

## CHARAKTERYSTYKA HYDROCHEMICZNA WÓD PODZIEMNYCH BESKIDU SĄDECKIEGO

### THE HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE GROUNDWATER IN THE BESKID SĄDECKI

Tomasz Gągulski

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy,  
Oddział Karpacki

**Streszczenie.** Wieloletnie obserwacje składu chemicznego wód paleogeńskiego (fliszowego) poziomu wodonośnego na obszarze Beskidu Sądeckiego wskazują, iż są to wody bardzo dobrej i dobrej jakości. Wynika to głównie ze sposobu zagospodarowania terenu oraz naturalnie chronionych obszarów zasilania. W wielu rejonach Beskidu Sądeckiego zwykle wody podziemne współwystępują z wodami leczniczymi. Dlatego też dobra jakość wód zwykłych ma istotne znaczenie w kształtowaniu się chemizmu wód leczniczych. Przedstawiona w artykule charakterystyka hydrochemiczna oparta została o wyniki analiz fizyczno-chemicznych wód podziemnych wykonanych w 2012 r. w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB).

**Abstract.** Multiannual observations of the chemical composition of a Palaeogene (flysch) water aquifer in the Beskid Sądecki point to very good and good water quality in the area. This is mainly due to the land use and management as well as the presence of naturally protected groundwater recharge areas. In many parts of the Beskid Sądecki the groundwater co-occurs with therapeutic waters. For that reason the good quality of groundwater is essential in shaping the chemistry of therapeutic waters. The hydrochemical characteristics presented in the article was based on the results of physical-chemical analyzes of the groundwater performed in the Central Chemical Laboratory of the Polish Geological Institute – National Research Institute (PIG-PIB).

**Słowa kluczowe:** Beskid Sądecki, jakość wód, chemizm, flisz karpacki

**Key words:** the Sądecki Beskid Mts, water quality, water chemistry, Carpathian Flysh

## WSTĘP

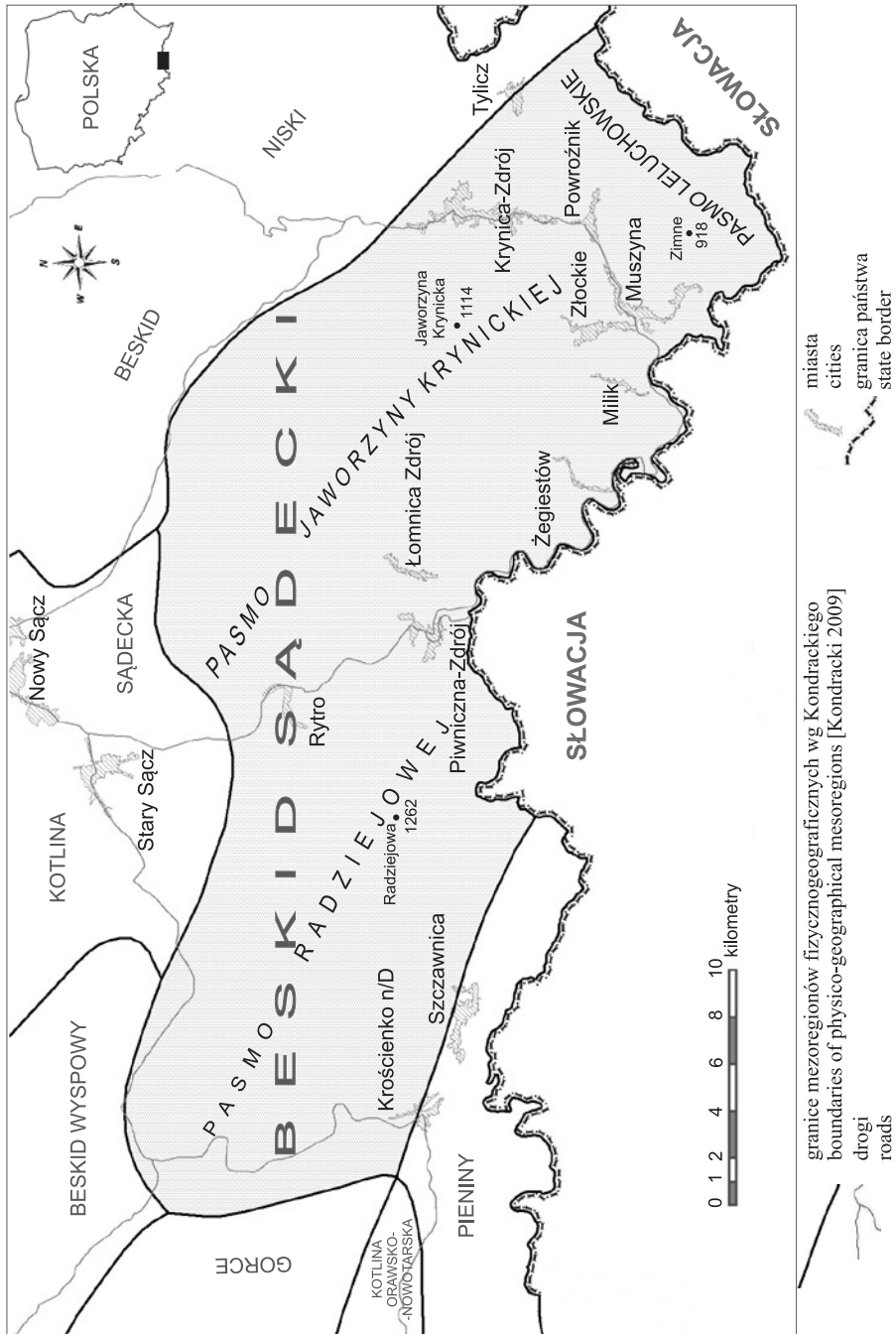
Beskid Sądecki to rejon Polski o bogatych walorach krajobrazowo-turystycznych oraz uzdrowiskowych. Swoją wysoką pozycję na mapie turystycznej Polski zawdzięcza on m.in. licznie występującym tu wodom leczniczym i mineralnym, które wraz z wodami zwykłymi tworzą wspólny system wodonośny. Jakość zwykłych wód podziemnych ma bezpośredni wpływ na chemizm wód mineralnych i leczniczych. Dlatego też dla zachowania walorów tego regionu Polski ogromne znaczenia ma dbałość o dobry stan jakościowy i ilościowy wód podziemnych.

