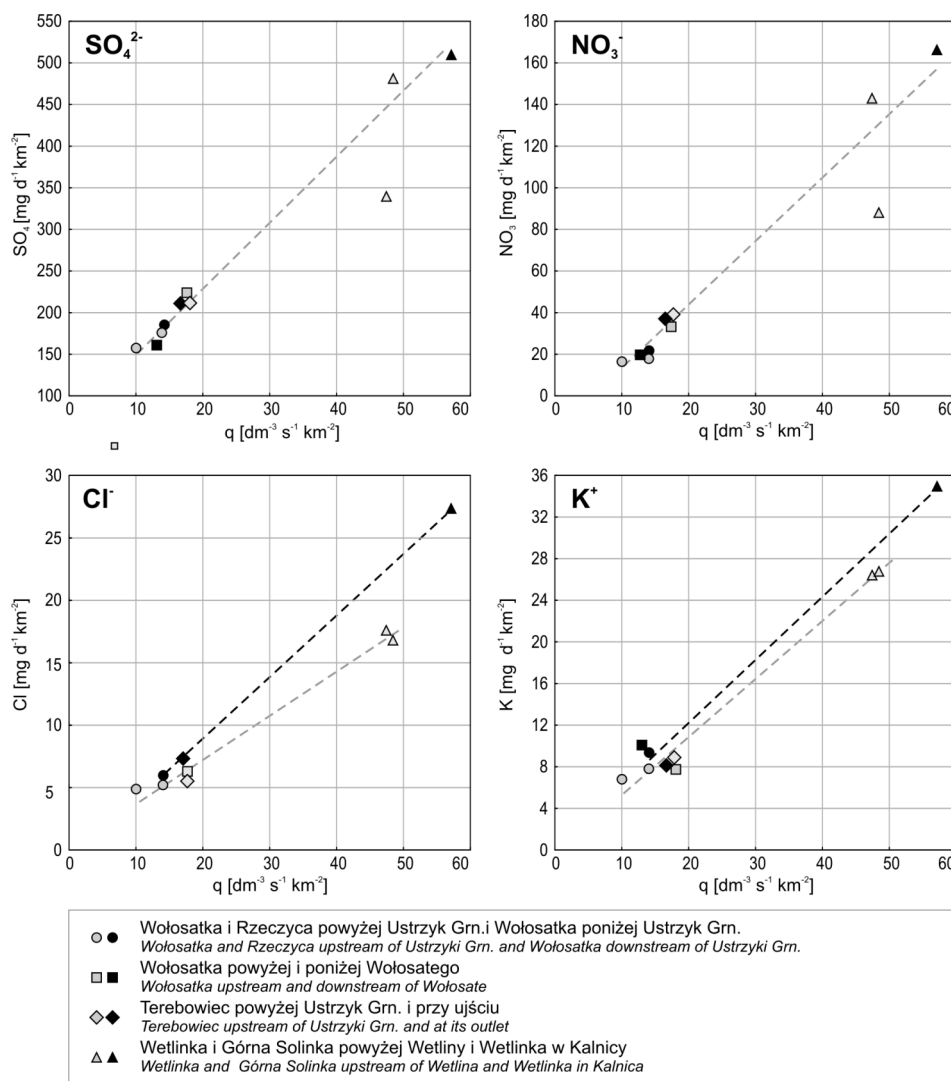
Niezależnie od miejsca poboru wody rzeczne zawierały jedynie śladowe ilości pozostałych makroelementów (Na^+ : 1,2–2,0 mg/dm³; K^+ : 0,5–0,7 mg/dm³; Cl^- : 0,3–0,6 mg/dm³). Potoki charakteryzowały się także niskim stężeniem mineralnych form azotu i fosforu (NO_3^- : 1,6–3,0 mg/dm³; NH_4^+ : 0,006–0,060 mg/dm³; NO_2^- : poniżej 0,02 mg/dm³; PO_4^{3-} : poniżej 0,02 mg/dm³).

Przeprowadzone badania nie wskazują na istotne przeobrażenie chemizmu wód rzecznych wskutek dostawy zanieczyszczeń z poszczególnych miejscowości, ponieważ docierające zanieczyszczenia zostają silnie rozcieńczone w wodach potoków. Nie oznacza to jednak całkowitego braku wpływu opisywanych miejscowości na chemizm wód. W odniesieniu do niektórych jonów zauważalny jest bowiem przyrost ładunku jednostkowego odprowadzanych jonów w punktach położonych poniżej opisywanych miejscowości. Prawidłowość ta zaznacza się najwyraźniej w odniesieniu do jonu Cl^- oraz, w mniejszym stopniu, do jonu K^+ (Ryc. 4). Przyrost ładunku jednostkowego tych jonów poniżej miejscowości jest wyraźnie większy, niż wynikałoby to z przyrostu powierzchni dorzecza i różnic w odpływie jednostkowym w poszczególnych punktach. Co ciekawe, poniżej miejscowości nie stwierdzono podwyższonego ładunku jednostkowego jonów NO_3^- oraz SO_4^{2-} – często wiązanych z antropopresją. Pełna ocena wpływu miejscowości turystycznych na chemizm wód wymaga jednak dalszych badań, obejmujących różne sezony i różne warunki hydrologiczne.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono główne kierunki badań hydrologicznych prowadzonych przez autorów w Bieszczadach. Większość przedstawionych projektów badawczych wymaga kontynuacji i rozbudowania w przyszłości.