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU

Obszar badań położony jest w południowej części województwa małopolskiego. Beskid Sądecki (513.54) jest mezoregionem w obrębie Beskidów Zachodnich i sięga poza granice państwa, na Słowację. W granicach administracyjnych Polski zajmuje on powierzchnię 670 km<sup>2</sup> [Kondracki 2009]. Rozciąga się od doliny Dunajca na zachodzie po doliny Kamienicy, Mochnaczki i Muszynki na wschodzie. Na południu graniczy z Pieninami (514.12), na zachodzie z Kotliną Orawsko-Nowotarską (514.11) i Gorcami (513.52), na północy z Beskidem Wyspowym (513.49) i Kotliną Sądecką (513.53), a na północnym wschodzie z Beskidem Niskim (513.71). Łatwo dają się zauważyć pasma wzniesień będące głównymi elementami budowy morfologicznej Beskidu Sądeckiego (ryc. 1). Od zachodu są to Pasma Radziejowej z kulminacją na szczycie Radziejowej (1265 m n.p.m.) oraz Pasma Jaworzyny Krynickiej z kulminacją na Jaworzynie (1114 m n.p.m.). Na południowym wschodzie obszaru, przy granicy ze Słowacją, zaznacza się mniejsze od pozostałych Pasma Leluchowskie z najwyższym szczytem Zimne (918 m n.p.m.).

Istotnym elementem krajobrazu i rozwoju gospodarczego jest rzeka Poprad, przecinająca Beskid Sądecki z południa na północ. W dolinie tej rzeki skupiają się jedne z najpopularniejszych miejscowości uzdrowiskowych południowej Polski. Wśród nich wymienić należy Piwniczną-Zdrój, Muszynę, Żegiestów czy Łomnicę-Zdrój. Na wschodzie rejonu wzdłuż potoku Kamienica położone jest uzdrowisko Krynica-Zdrój, najpopularniejsze wśród południowopolskich uzdrowisk. W dolinie Grajcarka, przy granicy Beskidu Sądeckiego, położona jest Szczawnica. Wymienione wyżej miejscowości zyskały uznanie i popularność dzięki występującym tam wodom mineralnym i leczniczym.

Wody lecznicze tej części Karpat należą do centralnej strefy hydrochemicznej [Węclawik 1979]. Występują tu szczawy zwykłe i chlorkowe. W kontekście genezy można mówić o wodach współcześnie infiltrujących, o mieszaninie tych wód i wód wyraźnie starszych, np. wieku glacialnego, oraz o wodach diagenetycznych [Chowaniec 2009]. Wszystkie one charakteryzują się zawartością CO<sub>2</sub> nie mniejszą niż 1 g · dm<sup>-3</sup>. Dwutlenek węgla, który wydostaje się z głębszych partii górotworu strefami dyslokacyjnymi oraz szczelinami w kierunku powierzchni, nasyca wody, zwiększając ich agresywność. Wody nasycone dwutlenkiem węgla szybciej rozpuszczają niektóre składniki skał, zwiększając dzięki temu swoją mineralizację. Oprócz dwutlenku węgla w wodach tych występują też składniki swoiste: żelazo i jod. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę wód



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań  
 Fig. 1. Location of the study area

leczniczych w rejonie wymienionych powyżej miejscowości [Paczyński i Płochniewski 1996, Chowanec i Freiwald (red.) 2010, Rajchel 2012]:

- Krynica-Zdrój – woda typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-(Mg)-(Na)}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Na-(Mg)}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ , o mineralizacji  $0,7\text{--}27,5 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zawartość  $\text{CO}_2$   $2,2\text{--}2,7 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ;
- Piwniczna-Zdrój – woda typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-(Na)}$ , o mineralizacji  $1,1\text{--}8,2 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zawartość  $\text{CO}_2$   $2\text{--}2,7 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ;
- Muszyna – woda typu  $\text{HCO}_3\text{-(Ca)-(Mg)-(Na)}$ , o mineralizacji  $1\text{--}20,0 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zawartość  $\text{CO}_2$   $1\text{--}3,5 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ;
- Żegiestów – woda typu  $\text{HCO}_3\text{-Mg-(Ca)-(Na)}$ , o mineralizacji  $2,3\text{--}14,4 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zawartość  $\text{CO}_2$   $1,8\text{--}2,8 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ;
- Łomnica-Zdrój – woda typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-(Mg)-(Na)}$ , o mineralizacji  $1\text{--}3,5 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ;
- Szczawnica – woda typu  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ , o mineralizacji  $21\text{--}26,3 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zawartość  $\text{CO}_2$   $1,9\text{--}2,0 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Prezentowany typ wód przedstawiono zgodnie z klasyfikacją Altowskiego-Szwieca, w nawiasach podano składnik występujący opcjonalnie.

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W Beskidzie Sądeckim wyróżnić można dwa użytkowe poziomy wodonośne: czwartorzędowy, związany z utworami aluwialnymi dolin rzecznych, oraz paleogeński (fliszowy), zbudowany ze skał osadowych sedimentacji geosynklijalnej (morskiej). Zasilanie tych poziomów odbywa się głównie poprzez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych. Wody poziomu czwartorzędowego są również zasilane poprzez dopływ lateralny z utworów paleogeńskich (fliszowych). W obrębie dolin rzecznych cieki mogą okresowo zmieniać swój charakter z drenującego na zasilający. Na obszarze Beskidu Sądeckiego wyróżniono trzy główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP), które w całości bądź w części znajdują się w jego obrębie [Kleczkowski (red.) 1990, Skrzypczyk 2009] – dwa zbiorniki paleogeńskie (fliszowe): GZWP nr 438 warstw (F) Magura (Nowy Sącz) oraz GZWP nr 439 warstw (F) Magura (Gorce), i jeden czwartorzędowy: GZWP nr 437 Dolina rzeki Dunajec (Nowy Sącz).

Na omawianym obszarze poziom czwartorzędowy ma znaczenie podrzędne. Podstawowe znaczenie dla zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia stanowi poziom paleogeński.

### Czwartorzędowy poziom wodonośny

Czwartorzędowy poziom wodonośny występuje jedynie na niewielkich odcinkach dolin rzek Dunajca i Popradu oraz ich większych dopływów (Grajcarka, Muszynki, Kamienicy). Warstwę wodonośną stanowią często otoczek i zagłębienia oraz zagłębione żwiry i piaski o różnej granulacji. Niekiedy w utworach klastycznych mogą występować wkładki i soczewki glin lub ilów powodujące lokalne napięcie zwierciadła wody. Nie stanowią one jednak ciągłej warstwy izolującej [MhP... 1997–2002]. Miąższość utworów czwartorzędowych doliny Dunajca na analizowanym obszarze wynosi średnio 5 m, wzrastając w rejonie Krościenka do 7 m, natomiast miąższość warstwy wodonośnej dochodzi do 4 m. Utwory czwartorzędowe wypełniające dolinę Popradu nie przekraczają 8 m miąż-

szości, jedynie na północnych krańcach Beskidu Sądeckiego ich miąższość dochodzi do 10 m. Warstwa wodonośna osiąga tutaj średnio 3 m miąższości.