Próba kompleksowej charakterystyki stosunków wodnych w skali całych Bieszczadów Wysokich jest opublikowana właśnie monografia hydrologiczna Bieszczadów w granicach zlewni Solinki i Sanu po ujścia tych rzek do Jeziora Solińskiego (Rzonca, Siwek 2011). W opracowaniu tym zawarto m.in. informacje o opadach i pokrywie śnieżnej, charakterystykę sieci rzecznej i zlewni elementarnych oraz dokonano charakterystyki odpływu powierzchniowego i podziemnego.



Ryc. 4. Związek ładunku jednostkowego odprowadzanych jonów z odpływem jednostkowym (q).

Fig. 4. Relationship between the unit load of dissolved material and unit discharge (q).

Literatura

- Bogusz A. 2004. Charakterystyka hydrograficzna zlewni potoku Hylatego w Bieszczadach. Praca magisterska, archiwum Zakładu Hydrologii IGiGP UJ, Kraków.
- Chelmiński W., Skąpski R., Soja R. 1998/1999. Reżim hydrologiczny rzek karpackich w Polsce. *Folia Geographica, series Geographica-Physica* 29–30: 67–80.

- Chowaniec J. 2002. Komentarz do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, arkusz Ustrzyki Górne. Wyd. PIG, Warszawa.
- Chowaniec J., Witek K. 2002a. Komentarz do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, arkusz Jabłonki. Wyd. PIG, Warszawa.
- Chowaniec J., Witek K. 2002b. Komentarz do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, arkusz Lutowiska. Wyd. PIG, Warszawa.
- Dobija A. 1981. Sezonowa zmienność odpływu w zlewni górnej Wisły (po Zawichost). Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 53: 51–112.
- Dynowska I. 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce. Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 28, s. 1–150.
- Dynowska I. 1983. Odpływ podziemny w dorzeczu górnej Wisły. Czasopismo Geograficzne 4, 54: 459–477.
- Dynowska I. 1995. Wody. W: Warszńska J. (red.), Karpaty polskie: przyroda, człowiek i jego działalność. Wyd. UJ, Kraków: 49–67.
- Dynowska I., Maciejewski M. (red.) 1991. Dorzecze górnej Wisły. Część I. Wyd. PWN, Warszawa-Kraków.
- Kazimierski B. (red.) 2004. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2003. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kazimierski B. (red.) 2005. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2004. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kazimierski B. (red.) 2006. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2005. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kazimierski B. (red.) 2007. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2006. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kazimierski B. (red.) 2008. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2007. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kazimierski B. (red.) 2009. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2008. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kazimierski B. (red.) 2010. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2009. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kukuła K. 1997. Ochrona oraz projekt monitoringu wód i zasiedlającej jej fauny polskiej części Rezerwatu Biosfery Karpat Wschodnich. Roczniki Bieszczadzkie 6: 299–312.
- Kukuła K. 1999. Podstawowe problemy ochrony wód w Bieszczadzkim Parku Narodowym. Roczniki Bieszczadzkie 8: 74–79.
- Kukuła K., Prędki R. 1997. Monitoring hydrologiczny i hydrochemiczny wód płynących Bieszczadzkiego Parku narodowego. Roczniki Bieszczadzkie 6: 319–324.
- Kukuła K., Stachowicz-Kawalec R. 1996. Zanieczyszczenia wód potoku Wołosaty. Roczniki Bieszczadzkie 5: 155–164.
- Leśniak B. 1980. Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły. Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 51, s. 75–127.
- Łajczak A. 1996. Warunki hydrologiczne. W: Skiba S. (red.), Plan ochrony Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Operat ochrony przyrody nieożywionej i gleb. Kraków-Ustrzyki Dolne, BdPN, manuskrypt, s. 12–38.
- MhP 2002a. Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Jabłonki. Wyd. PIG, Warszawa.