Współczynniki filtracji najczęściej wahają się w granicach od  $1,7 \cdot 10^{-4}$  do  $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $15\text{--}30 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ ) [MhP... 1997–2002]. Zwierciadło ma charakter swobodny, jedynie lokalnie występować może pod niewielkim ciśnieniem. Poziom wodonośny znajduje się przeważnie na głębokości do 5 m p.p.t., lokalnie może leżeć głębiej [Kowalski i Tott 2006]. W pobliżu koryt rzek i potoków stany wód podziemnych ściśle uzależnione są od stanów wody w tych ciekach. Wody podziemne w obrębie tarasów niższych występują w więzi hydraulicznej z wodami powierzchniowymi, a rzeka spełnia tu rolę drenującą. Wydajności uzyskiwane z pojedynczych ujęć wahają się od kilku do kilkudziesięciu  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Stopień zagrożenia wód podziemnych poziomu czwartorzędowego jest bardzo wysoki. Z uwagi na brak naturalnej izolacji oraz występowanie ognisk zanieczyszczeń wody tego poziomu narażone są na pogorszenie się parametrów fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych [MhP... 1997–2002]. Czas dotarcia zanieczyszczeń z powierzchni terenu do warstwy wodonośnej określa się na okres poniżej 5 lat. Można zatem stwierdzić, że stopień podatności (naturalnej odporności) czwartorzędowego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia z powierzchni terenu jest bardzo wysoki, czyli utwory strefy aeracji nie mają właściwości izolujących. Pomimo braku naturalnej ochrony jakości wód, określona podczas realizacji Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000 (MhP), była generalnie dobra (wody wymagają prostego uzdatnienia) i średnia (wody wymagają uzdatnienia) [MhP... 1997–2002]. Jakość wód tego poziomu kontrolowana jest w punkcie nr 1389 należącym do sieci monitoringu chemicznego prowadzonego przez PIG-PIB. Studnia ta zlokalizowana jest w Żegiestowie, w przysiółku Łopata Polska. Ujęte nią wody są dobrej jakości (II klasa), typu wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowego ( $\text{HCO}_3^-$ -Ca-Mg) [Kazimierski 2013].

### **Paleogeński poziom wodonośny**

Główny użytkowy poziom wodonośny Beskidu Sądeckiego zbudowany jest z paleogeńskich utworów fliszowych jednostki magurskiej serii krynickiej. Utwory te reprezentowane są przez piaskowce, łupki, zlepieńce, margle oraz podrzędnie iłowce i mułowce [SmgP... 1983–1995].

Wody podziemne związane są ze strefą spękań, która sięga w gruboławicowych piaskowcach do głębokości około 80–100 m poniżej powierzchni terenu. Głębokość występowania zwierciadła wód kształtuje się w przedziale od 2 do 50 m p.p.t., a zwierciadło wody ma charakter zarówno napięty jak i swobodny. Najsilniej przepuszczalna jest strefa przypowierzchniowa o miąższości od 30 do 40 m, dla której wartość współczynnika filtracji wynosi od  $n \cdot 10^{-6}$  do  $n \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . W przedziale głębokości od 40 m do 100 m współczynnik filtracji jest rzędu  $n \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , trafiają się nieraz strefy o współczynniku filtracji wyższym o cały rząd wielkości [Oszczytko i in. 1981].

Paleogeński poziom wodonośny omawianego rejonu charakteryzuje się średnim stopniem zagrożenia [MhP... 1997–2002]. Jest to obszar o niskiej odporności na zanieczyszczenia, ale równocześnie ograniczonej dostępności. W tym przypadku są to tereny górskie, w bardzo dużym stopniu pokryte lasami oraz obszary chronione, tj. parki krajobrazowe, rezerваты czy też sieć Natura 2000. Ograniczona dostępność terenu hamuje

ekspansję ludności, co znajduje odzwierciedlenie w nielicznie występujących na tym obszarze ogniskach zanieczyszczeń skupionych głównie w dolinach rzek.

Naturalne właściwości chroniące wody podziemne poziomu paleogeńskiego (fliszowego) przedstawione zostały m. in. na *Mapie wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie* [Witeczak red. 2011]. Z mapy tej wynika, że występuje tu ośrodek wodonośny o dużej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia różnego typu, z wyjątkiem silnie sorbowanych (np. metale ciężkie). Czas migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu przez strefę aeracji wynosi od 5 do 25 lat.

## **BADANIA FIZYCZNO-CHEMICZNE PALEOGEŃSKIEGO (FLISZOWEGO) POZIOMU WODONOŚNEGO**

Przedmiotem badań były zwykle wody podziemne występujące w piaskowcach magurskich Pasma Radziejowej oraz w piaskowcach z Piwnicznej Pasma Jaworzyny Krynickiej i Pasma Leluchowskiego. Charakterystykę fizyczno-chemiczną paleogeńskiego poziomu wodonośnego Beskidu Sądeckiego oparto na pojedynczych zbiorach:

- 18 analiz fizyczno-chemicznych próbek wody pobranych na potrzeby realizacji dokumentacji hydrogeologicznej w celu wyznaczenia obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 438 warstw Magura (Nowy Sącz); analiza laboratoryjna obejmowała oznaczenie 29 wskaźników, były to: przewodnictwo elektrolityczne właściwe (PEW), pH, mineralizacja ogólna, zasadowość ogólna, utlenialność, rozpuszczony węgiel organiczny (TOC),  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{B}^+$  [Witek i in. 2013];
- 2 analiz fizyczno-chemicznych z punktów sieci monitoringu chemicznego prowadzonego przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) [Kazimierski 2013].

Analizą objętych zostało łącznie 20 punktów: 7 otworów wierconych oraz 13 źródeł. Ujmują one wody poziomu paleogeńskiego, m.in. w celach komunalnych o charakterze zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę i zaopatrzenia obiektów turystycznych (schronisk, hoteli) oraz w celach rozlewniczych.

Wszystkie prezentowane w niniejszym artykule wyniki analiz uzyskane zostały w Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG – PIB w Warszawie i pochodzą z roku 2012.

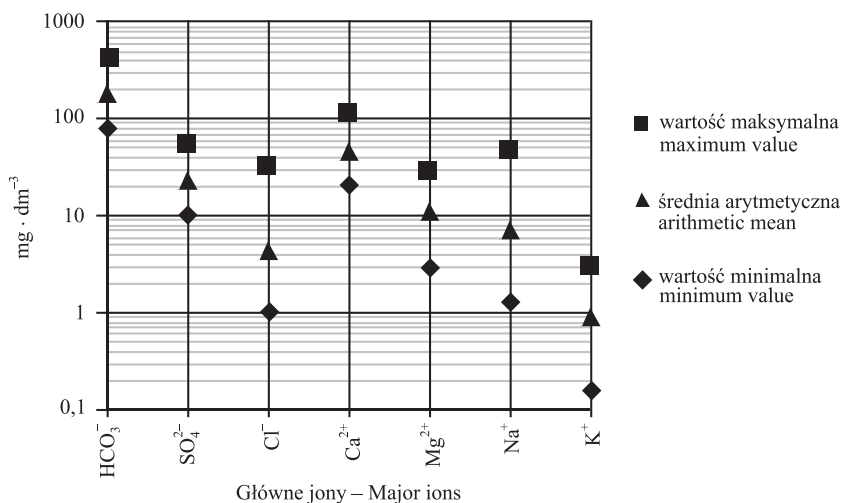
W każdym z 20 punktów określono klasę jakości wód zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. Dla 7 głównych jonów, do których zaliczono  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  przeprowadzono skróconą analizę statystyczną, której wyniki przedstawiono w tab. 1 oraz na ryc. 2.

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 1 oraz na rycinie 2, na obszarze badań występuje duże zróżnicowanie zawartości jonów głównych. Największymi wahaniami zawartości charakteryzuje się jon sodu ( $\text{Na}^+$ ), którego maksymalna wartość jest około 39 razy większa od odnotowanej wartości minimalnej. Kolejnymi jonami są  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Mg}^{2+}$ , których ekstrema różnią się odpowiednio 29, 20 i 10 razy.