- MhP 2002b. Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Lutowiska. Wyd. PIG, Warszawa.
- MhP 2002c. Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Ustrzyki Górne. Wyd. PIG, Warszawa.
- MhP 2002d. Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, arkusz Wetlina. Wyd. PIG, Warszawa.
- Michna E., Paczos S. 1987/1988. Zróżnicowanie temperatury powietrza i opadów atmosferycznych na obszarze wschodniej części polskich Karpat. *Annales UMCS, Sec. B*, 52/53: 111–142.
- Pawlik-Dobrowolski J. 1965. Uźródłowienie południowej Polski. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 12: 75–127.
- Plenzler J., Bajorek J., Jaśkowiec B., Kołodziej A., Rzonca B., Siwek J., Wójcik S. 2010. Podziemny odpływ jednostkowy w Bieszczadach Wysokich. *Przegląd Geologiczny* 58: 1147–1151.
- Rzonca B., Kołodziej A., Laszczak E., Mocior E., Plenzler J., Płaczkowska E., Rozmus M., Siwek J., Ścisłowicz B., Wójcik S., Ziółkowski L. 2008. Źródła w zlewni górnej Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. *Przegląd Geologiczny* 56, 8/2: 772–779.
- Rzonca B., Siwek J. (red.) 2011. *Hydrologia Bieszczadów*, Wyd. IGiGP UJ, Kraków.
- Rzonca B., Siwek J. 2009. Skład chemiczny wód źródeł i młak w zlewni górnej Wołosatki (Bieszczady Wysokie). W: R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.), *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, s. 373–381.
- Siwek J., Kołodziej A., Laszczak E., Mocior E., Plenzler J., Płaczkowska E., Rozmus M., Rzonca B., Ścisłowicz B., Wójcik S., Ziółkowski L. 2009. Geologiczne i geomorfologiczne uwarunkowania wykształcenia sieci hydrograficznej w zlewni górnej Wołosatki (Bieszczady Wysokie). *Kwartalnik AGH Geologia* 35, 2: 249–261.
- Siwek J., Rzonca B. 2009. Tło hydrochemiczne wód w zlewni Górnej Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 436: 469–474.
- Siwek J., Rzonca B., Jaśkowiec B., Laszczak E., Plenzler J., Płaczkowska E. 2010. Natural factors affecting the chemical composition of water in the catchment of Wołosatka Stream (High Bieszczady Mts.). In: Kozak J., Ostapowicz K. (red.) *Conference Proceedings of the 1st Forum Carpaticum, Integrating Nature and Society Towards Sustainability*. IGiGP UJ, Kraków.
- Witek K. 2002. *Komentarz do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, arkusz Wetlina*. Wyd. PIG, Warszawa.
- Żurek S. 2005. Warunki obiegu wody w zlewni potoku Głębokiego (Bieszczady). Praca magisterska, archiwum Zakładu Hydrologii IGiGP UJ, Kraków.

Summary

The outline of results of the hydrological investigations that are carried out in the High Bieszczady Mountains by geographers from the Jagiellonian University are presented.

River discharge in 30 investigated catchments were measured in October 2009 during low flow period (Plenzler et al. 2010). Differences observed in the

specific baseflow were varying from 0.9 to 6.8 l/s/km². Occurrence of colluviums is conducive to high values of baseflow. On the other hand, low values of baseflow are common to catchments drained by short and shallow streams.

In 2007 detailed hydrological mapping in Upper Wołosatka catchment (area 8.32 km²) was conducted. Springs were the most common outflow type in the area (52.55%). Outflow density in the area was equal to 23.56 per km². Outflow discharges were low and very low. Specific conductivity were rather low: 42.7–323.5 µS/cm and the acidity was neutral or slightly alkaline. Only water in swamps was slightly acidic. The dominant type of springwater was HCO₃–Ca–Mg or HCO₃–SO₄–Ca–Mg (Rzonca, Siwek 2009). Even in such a small catchment there is spatial variability of physical and chemical characteristics, but the factors controlling this variability are complex and sometime difficult to identify (Rzonca, Siwek 2009). According to Principal Component Analysis (PCA) the fundamental factor shaping the proportions between different ions is water-bearing horizon lithology (Siwek et al. 2010). The spatial distribution of outflow strongly depends on geology, tectonics and river valley direction (Rzonca et al. 2008).

In 2009 a new project started. Its aim is an inventory of all groundwater outflows in Polonina Wetlińska massif above 900 m a.s.l. In the database the following information are collected: longitude, latitude and elevation, discharge of outflow (measured or estimated), temperature, specific conductivity, acidity, classification (according to several criteria). Till now about 50% of area have been analyzed, that results with 611 objects in database (Fig. 1). Unexpectedly, what is not common in flysch, a few springs with quite a big discharge (4–20 l/s) are located close to upper limit of forest.

Based on results from mapping in upper Wołosatka catchment it's hydrographic network were also characterized. Mean stream density is 3.45 km/km², but it is different in particular parts of catchment. It depends mostly on relation between main watercourse direction and direction of bedrock layers. Stream network was classified as permanent streams, periodical streams and streams flowing under a cover of debris. The interesting phenomena are chutes developed on solid sandstones (Siwek et al. 2009).

Investigations carried out in July 2010 shows that main tourist resorts like Ustrzyki Górne and Wetlina hardly affect water quality in streams in Bieszczady National Park. Chemical composition was dominated by HCO₃⁻, Ca²⁺ and Mg²⁺ (Fig. 3). However unit load of some ions is increasing in sites situated downstream tourist resorts (Fig. 4).