Tabela 1. Podstawowe wartości statystyczne wybranych elementów fizyczno-chemicznych wód podziemnych w utworach paleogeńskich (fliszowych) [wg Kazimierski 2013, Witek i in. 2013]

Table 1. Basic statistical values of selected physical-chemical elements of groundwater in Palaeogene (flysh) formations [acc. to Kazimierski 2013, Witek et al. 2013]

Cecha statystyczna	pH	Przewodnictwo	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
		μS · cm <sup>-3</sup>	mg · dm <sup>-3</sup>						
Wartość minimalna	6,74	147	81	10,7	1,06	20,7	2,7	1,2	0,2
Wartość maksymalna	8,27	695	410	53,9	31	109,6	28,8	47,3	2,9
Średnia arytmetyczna	7,73	328	180	23,6	4,3	46,8	11,1	7,3	0,9
Odchylenie standardowe	0,39	159	93,5	12,7	6,6	24,4	6,5	10,6	0,6
Mediana	7,82	289	157,4	18,2	2,2	39,8	9,8	3,5	0,8

Ryc. 2. Rozkład wybranych wartości statystycznych jonów głównych  
Fig. 2. Statistical distribution of selected major ions

Wartości wszystkich oznaczonych jonów mieszczą się w I i II klasie jakości, sporadycznie w III. Stan chemiczny wód podziemnych we wszystkich punktach jest dobry. Są to generalnie wody słodkie o odczynie od słabo kwaśnego do słabo zasadowego.

Zawartości jonów wskazujących na zanieczyszczenie antropogeniczne, m.in. związkami azotu, siarczanami czy też chlorkami (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>), nie przekraczają generalnie wartości dopuszczalnych dla I klasy jakości wód. Tylko w jednym punkcie (nieujęte źródło na południowym zboczu góry Drapa przy drodze do Muszyny – ryc. 3, pkt 14) stwierdzono zawartość NO<sub>3</sub><sup>-</sup> wynoszącą 17 mg · dm<sup>-3</sup>, co odpowiada II klasie jako-

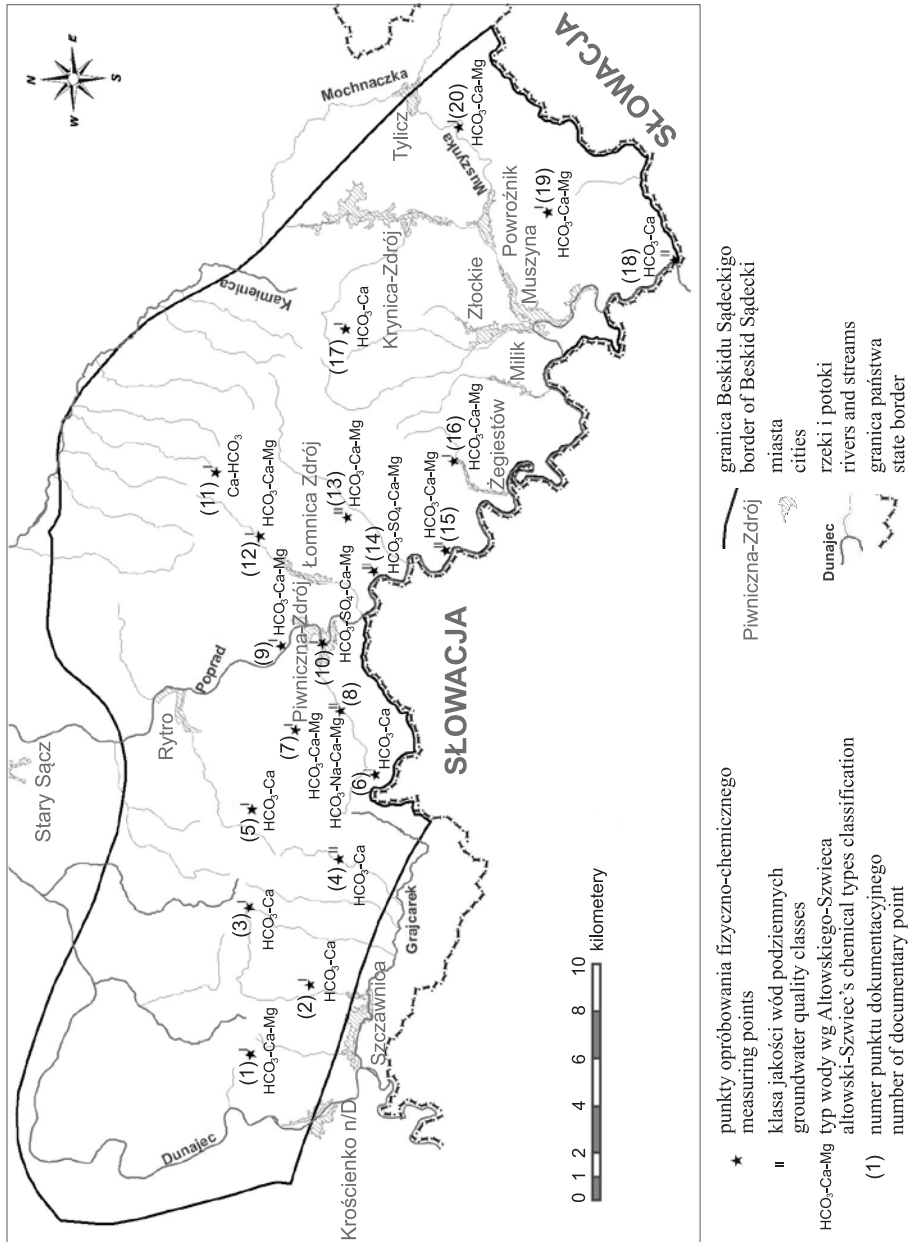
ści. Mangan osiąga wartości w przedziale od poniżej  $0,001 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  do  $0,224 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (odpowiednio I i II klasa jakości).

W studni w miejscowości Zubrzyk (ryc. 3, pkt 15), należącej do firmy trudniącej się rozlewnictwem wód, zawartości jonów  $\text{HCO}_3^-$  oraz  $\text{Fe}^{2+}$  były właściwe dla III klasy jakości i osiągnęły odpowiednio wartości  $410 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  oraz  $1,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Odnotowano tu również najwyższą przewodność elektrolityczną właściwą, równą  $695 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-3}$ , odpowiadającą mineralizacji ogólnej na poziomie  $632 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Można w tym przypadku mówić o wodach o podwyższonej mineralizacji – tzw. akratepegach. Omawiany punkt położony jest w strefie występowania wód mineralnych, z czym należy wiązać podwyższone zawartości niektórych parametrów. W punkcie nr 696 (ryc. 3, pkt 18) położonym w Leluchowie należącym do sieci monitoringu chemicznego PIG-PIB stwierdzona zawartość  $\text{HCO}_3^-$  wyniosła  $355 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , co jest wartością dopuszczalną dla III klasy jakości [Kazimierski 2013].

Maksymalne dopuszczalne zawartości jonów  $\text{HCO}_3^-$  oraz  $\text{Fe}^{2+}$  dla II klasy jakości wód wynoszą odpowiednio  $350 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  i  $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  [Rozporządzenie... 2008]. Przekroczenia tych wartości w studniach w Zubrzyku oraz w Leluchowie są niewielkie i wynoszą nie więcej niż 20% podanych powyżej wartości dopuszczalnych.

Według klasyfikacji Altowskiego-Szwieca dominują tu generalnie dwa typy wód: dwujonowe wodorowęglanowo-wapniowe ( $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ) oraz trójjonowe wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ). W rejonie miejscowości Piwniczna-Zdrój oraz na Hali Łabowskiej odnotowano odstępstwa od przyjętej generalizacji. I tak: w studni zlokalizowanej w miejscowości Piwniczna-Zdrój – Kosarzyska (ryc. 3, pkt 8), stanowiącej źródło zaopatrzenia w wodę ośrodka hotelowego, odnotowano występowanie wód czterojonowych o typie wodorowęglanowo-sodowo-wapniowo-magnezowym ( $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca-Mg}$ ). W źródle publicznym (ujęte źródło) przy drodze z Piwnicznej-Zdrój na Kosarzyska (ryc. 3, pkt 10) oraz nieujętych źródle na południowym zboczu góry Drapa przy drodze do Muszyny (ryc. 3, pkt 14) stwierdzono występowanie także wód czterojonowych jednak innego typu: wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowo-magnezowego ( $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ ). W Paśmie Jaworzyny Krynickiej, w źródle zlokalizowanym na Hali Łabowskiej (ryc. 3, pkt 11) i ujętym do celów zaopatrzenia w wodę schroniska PTTK, stwierdzono występowanie wód dwujonowych wapniowo-wodorowęglanowych ( $\text{Ca-HCO}_3$ ). Przestrzenne zróżnicowanie typów wód paleogeńskiego poziomu wodonośnego zaprezentowano na ryc. 3.





Ryc. 3. Lokalizacja punktów opróbowania wraz z klasą jakości i typem wód wg Altowski-Szwieca  
 Fig. 3. Location of measuring points with grades of groundwater quality and Altowski-Szwieca's chemical types classification

## PODSUMOWANIE

Wody podziemne Beskidu Sądeckiego charakteryzują się bardzo dobrą i dobrą jakością. Są to wody, w których wartości poszczególnych elementów fizyczno-chemicznych są:

- kształtowane przez naturalne procesy zachodzące w wodach podziemnych i nie wykazują wpływu działalności człowieka,
- podwyższone w wyniku procesów naturalnych, a ewentualny czynnik antropogeniczny jest znikomy.

Pomimo sezonowego wzrostu liczby ludności związanego z ruchem turystyczno-uzdrowiskowym, wskaźniki mówiące o zanieczyszczeniu antropogenicznym nie wskazują na negatywny wpływ działalności człowieka na jakość wód podziemnych poziomu paleogeńskiego (fliszowego). Maksymalne zawartości jonów  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  wyniosły odpowiednio  $17 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $0,01 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $0,13 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $53,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  oraz  $31 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Parametry fizyczno-chemiczne wód paleogeńskiego poziomu wodonośnego mieszczą się na ogół w przedziałach wartości normatywnych przewidzianych dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi [Rozporządzenie... 2007]. Normy te lokalnie przekroczone są jedynie przez jony  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Mn}^{2+}$  (ryc. 3, pkt 15). Analizując ich uśredniony skład stwierdzić można, że charakterystyczne dla Beskidu Sądeckiego są wody typu wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowego ( $\text{HCO}_3^-$ -Ca-Mg) o odczynie słabo zasadowym i średniej mineralizacji ogólnej wynoszącej około  $290 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Są to wody zwykle, typowe dla ośrodka wodonośnego zbudowanego z gruboławicowych piaskowców serii magurskiej o spoiwie węglanowo-krzemionkowo-ilastym.

Typ hydrochemiczny i niska mineralizacja wskazują, że są to młode wody infiltracyjne. Lokalnie w składzie tych wód zaznacza się obecność jonu sodowego, co należy wiązać z udziałem w zasilaniu tego poziomu składowej pochodzącej z głębszych systemów krążenia wód podziemnych.

## PIŚMIENNICTWO

- Chowaniec J., 2009. Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 434. PIG-PIB Warszawa.
- Chowaniec J., Freiwald (red.), 2010. Atlas hydrogeoróżnorodności województwa małopolskiego. Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego Kraków.
- Kazimiński B., 2013. Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. PIG-PIB Warszawa.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1990. Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. Instytut Hydrogeologii i Geologii-Inżynierskiej, AGH Kraków.
- Kondracki J., 2009. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- Kowalski J., Tott M., 2006. Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydrodynamika, ark. Szczawnica-Krościenko (1050), Piwniczna (1051), Muszyna (1052), Tylicz (1053), Leluchów (1062). PIG Warszawa.
- MhP, 1997–2002. Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Szczawnica-Krościenko (1050), Piwniczna (1051), Muszyna (1052), Tylicz (1053), Leluchów (1062). PIG-PIB Warszawa.

- Oszczypko N., Chowaniec J., Koncewicz A., 1981. Wodonośność piaskowców magurskich w świetle badań wodochłonności. *Rocznik PTG V*, 51–1/2: 273–303.
- Paczyński B., Płochniewski Z., 1996. *Wody mineralne i lecznicze Polski*. PIG Warszawa.
- Rajchel L., 2012. *Szczawy i wody kwasowęglowe Karpat Polskich*. Wydawnictwo AGH Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. *Dz.U. z 2008 r. Nr 143*, poz. 896.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, *Dz.U. z 2007 r. Nr 61*, poz. 417 (z póź. zm.).
- Skrzypczyk L. (red.), 2009. *Mapa Głównych Zbiorników Wód Podziemnych*. PIG Warszawa.
- SmgP, 1983–1995. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, ark. Szczawnica-Krościenko (1050), Piwniczna (1051), Muszyna (1052), Tylicz (1053), Leluchów (1062). PIG-PIB Warszawa.
- Węclawik S., 1979. Szczawy płaszczowiny magurskiej Karpat polskich. *Wszechświat 7/8*, 2187–2188.
- Witczak St. (red.), 2011. *Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie, 1 : 500 000. Metodyka i objaśnienia tekstowe*. Wydawnictwo AGH Kraków.
- Witek K., Gągulski T., Patorski R., Fiszler J., 2013. Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 438 warstw Magura (Nowy Sącz). NAG Warszawa.

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.12.2014*